IEC 61643-12

Edition 3.0 2020-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Selection and application principles

Parafoudres à basse tension – Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux à basse tension – Principes de choix et de mise en œuvre

IEC 61643-12:2020-05(en-fr)

THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2020 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC
The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications
The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform
The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,…). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc
If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org
The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary
67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC
La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC
Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform
La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,…). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished
Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc
Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org
Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary
67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

IEC 61643-12

Edition 3.0 2020-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Selection and application principles

Parafoudres à basse tension – Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux à basse tension – Principes de choix et de mise en œuvre

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 29.240.10

ISBN 978-2-8322-7914-4

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 10
INTRODUCTION 12
0.1 General 12
0.2 Keys to understanding the structure of this document 12
1 Scope 14
2 Normative references 14
3 Terms, definitions and abbreviated terms 15
3.1 Terms and definitions 15
3.2 List of abbreviated terms and acronyms used in this document 28
4 Need for protection 29
5 Low-voltage power systems and equipment to be protected 30
5.1 General 30
5.2 Low-voltage power systems 30
5.2.1 General 30
5.2.2 Lightning overvoltages and surge currents 30
5.2.3 Switching overvoltages 31
5.2.4 Temporary overvoltages U_{TOV} 32
5.3 Characteristics of the equipment to be protected 33
6 Surge protective devices 33
6.1 Basic functions of SPDs 33
6.2 Additional requirements 34
6.3 Classification of SPDs 34
6.3.1 SPD: classification 34
6.3.2 Typical design and topologies 35
6.4 Characteristics of SPDs 36
6.4.1 Service conditions as described in IEC 61643-11 36
6.4.2 List of parameters for SPD selection 37
6.5 Additional information on characteristics of SPDs 38
6.5.1 Information related to power-frequency voltages 38
6.5.2 Information related to surge currents 39
6.5.3 Information related to voltage protection level provided by SPDs 40
6.5.4 Information related to the SPD's status at its end of life 42
6.5.5 I_{SCCR}: Short-circuit current rating and I_{fi}: Follow current interrupt rating 43
6.5.6 I_L: Rated load current and ΔU: Voltage drop (for two-port SPDs or one-port SPDs with separate input and output terminals) 43
6.5.7 Information related to change of characteristics of SPDs 44
7 Application of SPDs in low-voltage power systems 44
7.1.1 General 44
7.1.2 Consideration regarding location of the SPD depending on the classes of test 46
7.1.3 SPD modes of protection and installation 46
7.1.4 Need for additional protection 48
7.2 Selection of SPD characteristics 55
7.2.1 General 55
7.2.2 Selection of U_c, U_T, I_n, I_{imp}, I_{max}, I_{SCCR}, I_{fi} and U_{oc} of the SPD 56

7.2.3 Protective distance 62
7.2.4 Expected lifetime 62
7.2.5 Interaction between SPDs and other devices 62
7.2.6 Choice of the voltage protection level U_p 63
7.2.7 Coordination between the chosen SPD and other SPDs 63
7.3 Characteristics of auxiliary devices 66
7.3.1 Disconnecting devices 66
7.3.2 Surge and event counters 66
7.3.3 Status indicator 67
Annex A (informative) Typical information required before selecting an SPD and explanation of testing procedures 68
A.1 Typical Information required before selecting an SPD 68
A.1.1 System data 68
A.1.2 SPD application considerations 68
A.1.3 Characteristics of SPD 69
A.1.4 Additional equipment and fittings 69
A.2 Explanation of testing procedures used in IEC 61643-11 70
A.2.1 General Principles 70
A.2.2 Test sequences and tests description 70
Annex B (informative) Examples of relationship between U_C and nominal system voltage and example of relationship between U_p and U_c for Metal oxide varistors (MOV) 78
B.1 Relationship between U_c and the nominal voltage of the system 78
B.2 Relationship between U_p and U_c for Metal oxide varistors (MOV) 78
Annex C (informative) Environment – Surge voltages in LV systems 80
C.1 General 80
C.2 Lightning overvoltages 80
C.2.1 General 80
C.2.2 Surges transferred from MV to the LV system 81
C.2.3 Overvoltages caused by direct flashes to LV distribution systems 81
C.2.4 Induced overvoltages in LV distribution systems 82
C.2.5 Overvoltages caused by flashes to a Lightning Protection System or to a structure in close vicinity 82
C.3 Switching overvoltages 83
C.3.1 General 83
C.3.2 General description 84
C.3.3 Circuit-breaker and switch operations 84
C.3.4 Fuse operations (current-limiting fuses) 85
Annex D (informative) Partial lightning current calculations 87
Annex E (informative) TOV in the low-voltage system due to faults between high-voltage system and earth 90
E.1 General 90
E.2 References 91
E.3 Symbols 91
E.4 Overvoltages in LV-systems during a high-voltage earth fault 91
E.5 Example of a TT-system – Calculation of the possible temporary overvoltages 93
E.5.1 Possible stresses on equipment in low-voltage installations due to earth faults in a high-voltage system 93
E.5.2 Characteristics of the high-voltage system 94

E.6 Temporary power-frequency overvoltages depending on different LV-systems and different kinds of earthing configurations 94
E.6.1 General 94
E.6.2 Conclusion – Worst case SPDs stress current for SPDs HV-TOV behaviour. 96
E.6.3 Conclusion – Worst case test source for SPDs HV-TOV behaviour, if the SPD is connected to ground between N-PE and / or L-PE: 96
E.6.4 Examples of different LV-systems and their possible earthing configurations 97
E.7 Values of the temporary overvoltages for the US TN C system 101
E.8 Values of temporary overvoltages used in IEC 61643-11 with explanations 103
E.8.1 General 103
E.8.2 Values of temporary overvoltages for US systems 106
E.8.3 Values of temporary overvoltages for Japanese systems 109
Annex F (informative) Coordination rules and principles 114
F.1 General 114
F.2 Energy coordination 114
F.2.1 General 114
F.2.2 Analytical studies: simple case of the coordination of two metal oxide varistors (MOV) based SPDs 114
F.2.3 Analytical study: case of coordination between a gap-based SPD and a Metal oxide varistors (MOV) based SPD 118
F.2.4 Analytical study: general coordination of two SPDs 120
F.2.5 Let-through energy (LTE) method 121
F.3 Coordination tests: energy and voltage protection coordination 123
F.3.1 Introduction 123
F.3.2 Coordination criteria 124
F.3.3 Coordination techniques 124
F.3.4 Test protocol 124
Annex G (informative) Examples of application 128
G.1 Domestic application 128
G.2 Industrial application 130
G.3 Presence of a lightning protection system 134
G.4 Wind Turbines 135
G.4.1 General 135
G.4.2 Transient overvoltages in the DFIG converter circuit 135
G.4.3 Transmission effect of the transient voltage due to a long cable 136
G.4.4 Voltage coordination between SPD and equipment in wind turbine systems 137
G.4.5 Possible solutions for the case described in CLC/TR 50539-22 139
Annex H (informative) Risk assessment method and examples of application 140
H.1 General 140
H.2 Simplified method proposed for low voltage risk assessment as described in IEC 60364-4-44 140
H.2.1 Overvoltage control 140
H.2.2 Simplified risk assessment method 140
H.2.3 Example 1 – Building in rural environment 142
H.2.4 Example 2 – Building in rural environment powered by HV 142
H.2.5 Example 3 – Building in urban environment 143
H.2.6 Example 4 – Building in urban environment powered by HV 143

H.2.7 Example 5 – electric vehicle supply equipment ... 143
H.2.8 Example 6 – Chemical facility ... 144
H.3 Factors to be considered during risk assessment ... 146
H.3.1 Environmental ... 146
H.3.2 Equipment and facilities ... 147
H.3.3 Economics and service interruption ... 148
H.3.4 Safety ... 148
H.3.5 Cost of protection ... 149
Annex I (informative) System stresses ... 150
I.1 Lightning overvoltages and currents [5.2.2] ... 150
I.1.1 Aspects of the power distribution system that affect the need for an SPD ... 150
I.1.2 Sharing of surge current within a structure ... 150
I.2 Switching overvoltages [5.2.2] ... 151
I.3 Temporary overvoltages U_{TOV} [5.2.3] ... 151
Annex J (informative) Application of SPDs ... 153
J.1 Location and protection given by SPDs [7.1] ... 153
J.1.1 Possible modes of protection and installation [7.1.3] ... 153
J.1.2 Influence of the oscillation phenomena on the protective distance [7.2.3] ... 161
J.1.3 Protection zone concept [7.2.3.5] ... 162
J.2 Selection of SPDs ... 164
J.2.1 Selection of U_c [7.3.1] ... 164
J.2.2 Coordination problems [7.3.6.2] ... 165
J.2.3 Practical cases [7.2.6.3] ... 167
J.3 Simple calculation of I_{imp} for a class I SPD in case of a building protected by a LPS ... 167
Annex K (informative) Immunity vs. rated impulse voltage withstand ... 172
Annex L (informative) Examples of SPD installation in power distribution boards in some countries ... 178
Annex M (informative) Coordination when equipment has both signaling and power terminals ... 183
Annex N (informative) Short circuit backup protection and surge withstand ... 190
N.1 General ... 190
N.2 Information single shot 8/20 and 10/350 fuses withstand ... 190
N.3 Fuse Influencing factors (reduction) for preconditioning and operating duty test ... 191
N.4 Operating duty withstand of fuses based on experimental data and confirmed by calculations based on the parameters and limits specified by the IEC 60269 series ... 191
N.5 Behaviour of external disconnector technologies ... 193
N.6 Additional requirement and test values for SPD external disconnectors used in some countries ... 193
Annex O (informative) Practical methods for testing system level immunity under lightning discharge conditions ... 197
O.1 General ... 197
O.2 SPD discharge current test under normal service conditions ... 197
O.3 Induction test due to lightning currents ... 197
O.4 Recommended test classification of system level immunity test (following IEC 61000-4-5) ... 197
Annex P (informative) Guide for testing SPDs containing multiple components ... 199

P.1 General ... 199
P.2 Example of a multiple spark gaps in series with ohmic/capacitive trigger control ... 199
P.3 Example of 2 spark gaps inserieswith capacitive trigger control and with a parallel connected series connection of GDT + MOV(s) ... 200
P.4 Example of a 3-electrode GDT with parallel MOV bypass/trigger control ... 200
P.5 Example of a 4-electrode gap with GDT + MOV trigger control ... 201
P.6 Example of a Spark Gap in parallel with a series-connected GDT and MOV ... 202
P.7 Example of a 3-electrode gap with trigger transformer ... 202
Annex Q (informative) Exceptions in the USA related to Class I tested SPDs ... 204
Bibliography ... 205

Figure 1 – Examples of one-port SPDs ... 19
Figure 2 – Examples of two-port SPDs ... 20
Figure 3 – Output voltage response of one-port and two-port SPDs to a combination wave generator impulse ... 21
Figure 4 – Examples of components and combinations of components ... 36
Figure 5 – Typical curve of U_{res} versus I for Metal oxide varistors (MOV) ... 41
Figure 6 – Typical curve for a spark gap ... 42
Figure 7 – Flowchart for SPD application ... 45
Figure 8 – Example of connection Type 1 (CT1) ... 47
Figure 9 – Example of connection Type 2 (CT2) ... 47
Figure 10 – Influence of SPD connecting lead lengths ... 51
Figure 11 – Possible installation scheme with intermediate earth bar when lead length exceed 50 cm ... 52
Figure 12 – Example of the need for additional SPDs when connected leads are less than 50 cm long ... 54
Figure 13 – Flow chart for the selection of an SPD ... 55
Figure 14 – U_T and U_{TOV} ... 57
Figure 15 – SPD and external disconnector arrangement for continuity of supply ... 60
Figure 16 – SPD and external disconnector arrangement for continuity of protection. ... 60
Figure 17 – Selectivity between OCPD and disconnector in case of short-circuit ... 61
Figure 18 – Typical use of two SPDs – Electrical drawing ... 64
Figure A.1 – Test set-up for operating duty test ... 71
Figure A.2 – Test timing diagram for first 15 impulses ... 72
Figure A.3 – Test timing diagram for additional 5 impulses ... 72
Figure D.1 – Simple calculation of the sum of partial lightning currents into the power distribution system ... 87
Figure E.1 – Representative schematic for possible connections to earth in substations and LV-installations and resulting overvoltages in case of faults ... 92
Figure E.2 – Example of a TT-system with combined earthing of the transformer substation R_E with LV –midpoint earthing (earthed neutral) R_B ... 93
Figure E.3 – TN system (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44B) ... 97
Figure E.4 – TT system (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44C) ... 98
Figure E.5 – IT system, example a (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44D) ... 99
Figure E.6 – IT system, example b (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44F) ... 100

Figure E.7 – IT system, example c1 (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44E) 101
Figure E.8 – Temporary overvoltage resulting from a fault in the primary (4 wires MV-system – direct earthing) of the distribution transformer in a TN-system according to North American practice 102
Figure E.9 – Typical TOV max p.u. RMS-voltages (V) Table 2, IEEE 1159-2009 107
Figure E.10 – Example of share the ground of the single phase center-tap grounded 100 / 200 V system and three phase (Delta) corner grounded 200 V system 111
Figure E.11 – Typical power distribution networks of single phase center-tap grounded 100 / 200 V system in Japan 112
Figure E.12 – Typical power system configuration in Japan 113
Figure E.13 – TOV characteristic by faults in the high-voltage system in Japan 113
Figure F.1 – Two Metal oxide varistors (MOV) with the same nominal discharge current 115
Figure F.2 – Two Metal oxide varistors (MOV) with different nominal discharge currents 117
Figure F.3 – Example of coordination of a gap-based SPD and a Metal oxide varistors (MOV) based SPD 120
Figure F.4 – LTE – Coordination method with standard pulse parameters 121
Figure F.5 – SPDs arrangement for the coordination test 126
Figure G.1 – Domestic installation 129
Figure G.2 – Industrial installation 132
Figure G.3 – Circuitry of industrial installation 133
Figure G.4 – Example for a LPS 135
Figure G.5 – Configuration of a DFIG wind turbine 136
Figure G.6 – PWM voltage between the generator and the converter at the rotor circuit 136
Figure G.7 – position of converter and generator 137
Figure G.8 – A converter tested in laboratory and its L-PE voltage waveform 138
Figure H.1 – Example of the individual sections of a power line 142
Figure H.2 – Example of electric vehicle supply equipment 144
Figure H.3 – Example of chemical facility 145
Figure J.1 – Installation of surge protective devices in TN-systems 154
Figure J.2 – Installation of surge protective devices in TT-systems (SPD downstream of the RCD) 156
Figure J.3 – Installation of surge protective devices in TT-systems (SPD upstream of the RCD) 157
Figure J.4 – Installation of surge protective devices in IT-systems without distributed neutral 158
Figure J.5 – Typical installation of SPD at the entrance of the installation in case of a TN C-S system 159
Figure J.6 – General way of installing one-port SPDs 159
Figure J.7 – Examples of acceptable and unacceptable SPD installations regarding EMC aspects 160
Figure J.8 – Physical and electrical representations of a system where equipment being protected is separated from the SPD giving protection 161
Figure J.9 – Possible oscillation between a Metal oxide varistors (MOV) SPD and the equipment to be protected 161
Figure J.10 – Example of voltage doubling 162
Figure J.11 – Subdivision of a building into protection zones 163
Figure J.12 – Coordination of two Metal oxide varistors (MOV) 166

Figure L.1 – A wiring diagram of an SPD connected on the load side of the main incoming isolator via a separate isolator (which could be included in the SPD enclosure) 178
Figure L.2 – SPD connected to the nearest available outgoing MCB to the incoming supply (TNS installation typically seen in the UK) 179
Figure L.3 – A single line-wiring diagram of an SPD connected in shunt on the first outgoing way of the distribution panel via a fuse (or MCB) 180
Figure L.4 – SPD connected to the nearest available circuit breaker on the incoming supply (US three phase 4W + G, TN-C-S installation) 181
Figure L.5 – SPD connected to the nearest available circuit breaker on the incoming supply (US single (split) phase 3W + G, 120/240 V system – typical for residential and small office applications) 182
Figure M.1 – Example of a PC with modem in a US power and communication system 184
Figure M.2 – Schematic of circuit of Figure M.1 used for experimental test 185
Figure M.3 – voltage recorded across reference points for the PC/modem during a surge in the example (voltage and current vs. time in µs) 186
Figure M.4 – Typical TT system used for simulations 187
Figure M.5 – Voltage and current waveshapes measured during the application of a surge when a multi-service SPD was installed in the circuit of the structure shown in of Figure M.1 189
Figure N.1 – Schematic diagram for coordination of SPD internal and external disconnectors with MOV 195
Figure N.2 – Example of time-current characteristics of SPD disconnectors 196
Figure O.1 – Example of a circuit used to perform discharge current tests under normal service conditions 198
Figure O.2 – Example circuit of an induction test due to lightning currents 198
Figure P.1 – Example of multiple spark gaps in series with ohmic/capacitive trigger control 199
Figure P.2 – 2 spark gaps in serieswith capacitive trigger control 200
Figure P.3 – 3-electrode GDT with parallel MOV bypass/trigger control 201
Figure P.4 – 4-electrode spark gap with GDT + MOV trigger control 201
Figure P.5 – Spark Gap in parallel with series-connected GDT and MOV 202
Figure P.6 – 3-electrode spark gap with trigger transformer 203

Table 1 – Maximum TOV values based on IEC 60364-4-44:2007 33
Table 2 – Preferred values of I_{imp} 40
Table 3 – modes of protection for various LV systems 48
Table 4 – Minimum recommended U_c of the SPD for various power systems 56
Table B.1 – Relationship between U_c and nominal system voltage 78
Table B.2 – Example of values of U_p/U_c for Metal oxide varistors (MOV) 79
Table E.1 – Permissible power-frequency stress voltages according to IEC 60364-4-44 92
Table E.2 – Power-frequency stress voltages and power-frequency fault voltage in low-voltage-systems during a high-voltage earth fault 95
Table E.3 – TOV test values for systems complying with IEC 60364 series 103
Table E.4 – Reference test voltage values for systems complying with IEC 60364 series 105
Table E.5 – TOV parameters for US systems 107
Table E.6 – UL TOV values used to test SPDs in US systems 108

Table E.7 – Nominal voltage and reference test voltage for Japanese system 109
Table E.8 – TOV test parameters for Japanese system 110
Table E.9 – The maximum value of TOV voltage at the difference earth fault points 111
Table E.10 – Earth electrode class and maximum value of earth resistance 112
Table F.1 – 123
Table F.2 – 123
Table F.3 – 123
Table F.4 – Test procedure for coordination 127
Table G.1 – Peak value of PWM voltage and du/dt at two terminals based on investigation in 2011 in China 137
Table G.2 – Example of characteristics of the generator alternator excitation circuit and associated SPD 138
Table G.3 – Comparison between the wind turbine system and low-voltage distribution system 139
Table H.1 – Calculation of CRL 141
Table H.2 – Simplified method 145
Table H.3 – IEC 62305-2 method 146
Table J.1 – Determination of the value of I_{imp} 169
Table J.2 – Determination of the value of Iimp for additional systems used in Japan 170
Table J.3 – number of conductors related to usual structure of power supply 171
Table J.4 – number of conductors related to additional systems used in Japan 171
Table K.1 – Typical rated impulse voltages (derived from IEC 60664-1) 173
Table K.2 – Selection of immunity test levels depending on the installation conditions 176
Table K.3 – Immunity level for AC input 176
Table M.1 – Simulation results 187
Table N.1 – Examples of ratio between single shot withstand and full preconditioning/operating duty test 192
Table N.2 – Behaviour of external disconnector technologies 193
Table N.3 – Examples of electrical ratings for SFD 194
Table N.4 – Examples of tripping current for SSD 194

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

LOW-VOLTAGE SURGE PROTECTIVE DEVICES –

Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Selection and application principles

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61643-12 has been prepared by subcommittee 37A: Low-voltage surge protective devices, of IEC technical committee 37: Surge arresters.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2008. This edition constitutes a technical revision.

NOTE The following differing practice of a less permanent nature exists in the USA: In the USA, SPDs tested to Class I tests are not required. This exception applies to the entire document.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

a) Scope: Deleted reference to 1 500 V dc
b) Added or revised some definitions
c) Added new clause 4 on Need for protection

d) Added new information on disconnecting devices
e) Revised Characteristics of SPD
f) Revised List of parameters for SPD selection
g) Added new information on Measured Limiting Voltage
h) Added or revised some Annexes

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
37A/341/FDIS	37A/347/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 61643 series, published under the general title *Low-voltage surge protective devices*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

0.1 General

Surge protective devices (SPDs) are used to protect, under specified conditions, electrical systems and equipment against various overvoltages and impulse currents, such as lightning and switching surges.

SPDs shall be selected according to their environmental conditions and the acceptable failure rate of the equipment and the SPDs.

This document provides information to the user about characteristics useful for the selection of an SPD.

This document provides information to evaluate the need for using SPDs in low-voltage systems, with reference to IEC 62305, Parts 1 to 4 and the IEC 60364 series. It also provides information on selection and coordination of SPDs, while taking into account the entire environment in which they are applied. Examples include: equipment to be protected and system characteristics, insulation levels, overvoltages, method of installation, location of SPDs, coordination of SPDs, end of life behaviour of SPDs and equipment failure consequences.

IEC 62305-2 provides a general method for evaluating the risk due to surges and lightning. IEC 60364-4-44 provides a simplified way of evaluating the risk posed to electrical installations.

Guidance on requirements for product insulation coordination is provided by IEC 60664 series. Requirements for safety (fire, overcurrent and electric shock) and installation are provided by IEC 60364 series.

The IEC 60364 series provide direct information for contractors on the installation of SPDs. IEC TR 62066 contains more information on the scientific background of surge protection.

0.2 Keys to understanding the structure of this document

The list below summarizes the structure of this document and provides a summary of the information covered in each clause and annex. The main clauses provide basic information on the factors used for SPD selection. Readers who wish to obtain more detail on the information provided in Clauses 4 to 7 should refer to the relevant annexes.

Clause 1 describes the scope of this document.

Clause 2 lists the normative references where additional information may be found.

Clause 3 provides definitions useful for the understanding of this document.

Clause 4 is an introduction to the risk of surges (considerations of when the use of SPDs is beneficial).

Clause 5 addresses the parameters of systems and equipment important for SPD selection. In addition to the stresses created by lightning, those created by the network itself are described, namely temporary overvoltages and switching surges.

Clause 6 lists the electrical parameters for the selection of an SPD and provides explanations regarding these parameters. These are related to those given in IEC 61643-11.

Clause 7 is the core of this document. It relates the stresses coming from the network (as discussed in Clause 5) to the characteristics of the SPD (as discussed in Clause 6). It also outlines how the protection by SPDs may be affected by its installation. The different steps for the selection of an SPD are presented, including coordination when more than one SPD is used in an installation (details about SPD coordination may be found in Annex F).

Annex A deals with information given with inquiries and explains the testing procedures used in IEC 61643-11.

Annex B provides examples of the relationship between two important parameters of SPDs, U_c and U_p, in the specific case of Metal Oxide Varistors (MOV) and also examples of the relationship between U_c and the nominal voltage of the network.

Annex C supplements the information given in Clause 5 on surge voltages in low-voltage systems.

Annex D deals with the sharing of lightning current between different earthing systems used to determine the SPD rating in case of direct lightning current.

Annex E deals with temporary overvoltages due to faults in the high-voltage system.

Annex F supplements the information given in Clause 7 on coordination rules when more than one SPD is used in a system.

Annex G provides specific examples on the use of this document.

Annex H provides specific examples of the use of the risk analysis given in Clause 4.

Annex I supplements the information given in Clause 5 about system stresses.

Annex J supplements the information given in Clause 7 on the application of SPDs in various low-voltage systems criteria for selection of SPDs.

Annex K discusses differences between immunity level and insulation withstand of electrical equipment.

Annex L provides practical examples of SPD installation as used in some countries.

Annex M discusses problems of coordination with equipment having both signaling and power terminals.

Annex N provides information on withstand of fuses in surge conditions.

Annex O provides practical methods for testing system level immunity.

Annex P provides test application to SPDs with multiple components.

LOW-VOLTAGE SURGE PROTECTIVE DEVICES –

Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Selection and application principles

1 Scope

This part of IEC 61643 describes the principles for the selection, operation, location and coordination of SPDs to be connected to 50/60 Hz AC power circuits, and equipment rated up to 1 000 V RMS.

These devices contain at least one non-linear component and are intended to limit surge voltages and divert surge currents.

NOTE 1 Additional requirements for special applications are also applicable, If required.

NOTE 2 IEC 60364 and IEC 62305-4 are also applicable.

NOTE 3 This document deal only with SPDs and not with surge protection components (SPC) integrated inside equipment.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60364-4-44:2007, *Low-voltage electrical installations – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*

IEC 60364-5-53, *Low-voltage electrical installations – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Devices for protection for safety, isolation, switching, control and monitoring*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60664-1:2007, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61643-32, *Low-voltage surge protective devices – Part 32: Surge protective devices connected to the d.c. side of photovoltaic installations – Selection and application principles*

IEC 61643-11:2011, *Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods*

IEC 62305-1:2010, *Protection against lightning – Part 1: General principles*

IEC 62305-2, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*

IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

IEC 62475:2010, *High-current test techniques – Definitions and requirements for test currents and measuring systems*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at http://www.electropedia.org/
- ISO Online browsing platform: available at http://www.iso.org/obp

3.1.1
surge protective device
SPD
device that contains at least one nonlinear component that is intended to limit surge voltages and divert surge currents

Note 1 to entry: An SPD is a complete assembly, having appropriate connecting means.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.1]

3.1.2
continuous operating current
I_c
current flowing through each mode of protection of the SPD when energized at the maximum continuous operating voltage (U_c) for each mode

3.1.3
maximum continuous operating voltage
U_c
Maximum RMS voltage which may be continuously applied to the SPD's mode of protection

Note 1 to entry The U_c value covered by this document may exceed 1 000 V.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.11]

3.1.4
voltage protection level
U_p
maximum voltage to be expected at the SPD terminals due to an impulse stress with defined voltage steepness and an impulse stress with a discharge current with given amplitude and waveshape

Note 1 to entry: The voltage protection level is given by the manufacturer and is equal or exceed by:

- the measured limiting voltage, determined for front-of-wave sparkover (if applicable) and the measured limiting voltage, determined from the residual voltage measurements at amplitudes up to I_n and/or I_{imp} for test Classes II and/or I, respectively;
- the measured limiting voltage up to U_{OC} determined for the combination wave generator for test Class III.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.14, modified note to entry]

3.1.5
measured limiting voltage
highest value of voltage that is measured across the terminals of the SPD during the application of impulses of specified waveshape and amplitude

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.15]

3.1.6
residual voltage
U_{res}
crest value of voltage that appears between the terminals of an SPD due to the passage of discharge current

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.16]

3.1.7
temporary overvoltage test value
U_T
test voltage applied to the SPD for a specific duration t_T to simulate the stress under temporary overvoltage (TOV) conditions

Note 1 to entry: It is a characteristic of the SPD declared by the manufacturer that gives information about the behaviour of the SPD when stressed with voltages U_T higher than U_c for a given specific duration t_T. this behaviour may either be no change in the performance after application of the temporary overvoltage or a defined failure without hazard to either personnel, equipment or facility.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.17, modified (addition of Note 1 to entry)]

3.1.8
temporary overvoltage value of the power system
U_{TOV}
power frequency overvoltage occurring on the network at a given location, of relatively long duration

Note 1 to entry: TOVs may be caused by faults inside the LV system ($U_{TOV(LV)}$) or inside the HV system ($U_{TOV(HV)}$).

Note 2 to entry: This is a characteristic of the system. Temporary overvoltages, typically lasting up to several seconds, usually originate from switching operations or faults (for example, sudden load shedding, single-phase faults, etc.) and/or from non-linearity (ferroresonance effects, harmonics, etc.).

3.1.9
nominal discharge current for class II test
I_n
crest value of the current through the SPD having a current waveshape of 8/20

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.9]

3.1.10
impulse discharge current for class I test
I_{imp}
crest value of a discharge current through the SPD with specified charge transfer Q and specified energy W/R in the specified time

[SOURCE: definition 3.1.10 of IEC 61643-11:2011]

3.1.11
combination wave
wave characterized by defined voltage amplitude (U_{oc}) and waveshape under open-circuit conditions and a defined current amplitude (I_{CW}) and waveshape under short-circuit conditions

Note 1 to entry: The voltage amplitude, current amplitude and waveform that is delivered to the SPD are determined by the combination wave generator (CWG) fictive impedance Z_f of 2 ohms and the impedance of the DUT.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.22, modified (addition of "of 2 ohms" to note to entry)]

3.1.12
8/20 current impulse
current impulse with a virtual front time of 8 μs and a time to half-value of 20 μs

Note 1 to entry: Clause 10 of IEC 62475:2010 defines the current impulse definitions of front time, time to half-value and waveshape tolerance.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.21, modified (removal of "nominal" from definition)]

3.1.13
1,2/50 voltage impulse
voltage impulse with a virtual front time of 1,2 μs and a time to half-value of 50 μs

Note 1 to entry: Clause 7 of IEC 60060-1 (2010) defines the voltage impulse definitions of front time, time to half- value and waveshape tolerance.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.20, modified (removal of "nominal" from definition)]

3.1.14
thermal stability
state of an SPD if, after heating up during the operating duty test, its temperature decreases with time while energized at specified maximum continuous operating voltage and at specified ambient temperature conditions

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.25, modified (addition of "state of an" and removal of "is thermally stable" from definition)]

3.1.15
SPD disconnector (disconnector)
device for disconnecting an SPD, or part of an SPD, from the power system

Note 1 to entry: This disconnecting device is not required to have isolating capability for safety purposes. It is to prevent a persistent fault on the system and is used to give an indication of an SPD's failure. Disconnectors can be internal (built in) or external (required by the manufacturer). There may be more than one disconnector function, for example, an over-current protection function and a thermal protection function. These functions may be in separate units.

[SOURCE IEC 61643-11:2011, 3.1.28]

3.1.16
type tests
conformity test made on one or more items representative of the production

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-16]

3.1.17
degree of protection provided of enclosure
IP
classification preceded by the symbol IP indicating the extent of protection provided by an enclosure against access to hazardous parts, against ingress of solid foreign objects and possibly harmful ingress of water

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.29)]

3.1.18
voltage drop (in percent)

$$\Delta U = [(U_{in} - U_{out}) / U_{in}] \times 100\ \%$$

where U_{in} is the input voltage and U_{out} is the output voltage measured simultaneously with a full rated resistive load connected. This parameter is used only for two-port SPDs

3.1.19
load-side surge withstand capability for a two-port SPD
ability of a two-port SPD to withstand surges on the output terminals originating in circuitry downstream of the SPD

[SOURCE: definition 3.1.18 of IEC 61643-11:2011]

3.1.20
short-circuit current rating
I_{SCCR}
maximum prospective short-circuit current from the power system for which the SPD, in conjunction with the disconnector specified, is rated

Note 1 to entry: Two short-circuit current rating may be defined for two-port SPDs or one-port SPDs having separate input and output terminals: one corresponding to an internal short circuit (shorting out the internal active part) and another one corresponding to an external short circuit (load-side short-circuit) directly at the output terminals (in case of a failure at the load).

SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.27, modified (addition of note to entry)]

3.1.21
one-port SPD
SPD having no intended series impedance

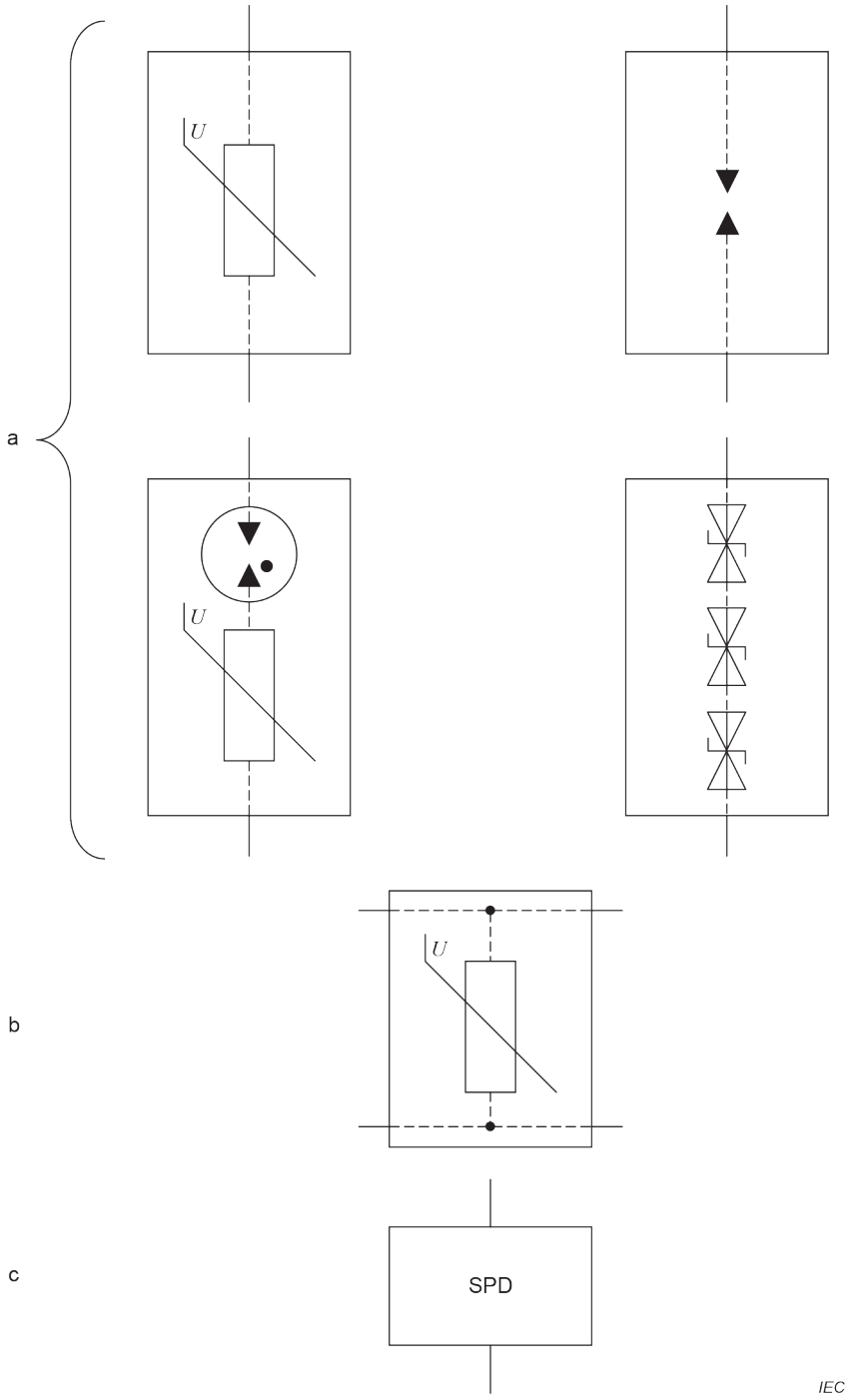
Note 1 to entry: A one port SPD may have separate input and output terminals.

Note 2 to entry: Figure 1 shows some typical one-port SPDs and the generic drawing for a one-port SPD (Figure 1c). A one-port SPD may be connected in shunt, Figure 1, or in line with the power supply, Figure 1b. In the first case, the load current is not flowing through the input and output terminals of the SPD. In the second case, the load current is flowing through the input and output terminals of the SPD and the temperature rise under load current and the associated maximum admissible load current may be determined as for a two-port SPD. Figure 3b to Figure 3d show the response of various types of one-port SPD to an 8/20 impulse applied via a combination wave generator.

3.1.22
two-port SPD
SPD having a specific series impedance connected between separate input and output terminals

Note 1 to entry: The measured limiting voltage may be higher at the input terminals than at the output terminals. Therefore, equipment to be protected is to be connected to the output terminals. Figure 2 shows typical two-port SPDs. Figure 3e and Figure 3f show the response of a two-port SPD to an 8/20 impulse applied via a combination wave generator.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.3, modified (addition of note to entry)]



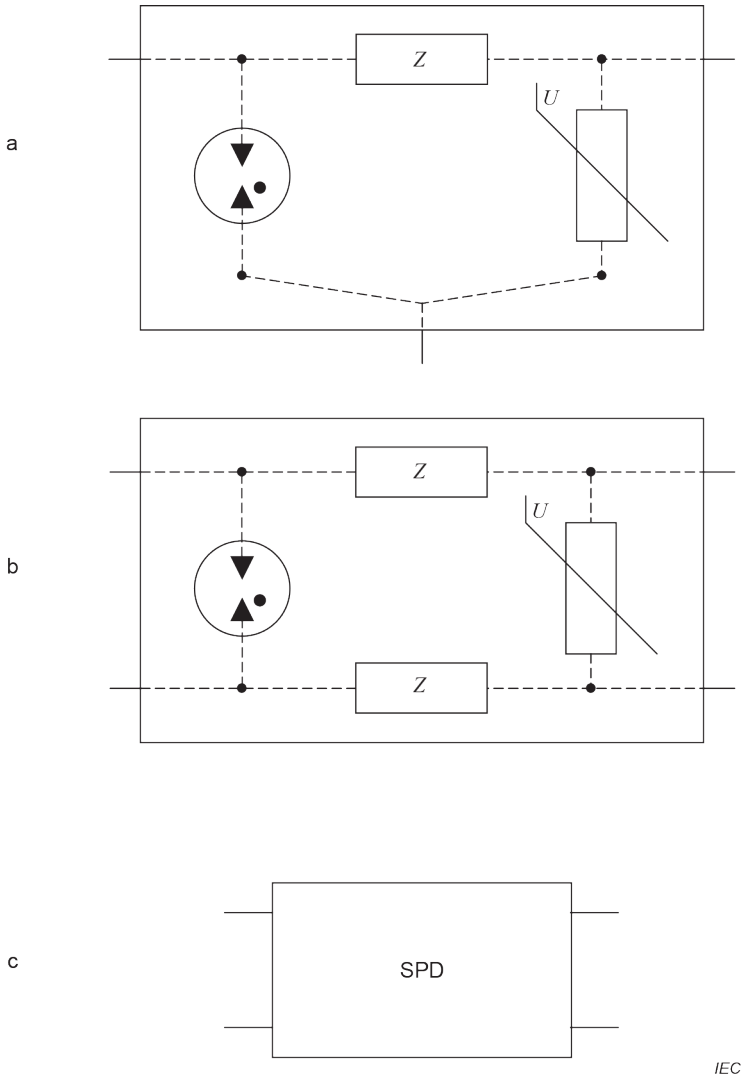
Key

a One-port SPDs

b One-port SPD with separate input and output terminals

c Generic symbol for a one-port SPD

Figure 1 – Examples of one-port SPDs



Key

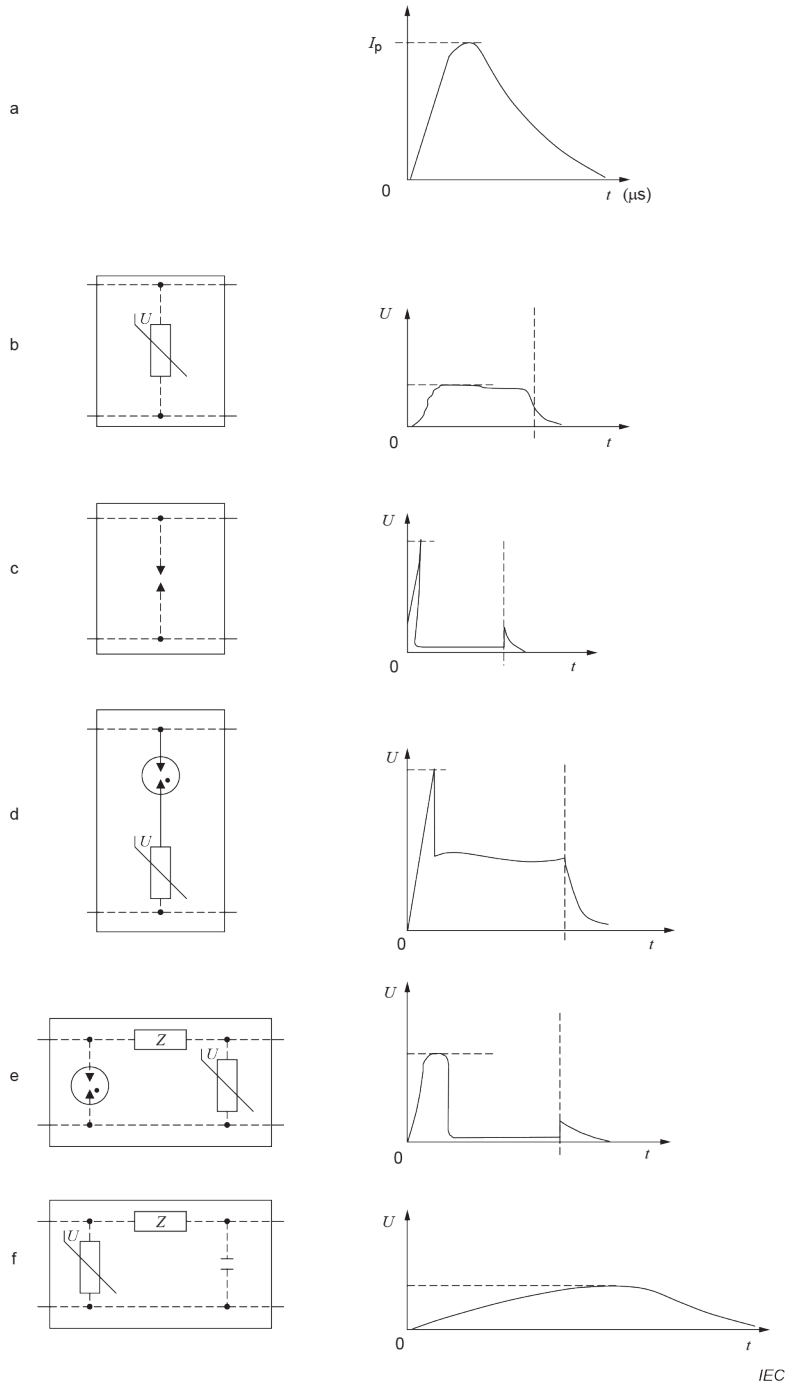
a Three-terminal two-port SPD

b Four-terminal two-port SPD

c Generic symbol for a two-port SPD

Z Series impedance between input and output terminals

Figure 2 – Examples of two-port SPDs



Key

a Applied current waveform

b Output voltage waveform of voltage-limiting SPD

c Output voltage waveform of voltage-switching SPD

d Output voltage waveform of one-port combination SPD

e Output voltage waveform of two-port combination SPD

f Output voltage waveform of two-port voltage-limiting SPD with filtering

NOTE The voltage levels are only representative and not an indication of actual values. U in the right part of the figure means the output voltage of the SPDs where U in the left part is the symbol for varistor.

Figure 3 – Output voltage response of one-port and two-port SPDs to a combination wave generator impulse

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.2, modified (addition of Note 2 to entry and Figures 1 to 3)]

3.1.23
Voltage-switching SPD
SPD that has a high impedance when no surge is present, but can have a sudden change in impedance to a low value in response to a voltage surge

Note 1 to entry: Common examples of components used in voltage switching SPDs are spark gaps, gas discharge tubes and silicon-based components (for example thyristors). These are sometimes called "crowbar-type" components.

Note 2 to entry: A voltage-switching device has a discontinuous U versus I characteristic. Figure 3c shows the response of a typical voltage-switching SPD to an impulse applied via a combination wave generator.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.4, modified (addition of Note 2 to entry)]

3.1.24
Voltage-limiting SPD
SPD that has a high impedance when no surge is present, but will reduce it continuously with increased surge current and voltage

Note 1 to entry: Common examples of components used in voltage-limiting SPDs are metal oxide varistors and avalanche breakdown diodes. These are sometimes called "clamping type" components.

Note 2 to entry: A voltage limiting device has a continuous U versus I characteristic. Figure 3b shows the response of a typical voltage limiting SPD to an impulse applied via a combination wave generator.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.5, modified (addition of Note 2 to entry)]

3.1.25
combination SPD
SPD that incorporates both voltage-switching components and voltage-limiting components

Note 1 to entry: The SPD may exhibit voltage-switching, limiting or both.

Note 2 to entry: Figure 3d and Figure 3e show the response of various typical combination SPDs to an impulse applied via a combination wave generator.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011,3.1.6, modified (addition of note to entry)]

3.1.26
mode of protection
intended current path between terminals that contains protective components, e.g. line-to-line, line-to-earth, line-to-neutral, neutral-to-earth

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.8]

3.1.27
follow current
I_f
peak current supplied by the electrical power system and flowing through the SPD after a discharge current impulse

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.12]

3.1.28
maximum discharge current
I_{max}
crest value of a current through the SPD having an 8/20 waveshape and magnitude according to the manufacturer’s specification

Note 1 to entry: I_{max} is equal to or greater than I_n.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.48]

3.1.29
degradation (of performance)
undesired permanent departure in the operational performance of equipment or a system from its intended performance

Note 1 to entry: Durability is a measure of the ability of an SPD to withstand the conditions for which it is designed throughout its service life. Two type tests are applied to provide confidence with respect to degradation. The first one is the operating duty test and the second is the ageing test. However, these two tests may be combined. The operating duty test is conducted by applying a specified number of defined current waveshapes to the SPD. Permitted changes in the SPD characteristics are given in IEC 61643-11. The ageing test is carried out at a specified temperature with a voltage of specified magnitude and duration applied to the SPD. Permitted changes in the SPD characteristics are given in IEC 61643-11(this test is under consideration). These tests can be used to determine the SPD prospective installed life, which should also consider the following:

- replacement policy;
- location and accessibility;
- acceptable failure rate;
- operating practices.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.26, modified (addition of note to entry)]

3.1.30
residual current device
RCD
mechanical switching device designed to make, carry and break currents under normal service conditions and to cause the opening of the contacts when the residual current attains a given value under specified conditions

Note 1 to entry: A residual current device can be a combination of various separate elements designed to detect and evaluate the residual current and to make and break current.

[SOURCE: IEC 60050-442:1998, 442-05-02]

3.1.31
nominal voltage of the system
voltage by which a system or equipment is designated and to which certain operating characteristics are referred (for example, 230/400 V)

Note 1 to entry: Under normal system conditions, the voltage at the supply terminals may differ from the nominal voltage as determined by the tolerances of the supply systems. In this document, a tolerance of ±10 % is used.

Note 2 to entry: The nominal voltage of the system phase to earth is called U_n (see IEC 60038).

Note 3 to entry: The line-to-neutral voltage of the system is called U_0.

Note 4 to entry: The line-to-line voltage of the system is called U.

3.1.32
impulse test classification

3.1.32.1
Class I tests
tests carried out with the impulse discharge current I_{imp}, with an 8/20 current impulse having a crest value equal to the crest value of I_{imp}, and, if relevant, with a 1,2/50 voltage impulse

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.34.1, modified (addition of "if relevant")]

3.1.32.2
class II tests
tests carried out with the nominal discharge current I_n, and if relevant, with a 1,2/50 voltage impulse

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.34.2, modified (addition of "if relevant)]

3.1.32.3
class III tests
tests carried out with a 1,2/50 voltage – 8/20 current combination wave generator

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.34.3]

3.1.33
rated load current
I_L
maximum continuous rated RMS current that can be supplied to a resistive load connected to the protected output of an SPD

Note 1 to entry: This is only relevant to SPD(s) having separate input and output terminals.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.13, modified (addition of note to entry)]

3.1.34
maximum continuous operating voltage of the power system at the SPD location
U_{cs}
maximum RMS voltage to which the SPD may be permanently subjected at the point of application of the SPD

Note 1 to entry: This takes into account only voltage regulation and/or voltage drop or increase. It is also called actual maximum system voltage and is directly linked to U_0.

Note 2 to entry: This voltage does not take into account harmonics, faults, TOVs or transient conditions.

3.1.35
trigger voltage of a voltage switching SPD
maximum voltage value at which the sudden change from high to low impedance starts for a voltage switching SPD

Note 1 to entry: A voltage switching SPD may be based on components other than gaps (for example, silicon-based components).

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.36, modified (addition of note to entry)]

3.1.36
lightning protection system
LPS
complete system used to reduce physical damage due to lightning flashes to a structure

Note 1 to entry: This consists of both external and internal lightning protection systems

[SOURCE: IEC 62305-3:2010, 3.1]

3.1.37
multiservice SPD
surge protective device providing protection for two or more services such as power, telecommunication and signalling in a single enclosure in which a reference bond is provided between services

3.1.38
residual current
I_{PE}
current flowing through the PE terminal of the SPD while energized at the reference test voltage (U_{REF}) when connected according to the manufacturer's instructions

Note 1 to entry: Protective conductor (PE) is conductor provided for purposes of safety, for example protection against electric shock (according to IEV 195-02-09).

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.40, modified (addition of note to entry)]

3.1.39
prospective short-circuit current of a power supply
I_p
current which would flow at a given location in a circuit if it were short-circuited at that location by a link of negligible impedance

Note 1 to entry: This prospective symmetrical current is expressed by its RMS value.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.38]

3.1.40
follow current interrupt rating
I_{fi}
prospective short-circuit current that an SPD is able to interrupt without operation of a disconnector

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.39]

3.1.41
specific energy for class I test
W/R
energy dissipated by a unit resistance of 1 Ω with the impulse discharge current I_{imp}

Note 1 to entry: This is equal to the time integral of the square of the current $(W/R = \int i^2 \mathrm{d}t)$.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.37]

3.1.42
rated impulse voltage
U_W
impulse withstand voltage value assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified withstand capability of its insulation against transient overvoltages

Note 1 to entry: For the purposes of this document only withstand voltages between live conductors and earth are considered.

[SOURCE: IEC 60664-1:2007:3.9.2, modified (addition of note to entry)]

3.1.43
impulse withstand voltage
highest peak value of impulse voltage of prescribed form and polarity which does not cause breakdown of insulation under specified conditions

[SOURCE: IEC 60664-1:2007, 3.8.1]

3.1.44
overvoltage category
numeral defining a transient overvoltage condition

[SOURCE: IEC 60664-1:2007:3.10, modified]

3.1.45
overcurrent protective device
OCPD
device provided to interrupt an electric circuit in case the conductor current in the electric circuit exceeds a predetermined value for a specified duration

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-14-14]

3.1.46
effective voltage protection level
$U_{p/f}$
voltage at the connection point of the SPD assembly resulting from the voltage protection level of the SPD and the voltage drop across a disconnector and connecting leads, if present

3.1.47
short-circuiting SPD
SPD tested according to Class II tests which changes its characteristic to an intentional internal short-circuit due to a surge current exceeding its nominal discharge current I_n

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.7]

3.1.48
status indicator
device that indicates the operational status of an SPD, or a part of an SPD

Note 1 to entry: Such indicators may be local with visual and/or audible alarms and/or may have remote signaling and/or output contact capability.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.41]

3.1.49
open circuit voltage
U_{oc}
open circuit voltage of the combination wave generator at the point of connection of the device under test

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.23]

3.1.50
combination wave generator short-circuit current
I_{cw}
prospective short-circuit current of the combination wave generator, at the point of connection of the device under test

Note 1 to entry: When the SPD is connected to the combination wave generator, the current that flows through the device is in most cases less than I_{CW} ."

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.24]

3.1.51
output contact
contact included in a circuit separate from the main circuit of an SPD, and linked to a disconnector or status indicator

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.42]

3.1.52
multimode SPD
type of SPD with more than one mode of protection, or a combination of electrically interconnected SPDs offered as a unit

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.43, modified]

3.1.53
total discharge current
I_{Total}
current which flows through the PE or PEN conductor of a multimode SPD during the total discharge current test

Note 1 to entry: The aim is to take into account cumulative effects that occur when multiple modes of protection of a multimode SPD conduct at the same time.

Note 2 to entry: I_{Total} is particularly relevant for SPDs tested according to test class I, and is used for the purpose of lightning protection equipotential bonding according to IEC 62305 series.

Note 3 to entry: PEN conductor is conductor combining the functions of both a protective earthing conductor and a neutral conductor (according to IEV 195-02-12).

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.44, modified (addition of Note 3 to entry)]

3.1.54
reference test voltage
U_{REF}
RMS value of voltage used for testing which depends on the mode of protection of the SPD, the nominal system voltage, the system configuration and the voltage regulation within the system

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.45]

3.1.55
transition surge current rating for short-circuiting SPD
I_{trans}
8/20 impulse current value exceeding the nominal discharge current I_n, that will cause a short-circuiting SPD to short-circuit

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.46]

3.1.56
voltage for clearance determination
U_{max}
highest measured voltage during surge applications for clearance determination

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.47, modified]

3.1.57
Varistor voltage
V_V
Voltage across the MOV measured at a specified current (typically 1 mA) for a specific duration

[SOURCE: IEC 61643-331, 3.2.3]

3.2 List of abbreviated terms and acronyms used in this document

List of abbreviated terms	
E_{max}	Maximum energy withstand
I_c	Continuous operating current
I_{CW}	short-circuit current of the combination wave generator
I_f	Follow current
I_{fi}	Follow current interrupting rating
I_{imp}	impulse discharge current for class I test
I_L	Rated load current
I_{max}	maximum discharge current
I_n	nominal discharge current for class II test
I_p	Prospective short-circuit current of a power supply
I_{PE}	residual current at U_{REF}
I_{sc}	Short-circuit current of the CWG
I_{SCCR}	short-circuit current rating
I_{Total}	total discharge current for multimode SPD
I_{trans}	transition surge current rating for Short-circuiting SPD
L	Inductance
N_G	Ground flash density
N_k	Keraunic level
P_{SPD}	Probability that an apparatus will be damaged, in spite of protection by a coordinated SPD system
Q	Charge (of impulse current)
t_T	TOV application time for testing
U_{cs}	Maximum continuous operating voltage of the power system
U_{max}	voltage for clearance determination
U_n	Nominal voltage of the system phase to earth
U_0	Line-to-neutral voltage of the system
U_{oc}	open circuit voltage of the combination wave generator
U_p	Voltage protection level
U_{REF}	Reference test voltage
U_{res}	Residual voltage
U_T	temporary overvoltage test value
U_{TOV}	Temporary overvoltage of the power system
$U_{TOV(HV)}$	Temporary overvoltage of the network inside the high-voltage system
$U_{TOV(LV)}$	Temporary overvoltage of the network inside the low-voltage system
U_W	Rated impulse voltage
V_V	Varistor voltage
W/R	Specific energy
Z_f	fictive impedance (of combination wave generator)
ΔU	Voltage drop (in %)

List of acronyms	
ABD	Avalanche breakdown device
dB	Decibel
CWG	Combination wave generator
DFIG	Double-Feed induction generator
DUT	Device under test
EB	Equipotential Bonding bar
EMC	Electromagnetic compatibility
GDT	Gas discharge tube
HV	High voltage
IGBT	Insulated gate bipolar transistor
IP	Degrees of protection provided by the enclosure
LEMP	Lightning electromagnetic pulse
LPS	Lightning protection system
LPZ	Lightning protection zone
LTE	let-through energy
LV	Low voltage
MEB	Main equipotential bonding
MOV	Metal oxide varistor
HVA	High voltage A (medium voltage, <50 kV)
MV	Medium voltage
OCPD	Overcurrent protective device
PDS	Power distribution system
PE	Protective earth
PV	Photovoltaic
PWM	Pulse width modulation
RCD	Residual current device
TOV	Temporary overvoltage
SPC	Surge protective component
SPD	Surge protective device

4 Need for protection

The decision as to whether or not to use SPDs is dependent upon a wide range of parameters which are weighted by the user. The parameters that should be considered are listed in Clause H.2.

Further information on performing risk analysis can be found in the following two documents:

– IEC 62305-2 (for a complete analysis).
– IEC 60364-4-44 (structures needing protection only against flashes to, or near to, a line). Examples on how to use this method are described in Clause H.1.

Probability that a SPD reaches its end of life with given surge conditions (P_{SPD} as defined in IEC 62305-2) is when there is a LPS is given in IEC 62305-2. When the SPD's surge withstand increases, P_{SPD} decreases.

NOTE If an authority having jurisdiction specifies the need for surge protection for specific applications without requiring a risk assessment, the decision of the need and protection level will be specified by this authority. In some cases, a risk assessment can be performed additionally to define the test class of SPD, but not the need of SPD.

5 Low-voltage power systems and equipment to be protected

5.1 General

When evaluating an installation for the need of an SPD, two factors need to be considered:

- the characteristics of the low-voltage power distribution system on which the SPD will be installed, including expected types and levels of overvoltage and current;
- the characteristics of the equipment to be protected.

5.2 Low-voltage power systems

5.2.1 General

Low-voltage power systems are basically characterized by the type of system earthing (TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT) and its nominal voltage, its types of overvoltages and surge currents. In this document, the overvoltages and surge currents are classified into three groups:

- lightning;
- switching;
- temporary overvoltages.

5.2.2 Lightning overvoltages and surge currents

In most cases lightning stress is the major factor to consider in the selection of an SPD's class of test and associated current or voltage values (I_{imp}, I_{n} or U_{oc}) defined in IEC 61643-11.

Evaluation of the lightning stress (based on waveshape and magnitude of current or voltage) is necessary for the proper selection of an SPD. It is also important to determine that the voltage protection level U_{p} of the SPD is adequate to protect the equipment under such conditions.

When a Lightning Protection System (LPS) is present, an SPD at the entrance of the installation is mandatory and an SPD tested according to test Class I shall be selected. For buildings with Lightning Protection Systems (LPS), additional information on lightning stress can be found in IEC 62305-1. For selection of I_{imp}, more information can also be found in Annex J.3.

In many cases, higher stresses occur on the electrical installation external to the structure (for example, direct strike to or induced surges on the external power lines connected to the structure). Within the structure, the stresses decrease from the installation's entrance to internal circuits, due to the change of circuit configuration, SPD interaction and impedances.

The risk analysis is performed either by applying the simplified method described in IEC 60364-4-44 (see Clause H.2) or the detailed risk analysis described in IEC 62305-2. For performing a risk analysis, the user will need to know at least the following:

- The local ground flash density N_{G} (average annual ground flash density, in lightning flashes per km^2 per year, related to the region where the structure is located). Modern Lightning Location Systems (LLS) can provide information on N_{G};
- The exposure of the electrical installation.

To determine if surge protection is needed when the supply is provided by an underground cable, the following should be considered:

- the installation has a LPS in its vicinity;
- is the length of the underground cable sufficient to provide adequate surge attenuation? (according to IEC 62305 series a minimum length of 1 000 m is needed to consider surges as being reduced to an acceptable level)
- the underground cable may be affected by direct lightning in the presence of high soil resistivity (except if the cable is shielded or in metal conduit);
- high surges of atmospheric origin can be expected on the overhead line supplying the HV (high voltage) side of the transformer connected to the installation;
- the size or height of the building powered by the underground cable is high enough to significantly increase the risk of direct strikes.;
- other overhead services present (telephone lines, antenna systems, etc.) that could affect the power system and equipment.

When many buildings are supplied from a single supply system, those buildings which do not have SPDs can experience high stresses on their electrical systems.

The evaluation of the waveshape and current magnitude due to proximity to a strike/event (i.e. directly on or close to the structure, directly on or near the power lines) are reported in Annex E of IEC 62305-1:2010. The risk evaluation for each of these sources of damage can be performed using the method described in IEC 62305-2.

Annex C and Annex I provide more information about lightning stresses**.**

Equipment within the electrical installation, upstream of the SPD, may influence the surge withstand of the installation; their surge withstand should be determined.

5.2.3 Switching overvoltages

These stresses, in terms of peak current and voltage, are usually lower than lightning stresses but could have much longer duration (e.g. transients due to faults and fuses operations) or less energetic but much more frequent (e.g. operation of contactors, capacitor banks for power factor correction, IGBTs, etc.). However, in some cases, particularly deep inside a structure or close to switching overvoltage sources, the switching stress can be higher than the stresses caused by lightning. The energy related to these switching surges needs to be determined to permit the choice of appropriate SPDs.

In general, the selection of the surge rating of an SPD is based on the stresses due to lightning.

For additional information on surges generated within the power distribution system inside a facility, see Subclause 4.3 of IEEE Std C62.41.1-2002 and Subclause 5.2.2 of C62.72-2016. These types of surges, although not always immediately damaging to the power distribution system or connected equipment, often cause interruption and disruption of the operation of the system. These surges have significantly different waveshapes and amplitudes than those expected from sources external to the power distribution system and may require SPDs designed to specifically mitigate the effects of these internally generated surges. Additional recommended waveshapes and test amplitudes that represent these surges are defined in IEEE Standard C62.41.2-2002. Additional information on such surges can be found in IEC TR 62066:2002, *Surge overvoltages and surge protection in low-voltage AC power systems – General basic information*.

Annex C and Annex I provide more information about switching stress. Additional information on switching surges can be found in IEC TR 62066.

5.2.4 Temporary overvoltages U_{TOV}

5.2.4.1 General

During its lifetime, any SPD may be exposed to a temporary overvoltage U_{TOV} that exceeds the normal voltage of the power system.

A temporary overvoltage has two dimensions: magnitude and time. The time duration of the overvoltage depends primarily upon the earthing of the supply system (including both the high-voltage supply system as well as the low-voltage system to which the SPD is connected). In determining the temporary overvoltages of a system, consideration should be given to the line to neutral and line to line voltages of the system (see Table E.3).

TOVs may occur on the low-voltage system between L-N or L-PEN in the case of a failure in the low voltage system:

– for an undefined time until an OCPD operates in the case of short circuit condition,
– for an unlimited time in the case of loss of neutral.

TOVs may occur on the low voltage system for a limited time between N-PE or L-PE in case of a ground fault in the high voltage system, depending on the earthing configuration of the high voltage system and the low voltage system or possible interaction between both systems.

SPDs are not intended for protection against system TOVs. SPDs may withstand or fail in a safe manner as described in IEC 61643-11.

TOVs due to loss of Neutral are responsible of line-neutral overvoltages for very long times (up to hours) and which may reach voltage values up to the line-line voltages of the power system. Protection against such TOVs cannot be obtained with SPDs. POP (Power frequency Overvoltage Protection devices) may be used in such cases.

NOTE POP is defined in IEC 63052[1].

Annex E, and Annex I provide more information about temporary overvoltages.

5.2.4.2 Standardized values

IEC 60364-4-44 provides the maximum values of U_{TOV} to be expected in low-voltage power systems. (For a more detailed calculation of these values, refer to Annex E).

Lower values are possible depending on many factors, including the location of the SPD, the type of power system, and the like.

The maximum temporary overvoltage values at the consumer installation are given in Table 1.

Values used for testing SPDs are indicated in Annex E.

[1] Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/PRVC 63052:2019.

Table 1 – Maximum TOV values based on IEC 60364-4-44:2007

Occurrence of U_{TOV}	System	Maximum values for $U_{TOV(HV)}$
Between phase and earth	TT, IT	U_0 + 250 V for duration >5 s
		U_0 + 1 200 V for duration up to 5 s
Between neutral and earth	TT, IT	250 V for duration >5 s
		1 200 V for duration up to 5 s
The above values are extreme values related to faults in the high-voltage power systems and can be calculated depending on the type of power systems according to Annex E.		
Occurrence of U_{TOV}	**System**	**Maximum values for $U_{TOV(LV)}$**
Between phase and neutral	TT and TN	$\sqrt{3} \times U_0$
The above value is related to a loss of the neutral conductor in the low-voltage system.		
Between phase and earth	IT system (TT system: see note 1)	$\sqrt{3} \times U_0$
The above value is related to accidental earthing of the phase conductor in the low-voltage system.		
Between phase and neutral	TT, IT and TN	1,45 × U_0 for a duration up to 5 s
The above value is related to short circuit between a line conductor and the neutral conductor.		
NOTE 1 It has been demonstrated that high TOVs can also occur in TT systems for durations up to 5 s. See Annex E for more details. This condition is not addressed in IEC 60364-4-44. NOTE 2 Maximum TOV values at the transformer location may be different from the tables above (higher or lower). See Annex E for more details. U_0 is the line-to-neutral voltage of the low-voltage system.		

5.3 Characteristics of the equipment to be protected

Characteristics of the equipment to be protected under transient conditions are determined by two test methods, as follows:

- The impulse withstand of the equipment test, according to IEC 60664-1. This is only an insulation coordination test. During the test, the equipment is de-energized.
- The impulse immunity of the equipment test, according to IEC 61000-4-5. This test evaluates the equipment's operational immunity capabilities. The test is mainly performed with a combination wave generator (1,2/50, 8/20) at different levels. It determines where a malfunction, error or failure can occur during energized operation.

A comparison of the impulse withstand and impulse immunity levels, with respect to the transient environment in which the equipment is to be used, determines the potential need for SPDs. For more information, see Annex O.

NOTE The selected SPD can provide an effective protection level $U_{p/f}$ lower than the impulse withstand capability U_w of the equipment to be protected. In some cases where the continuous operation of the equipment is critical, $U_{p/f}$ is lower than the impulse immunity of the equipment, see 7.4.5. U_p can be selected in accordance with 7.5.2 and 7.5.6.

6 Surge protective devices

6.1 Basic functions of SPDs

The SPDs considered in this document are those installed external or internal to the equipment to be protected.

NOTE Electric and electronic equipment are often protected with overvoltage components (e.g. MOVs compliant with IEC 61643-331) which are not taken into consideration here. Only overvoltage protection provided with devices (SPDs) compliant with IEC 61643-11 is considered in this document.

Their functioning in power systems can be described as follows.

- In the absence of surges: the SPD shall not have a significant influence on the operational characteristics of the system to which it is applied.
- During the occurrence of surges: the SPD responds to surges by lowering its impedance and thus diverting surge current through it to limit the voltage (in most cases much lower than its protective level U_p). The surges could initiate a power follow current through the SPD depending on the SPD design (SPD with power follow current).
- After the occurrence of surges: the SPD recovers to a high-impedance state after the surges and extinguishes any possible power follow current.

The characteristics of SPDs are intended to achieve the above functions under normal service conditions. Normal service conditions are specified by the frequency of the power-system voltage, load current, altitude (i.e. air pressure), humidity and ambient air temperature.

6.2 Additional requirements

Depending on the application of the SPD, additional requirements may be needed such as:

- Protection of SPDs against direct contact (which shall be in accordance with IEC 60364-4-41);
- Safe behaviour in the event of SPD end of life.

An SPD may end its life when subjected to a surge greater than its designed discharge current capability or when exposed to a sustained overvoltage that exceeds its maximum continuous operating voltage. For the purpose of this document, the SPD end of life mode is divided into open-circuit or short-circuit (see also 6.5.4).

NOTE In the context of this clause, this does not address the concept of SPD classification of IEC 61643-11 (SPD failure behaviour) which is linked to particular technologies of SPDs. However, SPDs classified as short-circuiting type SPDs will, by definition, end up in short circuit when reaching their end of life.

End of life of an SPD is usually difficult to detect since it has almost no influence on the system. However, the system is no longer protected. To ensure that such failed SPD is replaced before the next surge, a fault indicator is required (see 7.6.3).

A short-circuit current may flow through the failed SPD when it reaches its end of life. The short circuit withstand capability test of IEC 61643-11 is performed to ensure that energy dissipated during the conduction of short-circuit current will not result in a fire hazard. Independent of the declared SPD failure behaviour (open circuit or short circuit behaviour) according to IEC 61643-11, a suitable disconnecting device may be required to protect the SPD in case of overload (see 7.5.2.4).

6.3 Classification of SPDs

6.3.1 SPD: classification

Surge protective devices are classified according to IEC 61643-11 as follows.

Number of ports:	one or two
Design topology:	voltage-switching, voltage-limiting or combination
SPD Class of test:	I, II, III
Location:	indoor or outdoor
Accessibility:	accessible, inaccessible (out-of-reach)
Mounting method:	fixed or portable
Disconnector:	location (external, internal, both external and internal, none) and protection functions (thermal, leakage current, overcurrent)
Overcurrent protection:	specified or not

Degree of protection: provided by the SPD enclosure (IP)

Temperature range: normal or extended

NOTE By definition, outdoor means outside closed shelters. Hence, such SPDs are subjected to all external conditions. Indoor means inside closed shelters. Hence, such SPDs are subjected to indoor atmospheric conditions. Out-of-reach means no access to live parts without the use of tools or other equipment.

Some of the above choices are linked to the technology used and are defined by the manufacturer.

6.3.2 Typical design and topologies

The main protective components used in SPDs belong to two categories:

– voltage-limiting components: metal oxide varistors (MOV, see IEC 61643-331), avalanche breakdown diodes (ABD, see IEC 61643-321) or suppressor diodes (see IEC 61643-321), etc.;

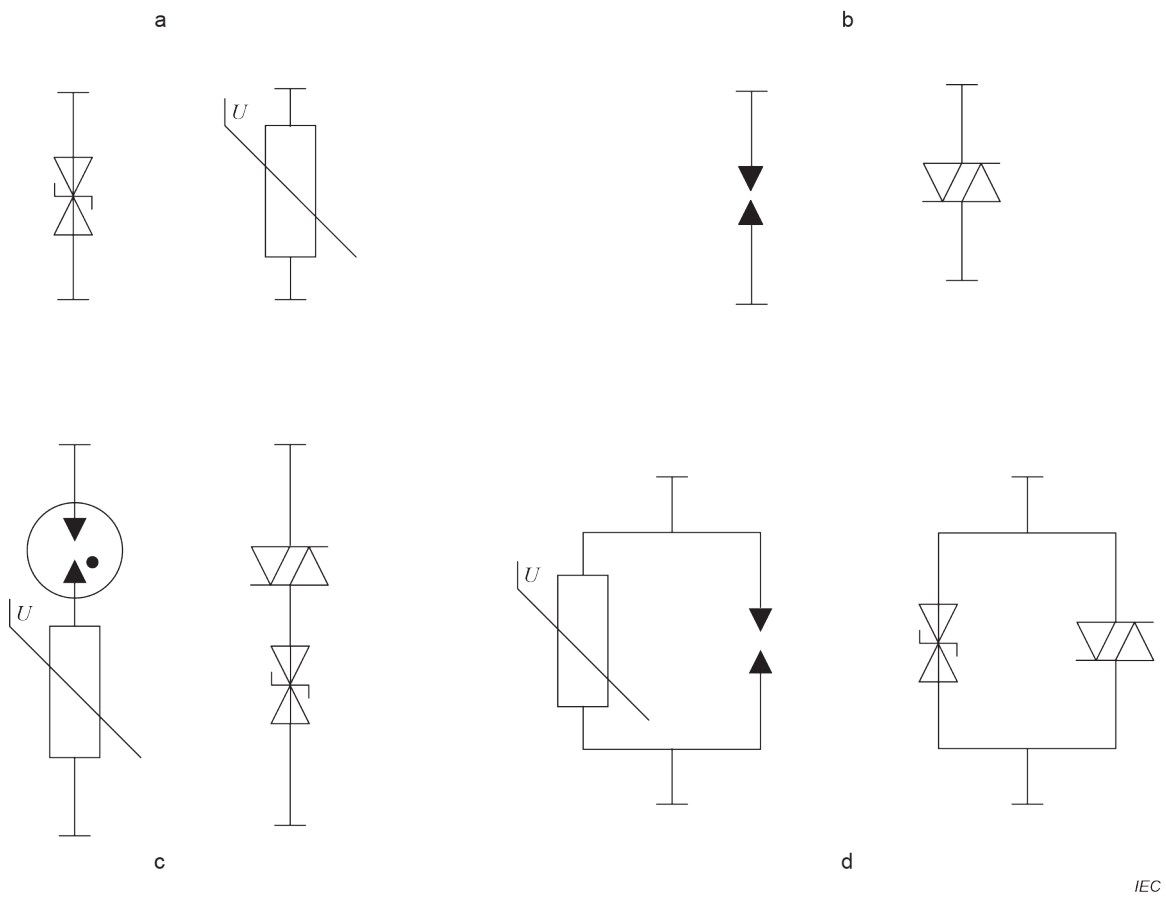
– voltage-switching components: air gaps, gas discharge tubes (GDT, see IEC 61643-311), thyristors; surge suppressors (TSS, see IEC 61643-341), triacs (see IEC 61643-341) etc.

Based on these components, typical SPD designs are given in Figure 4:

– single voltage-limiting component (Figure 4a): voltage-limiting SPD;

– single voltage-switching component (Figure 4b): voltage-switching SPD;

– combination of voltage-limiting and voltage-switching components (Figure 4c and Figure 4d): combination SPD.



Key

a Voltage-limiting components

b Voltage-switching components

c Voltage-limiting components in series with voltage-switching components

d Voltage-limiting components in parallel with voltage-switching components

Figure 4 – Examples of components and combinations of components

SPDs may consist of of a simple arrangement of surge protective components, but they may also incorporate indicators, disconnectors, fuses, inductors, capacitors, thermal cutoff and positive temperature coefficient thermistor and other components. SPDs are generally divided into one-port SPDs (see 3.1.21) and two-port SPDs (see 3.1.22)

See Annex P for further information on test application to SPDs with multiple components.

6.4 Characteristics of SPDs

6.4.1 Service conditions as described in IEC 61643-11

6.4.1.1 Normal service conditions

- The frequency of the supply mains is between 47 Hz and 63 Hz AC.
- The altitude shall not exceed 2 000 m.
- Operating temperature: normal range – 5 °C to +40 °C, extended range – 40 °C to +70 °C.
- Relative humidity for indoor temperature conditions shall be between 5 % and 95 % for normal range and between 5 % and 100 % for the extended range.

The normal range addresses SPDs for indoor use in weather-protected locations having neither temperature nor humidity control. The extended range addresses SPDs for outdoor use in non-weather-protected locations.

NOTE 1 The user determines the location where the SPD is to be applied (outdoor, indoor, etc.) and decides whether the environmental temperature conditions are within the normal or the extended range.

NOTE 2 In general, the temperature range for storage is greater than for operation.

6.4.1.2 Abnormal service conditions

Exposure of the SPD to abnormal service conditions may require special consideration in the design or application of the SPD and should be called to the attention of the manufacturer.

Solar radiation: most SPDs are not exposed to solar radiation. In general, solar radiation is not considered during type testing. Where SPDs are exposed to solar radiation, this should be taken into account and tested accordingly.

NOTE In general, the degree of protection of the SPD enclosure is greater than IP2X. In some instances, other values could be used (for example, for outdoor SPDs).

6.4.2 List of parameters for SPD selection

The following is a non-exclusive list of parameters needed by the user(s) to properly select the SPD(s).

NOTE Some of these parameters are defined for each mode of protection.

a) U_c Maximum continuous operating voltage

b) U_T Temporary overvoltage test value and/or the type(s) of power system(s) the SPD is designed for

c) I_{imp} for class I tests

d) I_n Nominal discharge current for class II tests

e) U_{oc} for class III tests

f) U_p Voltage protection level

g) Failure behaviour (if declared by the manufacturer)

h) I_{SCCR} Short-circuit current rating

i) I_{fi} Follow current interrupting rating (except in the case of voltage-limiting SPDs)

j) I_L Rated load current (for two-port SPDs or one-port SPDs with separate input and output terminals)

k) Voltage drop (for two-port SPDs)

l) I_{PE} Residual current (for SPDs with a terminal for the protective conductor)

m) I_{trans} transition surge current (for Short-circuiting SPD)

n) Ratings and characteristics for external disconnector(s), if required.

o) I_{max} maximum discharge current (optional)

p) I_{Total} Total discharge current for multimode SPDs (if declared by the manufacturer)

q) Load-side surge withstand capability for two-port SPDs (if declared by the manufacturer)

r) Modes of protection (for SPDs with more than one mode of protection)

s) $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$ Voltage rate of rise (if declared by the manufacturer)

6.5 Additional information on characteristics of SPDs

6.5.1 Information related to power-frequency voltages

6.5.1.1 U_c maximum continuous operating voltage, I_c continuous operating current and residual current I_{PE}

U_c shall be high enough to minimize any changes in SPD characteristics (ageing, thermal runaway, etc.) under normal conditions.

I_c is the value of current through the SPD when U_c is applied. The current flowing through the earth (PE) terminal, if any, is called the residual current I_{PE}. This current I_{PE} is used in selecting an SPD to avoid unnecessary operation of overcurrent devices or other protective devices (for example RCDs) (see 531.2.1.2 of IEC 60364-5-53:2001).

NOTE I_c is not measured in IEC 61643-11 and is an optional parameter.

6.5.1.2 Temporary overvoltage characteristics

The temporary overvoltage characteristic of an SPD is generally represented by a few dots (voltage/time) on a curve of voltage (at power frequency) versus time (up to several seconds).

Durations for TOVs considered by IEC 61643-11 are limited to three durations:

- 200 ms for TOV caused by faults on the HV side,
- 5 s caused by faults in the LV system and
- 120 min caused by loss of neutral.

and related test voltage values are called U_T (temporary overvoltage test value).

The SPD may either withstand the TOV tests without unacceptable changes in its characteristics or fail in a safe manner

SPDs installed according to IEC 60364-5-53 shall withstand the TOV due to fault in the low voltage power system (See TOV values for 5 s duration in Table E.3).

SPDs, for which the manufacturer declares in the installation instructions that they may be installed in TT-systems between neutral and PE upstream of the main RCD, shall also withstand the TOV due to fault in the high voltage power system (See TOV values for 200 ms duration in Table E.3).

The temporary overvoltage test value shall be declared by the manufacturer according to IEC 61643-11.

NOTE Selecting an SPD with both a high temporary overvoltage withstand and a low voltage protection level can be difficult.

The user can select the most suitable SPD by comparing the temporary overvoltage test value of the SPD and the temporary overvoltages (U_{TOV}) occurring on the power system. Standardized values used for SPD testing are given in Table E.3.

The manufacturer's data sheet shall provide either U_T (Temporary overvoltage test value) or the type(s) of power system(s) the SPD is designed for. When the type of system suitable for the SPD is provided, all the necessary tests have been performed at the required U_T values and thus there is no need to compare U_T and U_{TOV} for systems compliant with TOV defined in IEC 60364-4-44. It is now common that the type(s) of power system(s) the SPD is designed for is provided in the data sheet to simplify the task of the user.

6.5.2 Information related to surge currents

6.5.2.1 General

The factors discussed below relate to the voltage, current and time characteristics of the surge waveform. Different surge waveforms and levels are used for testing depending upon the stresses to which the SPD is expected to be exposed.

Guidance for the selection of the appropriate test class(es) for an SPD is given in the introduction to IEC 61643-11, which states the following:

There are three classes of tests

– The Class I test is intended to simulate partial conducted lightning current impulses. SPDs subjected to Class I test methods are in most cases recommended for locations at points of high exposure, e.g. line entrances to buildings protected by LPS.
– SPDs tested to Class II or III test methods are subjected to impulses of shorter duration.

When selecting an SPD, it is necessary to consider both the test class and the magnitude of the impulse for which it is rated. SPDs tested to Class II or III test methods are in most cases recommended for locations with lesser exposure to direct impulses. Class II tested SPDs may be used at the entrance and sub-distribution boards while class III tested SPDs should be used for locations close to the equipment

NOTE 1 The class II test applies an impressed current to the SPD. The class III test applies a voltage to the SPD, and the resultant current depends on the characteristics of the SPD. The marking on the SPD relates to the generator used and not the actual current that flowed through the SPD during the test.

NOTE 2 The class of test which the SPD has undergone is provided on the nameplate using the format represented by a T in a square: "T1" for class I test, "T2"for class II test and "T3" for class III test, or by writing "test class" in words.

6.5.2.2 I_n: nominal discharge current (8/20)

For SPDs meeting the class II test, this is the current that is used as one test parameter for determining the measured limiting voltage. (The other test is the front-of-wave sparkover voltage test for voltage-switching and combination SPDs.) This current is also used for the operating duty test (applied 15 times).

I_n corresponds to a current that is expected to occur frequently in the field.

The preferred values for I_n are: 0,05; 0,1; 0,25; 0.5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0; 10; 15 and 20 kA.

IEC 60364-5-53 requires a minimum of 5 kA at the entrance of the installation.

6.5.2.3 I_{imp}: current Impulse discharge (e.g.10/350)

For SPDs meeting Class I tests, I_{imp} is the test parameter used in the additional operating duty test for Class I tests. They are related to the maximum values of discharge currents, which may occur at the location of the SPD in the system.

NOTE An impulse with a waveshape 8/20 and a magnitude I_{imp} is used for determining the measured limiting voltage. (The other test being the front-of-wave sparkover voltage test for voltage-switching and combination SPDs) and is used for the operating duty test (applied 15 times).

The preferred values for I_{imp} (Q, W/R), according to IEC 61643-11, are given in Table 2.

Table 2 – Preferred values of I_{imp}

I_{imp} kA	Q C	W/R kJ/Ω
25	12,5	156
20	10	100
12,5	6,25	39
10	5	25
5	2,5	6,25
2	1	1
1	0,5	0,25
NOTE The 10/350 waveshape is a typical example of a waveshape which meets the requirements of Table 2.		

6.5.2.4 I_{max}: maximum discharge current

I_{max} is an optional test parameter. There is no impulse at I_{max} in the operating duty test. It is related to the maximum values of discharge currents, which are expected to occur rarely at the location of the SPD in the system

When I_{max} is declared by the manufacturer, an additional 8/20 current impulse with a crest value I_{max} is applied and the residual voltage shall be measured and recorded. For an SPD based on limiting components the voltage U_{max} is equal to or greater than the residual voltage at I_n.

6.5.2.5 I_{trans}: transition surge current (for Short-circuiting SPD)

I_{trans} is a 8/20 impulse greater than I_n and corresponds to a current that causes a short-circuiting SPD to short-circuit.

This current is also used during pre-conditioning for the short-circuit current behaviour test.

The values of I_{trans} are selected from among preferred values of I_n.

6.5.3 Information related to voltage protection level provided by SPDs

6.5.3.1 Measured limiting voltage

a) Class I and class II tests

The measured limiting voltage is determined by performing two tests:

– measurement of the residual voltage at various values of current using 8/20 wave;

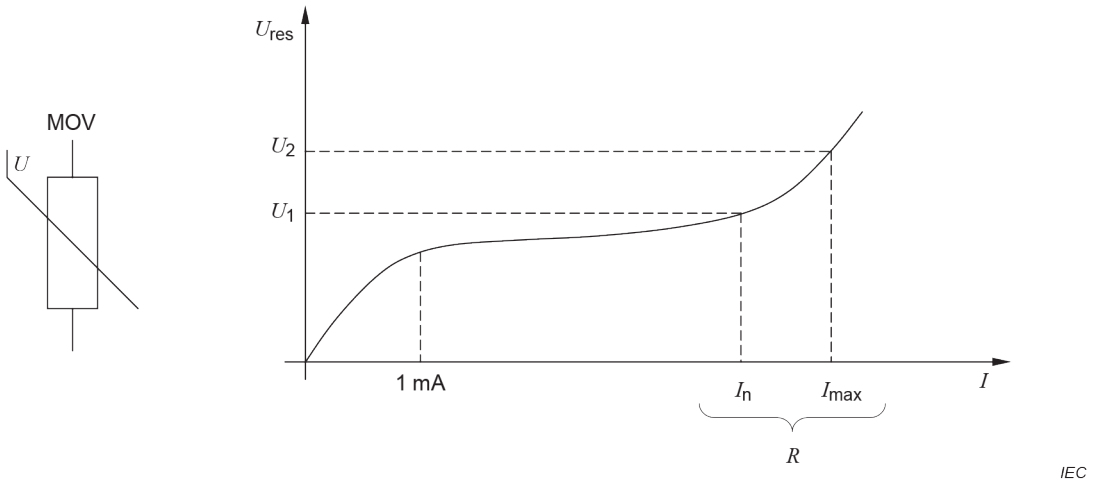
– measurement of the front-of-wave sparkover voltage using a 1,2/50 wave (for voltage-switching and combination SPDs only).

The measured limiting voltage is the highest voltage value of either

– the residual voltage, for a range of current impulse with a 8/20 front-of-wave and a crest value from 0,1 up to one time the magnitude of I_{imp} for class I test; and from 0,1 up to one time I_n for class II test;

– or the front-of- wave sparkover voltage using a 1,2/50 wave.

For SPDs with voltage-limiting components, for example, Figure 5 shows a typical residual voltage curve (U_{res} versus I) for a metal oxide varistor (MOV). The curve shows that the residual voltage of the SPD for current at I_{max} is greater than the residual voltage at I_n and when I_{max} is declared. If this voltage at I_{max} is higher than the voltage protection level and especially if it is higher than the impulse withstand voltage of the equipment to be protected, then there is a risk that the SPD will survive such a stress but the equipment will not be protected. Therefore, the voltage protection level and surge current withstand of the SPD shall be selected accordingly.



Key

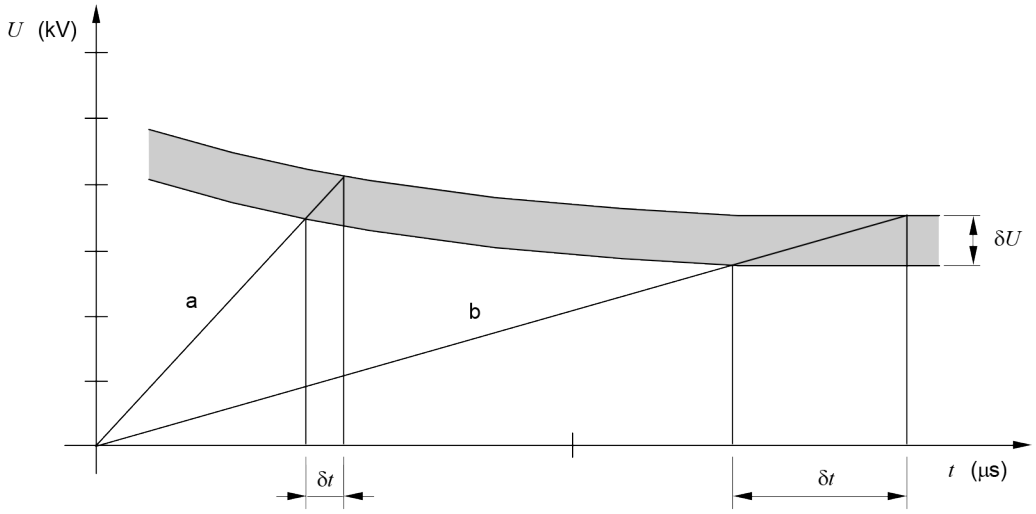
U_1 Residual voltage at I_n

U_2 Residual voltage at I_{max}

R Range of several kA

Figure 5 – Typical curve of U_{res} versus I for Metal oxide varistors (MOV)

For SPDs with voltage-switching components, (for example, a spark gap device, gas discharge tube, etc.) the impulse sparkover voltage is dependent upon the rate of rise (du/dt) of the applied transient overvoltage. In most cases, the higher the voltage rate of rise (du/dt) of the transient is, the higher the impulse sparkover voltage will be. As the impulse sparkover voltage is a statistical value at a defined du/dt, there will be a spread in the measured values (see Figure 6).



Key

a Higher rate of rise – 10 kV/μs

b Lower rate of rise – 1 kV/μs

δt Spread in time of sparkover

δU Spread in voltage of sparkover

Figure 6 – Typical curve for a spark gap

b) Class III tests

For SPDs tested according to class III, a combination wave generator is used. The maximum value measured during the test with combination wave generator impulses from 0,1 × U_{OC} up to U_{OC} is the measured limiting voltage.

6.5.3.2 Voltage protection level U_p

U_p is declared by the manufacturer. By definition, it is equal to or greater than, the highest value of the measured limiting voltage. Selection of this value by the manufacturer should allow for manufacturing tolerances. In practice, it is not rare that the protection provided by an SPD is better than the U_p declared. In a few cases, the manufacturer publishes in its data sheet either a curve U or U_{res} vs. I or a table of U or U_{res} for a few values of I. If the current flowing through the SPD in the installation location is lower than the current used for determining U_p, it is possible to use this voltage value (U or U_{res}) to achieve a better protection.

The preferred voltage protection levels are:(0,08; 0,09; 0,10; 0,12; 0,15; 0,22; 0,33; 0,4; 0.5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; and 10) kV depending on the overvoltage category and the nominal voltage of the protected equipment..

Annex B provides an example of the relationship between U_c and U_p for voltage-limiting SPD based on a metal oxide varistors (MOV).

6.5.4 Information related to the SPD's status at its end of life

The end of life behaviour of the SPD is dependent on the magnitude, number of the surge current and voltage and their waveshape, short-circuit capacity of the power system and value of the voltage applied to the SPD at the end of life. This document considers that there are two basic end of life behaviours of an SPD:

– short-circuit (or low impedance)

– open-circuit (or high impedance).

NOTE 1 In the context of this clause, this does not address the concept of SPD classification of IEC 61643-11:2011, Subclause 5.12 (SPD failure behaviour) which is linked to particular technologies of SPDs. However, SPDs classified as per 5.12.2 (short circuiting type SPDs) will (by definition) end up in short circuit when reaching their end of life.

Occasionally, SPDs may enter an indeterminate state for some periods of time. This state involves energy absorption and eventually leads to an open-circuit (itself or in conjunction with a disconnector or an upstream overcurrent protection device) or a short-circuit condition. For the purpose of this document, it is assumed that this state is temporary and, as such, is not addressed.

NOTE 2 Intermediate state – the parameters have lower (worse) levels than those specified by the manufacturer, but the SPD is not at the end of life.

Changes in the characteristics of the SPD are not necessarily considered an end of life. This topic is addressed in 6.5.7.

6.5.5 I_{SCCR}: Short-circuit current rating and I_{fi}: Follow current interrupt rating

The SPD, alone or in conjunction with its disconnector and/or overcurrent protection, is required to withstand the short-circuit current rating I_{SCCR} declared by the manufacturer. This value is defined and tested in IEC 61643-11 in conjunction with the disconnector and/or overcurrent protection declared by the manufacturer. The SPD should pass the test without burning, charring or expelling molten material or by creating an opening in the enclosure. It is necessary to ensure that the SPD will not be used at a location where the prospective short-circuit current of the power supply I_p is greater than its short-circuit withstand. It is also necessary to ensure that an adequate disconnector and/or overcurrent protection device, as recommended by the manufacturer, is present and in working order. The I_{SCCR} value is a rated value of the SPD when used in conjunction with its specified disconnector and/or its overcurrent protection device. This value, as well as the rating and characteristics of the external disconnector, if required, is provided in the manufacturer documentation, with the product to be delivered.

For an SPD which is not a voltage-limiting type, the follow current is the peak current supplied by the electrical power system and flows through the SPD after a discharge current impulse is applied. The follow current interrupting rating I_{fi} is the prospective short-circuit current that an SPD is able to interrupt without the operation of a disconnector. The follow current interrupting rating (I_{fi}) should be considered in the selection of an SPD which is not of the voltage-limiting type. This information is given in the manufacturer documentation, with the product to be delivered. According to installation rules, external disconnectors or overcurrent protective devices used for the protection of SPDs shall comply with a relevant IEC standard for overcurrent protective devices, or a local national standard as applicable.

6.5.6 I_L: Rated load current and ΔU: Voltage drop (for two-port SPDs or one-port SPDs with separate input and output terminals)

For a two-port SPD or a one-port SPD connected in line with the supply, it is necessary to ensure that the equipment load current does not exceed its rated load current I_L.

NOTE It is also necessary to consider the type of load. For example, some loads may have in-rush currents which can be as high as three times the RMS value. These peak currents can produce additional heating within series elements of two-port SPDs.

It is also necessary to check that the installation of a two-port SPD does not result in an unacceptable voltage drop for the equipment located downstream. This is characterized by the optional parameter voltage drop ΔU.

6.5.7 Information related to change of characteristics of SPDs

Certain SPDs may enter an intermediate state when subjected to a higher stress than defined in the standard tests. In that event, some of their characteristics may change from the designed values, for example: U_p, I_n, I_c, etc. In particular, this may occur for SPDs having active parts in parallel where one of these active parts may be disconnected after a surge. In these instances, the user may not be aware of these changes in characteristics. Any such intermediate state should be avoided in the design of an SPD, unless there is a clear indication of the state when it occurs.

7 Application of SPDs in low-voltage power systems

7.1 General

When a risk analysis is performed (see Clause 4) to define the need for an SPD and when the possible stresses in the system are known (identified in Clause 5), the characteristics of the SPD (listed in Clause 6) to protect equipment can be specified using the procedures shown in Figure 7.

SPDs in a power-distribution system may be selected using the principles listed in Subclause 7.1 and their characteristics selected in accordance with the procedures described in Subclause 7.2.

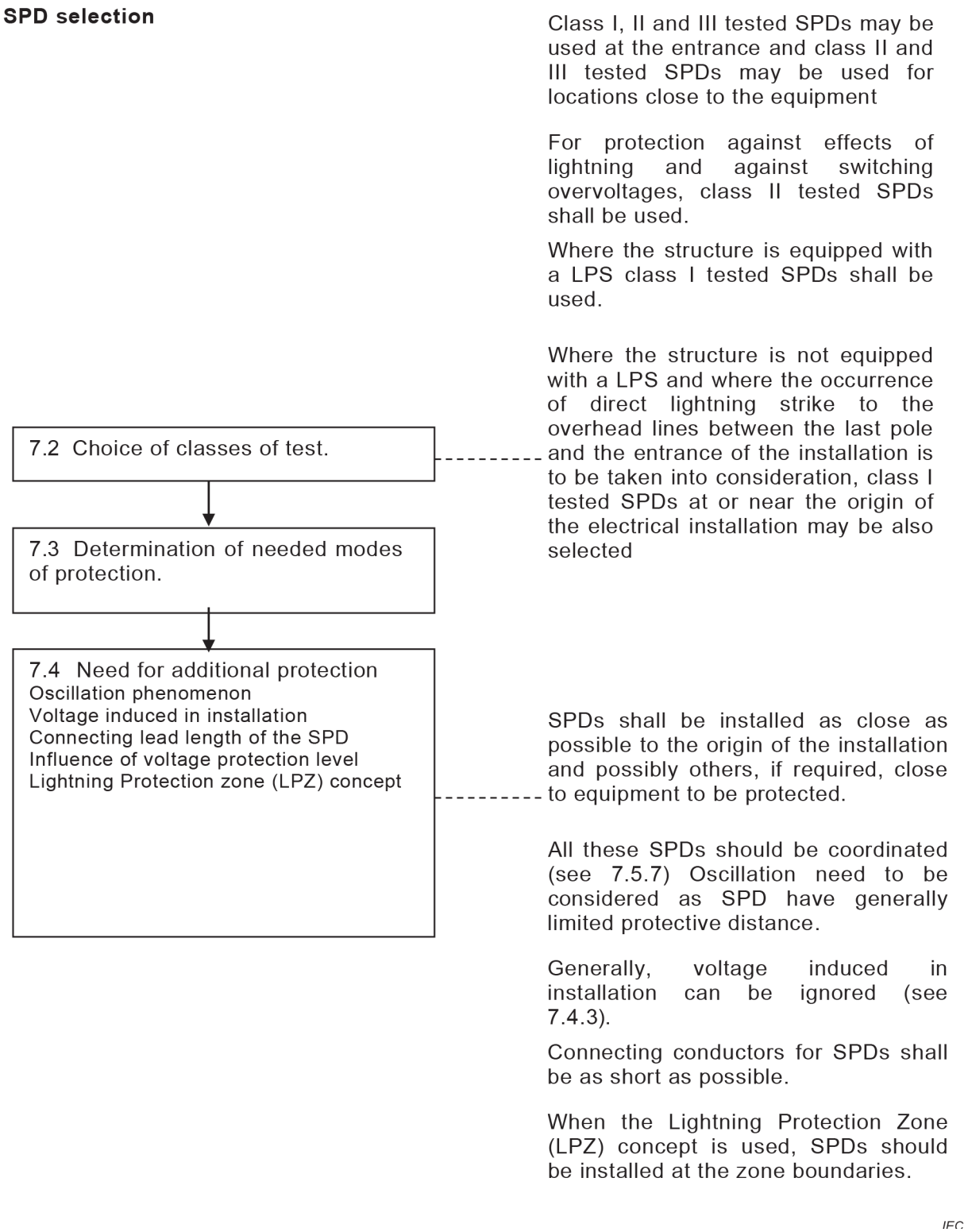


Figure 7 – Flowchart for SPD application

Examples of application of SPDs are provided in Annex G.

Examples of practical installation of SPDs are provided in Annex L.

7.2 Consideration regarding location of the SPD depending on the classes of test

At the point of entry, depending on the incoming stress, SPDs tested according to class I or class II may be used depending on the result of the risk analysis (see Clause 4). The installation of SPDs as close as possible to the origin of the installation reduces surge currents flowing through downstream installation device (e.g. meters, terminals, protective devices, switches, etc.). Consideration of the electrical stress involved in the surge is a key factor in choosing the right SPD. In case of switching overvoltages produced within the installation or overvoltages on other incoming services such as telephone lines, internet connections or overvoltages on other services feeding other structures, SPDs should be located as close as possible to the origin of such threats. When an LPS is present, additional information can be found in the IEC 62305 series of documents. SPDs tested to class II and class III tests are also suited for locations close to the protected equipment.

7.3 SPD modes of protection and installation

When the equipment to be protected has a sufficient overvoltage withstand or is located close to the main distribution board, one SPD may be sufficient and should be installed as close as possible to the entrance of the installation. The SPDs should have sufficient surge withstand capability for this location. Figure L.1 to Figure L.5 show typical connections of SPDs located at the entrance of the installation for different types of systems. Figure L.5 presents the particular case of a TN C-S system.

SPDs at or near the entrance of the installation shall be connected at least between the following points:

a) if there is a direct connection between the neutral conductor and PE at or near the origin of the installation or, if there is no neutral conductor, between each line conductor and either the main earthing terminal or the main protective conductor, whichever route is shorter; or

NOTE 1 The impedance connecting the neutral to PE in IT systems is not considered as a connection.

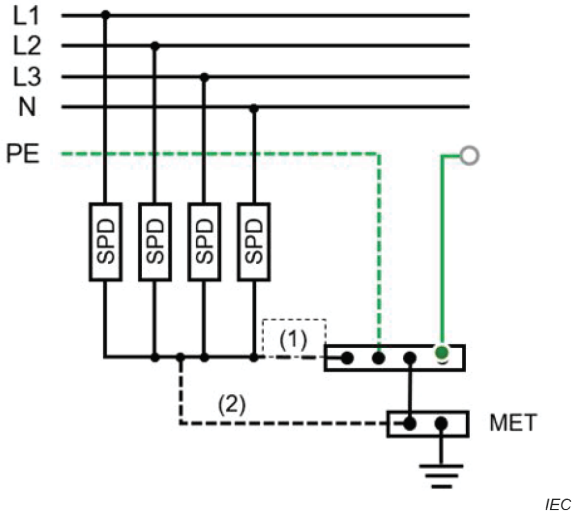
b) if there is no direct connection between the neutral conductor and PE at or near the entrance of the installation either:

between each line conductor and either the main earthing terminal or the main protective conductor, and between the neutral conductor and either the main earthing terminal or the protective conductor, whichever route is shorter – Connection Type 1 (CT 1), see Figure 8

or

between each line conductor and the neutral conductor and between the neutral conductor and either the main earthing terminal or the protective conductor, whichever route is shorter – Connection Type 2 (CT 2), see Figure 9.

NOTE 2 If a line conductor is earthed, it is considered to be equivalent to a neutral conductor for the application of this subclause.

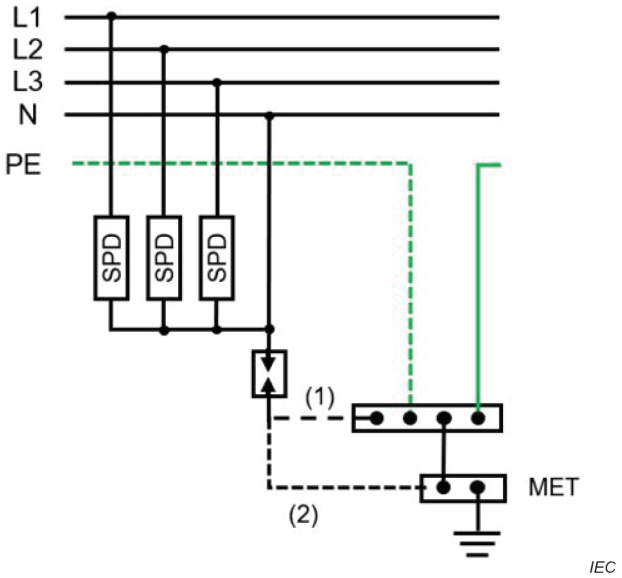


Key

MET: main equipotential terminal

NOTE Earthing connection of surge protective devices, either (1) and/or (2) should be the shortest route; National regulations may make the use of 1, 2 or both mandatory

Figure 8 – Example of connection Type 1 (CT1)



Key

MET: main equipotential terminal

NOTE Earthing connection of surge protective devices, either (1) and/or (2) should be the shortest route; National regulations may make the use of 1, 2 or both mandatory.

Figure 9 – Example of connection Type 2 (CT2)

Table 3 indicates the modes of protection that may be required for various LV systems.

NOTE 3 If more than one SPD is connected on the same conductor, coordination between them can be considered (see 7.5.7).

NOTE 4 The number of modes of protection depends on the type of equipment to be protected (for example, if the equipment is not connected to earth, line- or neutral-to-earth protection may not be necessary), the withstand of the equipment according to each mode of protection, the electrical system structure and earthing and the characteristics of the incoming surge. For example, protection between phase/neutral and PE conductor or between phase and neutral are in most cases sufficient, and protection between phase and phase is not in most cases used.

NOTE 5 Installation of SPDs in front of the electricity supplier's meter is carried out with the agreement of the electricity supplier.

Table 3 – modes of protection for various LV systems

SPDs connected between:	System configuration at the installation point of SPD							
	TT		TN-C	TN-S		IT with distributed neutral		IT without distributed neutral
	Installation according to			Installation according to		Installation according to		
	CT 1 [c]	CT 2		CT 1	CT 2	CT 1	CT 2	
Each line conductor and neutral conductor	+	•	NA	+	•	+	•	NA
Each line conductor and PE conductor	•	NA	NA	•	NA	•	NA	•
Neutral conductor and PE conductor	•	• [b, d]	NA	• [a]	• [a, b]	•	• [b]	NA
Each line conductor and PEN conductor	NA	NA	•	NA	NA	NA	NA	NA
Line conductors	+	+	+	+	+	+	+	+

• required

NA : not applicable

\+ : optional, in addition to required SPDs

CT: connection type

[a] In TN-S or TN-C-S systems, the SPD between neutral and PE may be omitted if the distance between the separation point of PE to N and the location of the installed SPDs is less than 0,5 m or if the separation point and the SPDs are located in the same distribution board.

[b] When CT2 is used the withstand voltage of equipment U_W should be compared to the protective level obtained as the result of two SPDs in series (L-N and N-PE). This may give a different result than the simple addition of the U_p of both SPDs.

[c] Only downstream of an RCD.

[d] To be used upstream the main RCD, SPD shall withstand the TOV, see 6.5.1.2.

For further information, see Annex J.

7.4 Need for additional protection

7.4.1 General

When SPDs are needed, a first SPD should be installed near the entrance of the installation. The purpose of this SPD is to mitigate the effects and reduce the impact of surges that originate from outside the facility. In some conditions one SPD is sufficient, for example, if the stresses at the entrance to the structure are low or if the equipment has a high surge withstand and/or the SPD has a low U_p.

Additional protection in distribution boards or close to the equipment (for example, in the socket outlet) to be protected may be necessary, for example where:

- The distance between SPD and the equipment to be protected is too long;

- There are electromagnetic fields inside the structure created by lightning discharges;
- The installation lead length of the SPD located at the entrance is excessive and therefore, has reduced the effectiveness of the protection provided at that location;
- sensitive equipment (electronic, computer) is present: surge withstand lower than U_p of the SPD.

Additional SPDs may also be necessary to provide transient overvoltage protection regarding threats coming from other sources such as:

- switching overvoltages produced by equipment located within the installation;
- overvoltages on other incoming services such as telephone lines, internet connections;
- overvoltages on other services feeding other structures such as secondary buildings, external installations/lighting, power lines feeding external sensors.

Additional protection may also be needed when a PV installation is present. In that case, IEC 61643-32 provides more information.

7.4.2 Influence of the oscillation phenomena on the protective distance

NOTE protective distance is also called separation distance in some countries.

When an SPD is used to protect specific equipment inside the installation, SPDs should be installed as close as possible to the equipment to be protected. If the distance between the SPD and the equipment to be protected is too great, oscillations could lead to a voltage at the equipment terminals greater than U_p that could be up to two times higher than U_p and, under some circumstances, can even exceed that level. This can cause a failure of the equipment being protected, despite the presence of the SPD (see Figure J.8 to Figure J.10). The acceptable distance (called protective distance) depends on SPD type, type of system, steepness ($\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$) and waveform of the incoming surge and the connected loads. In particular, this doubling is possible if the equipment has a high impedance, is acting as a capacitor or if the equipment is internally disconnected. Figure J.10 shows an example of a doubling of voltage in such conditions to illustrate the phenomenon.

In general, oscillations may be disregarded for distances less than 10 m. Sometimes the equipment has internal protective components (for example varistors), that will significantly reduce oscillations even at longer distances. In this last case, care is necessary to avoid coordination problems between the SPD and the protective component inside the equipment (see 7.5.7).

7.4.3 Voltage induced in the installation

Protective distance may be further reduced due to the voltage directly induced by the lightning current in the circuit loop existing between the SPD and equipment to be protected, especially when there is an LPS on the structure and when the structure is not shielded.

This can be ignored under the following conditions:

- Internal cable is shielded or routed inside a metallic duct (the shield or the metallic duct should be earthed at both ends).
- PE conductor is routed in the same cable of live conductors; if LPS is installed, the length of the induced loop should be limited to 10 m;
- PE conductor is routed in the same duct of live conductors, length of the induced loop is limited to 10 m and source of damage S1 is disregarded;
- SPD is installed at the equipment input.

In most cases, reinforced concrete structures provide sufficient attenuation to avoid considering induced voltages. The induced voltage is mainly due to the size of the loop and in regular installation, the active conductors and the PE runs together in wall or pipes and thus

the loop surface is negligible. When it is not negligible the induced voltage is to be taken into account when selecting the SPD protection level (Refer to IEC 62305-4).

For further information, see Annex J.

7.4.4 Influence of the connecting lead length

In order to achieve optimum overvoltage protection, connecting conductors of SPDs shall be as short as possible. Long lead lengths will degrade the effectiveness of the protection provided by the SPD. Therefore, it may be necessary to select an SPD with a lower voltage protection level, in order to provide efficient protection. The residual voltage transferred to equipment will be in the worst case the sum of the residual of the SPD and the inductive voltage drop along the connecting leads. This voltage is called U_p/f. The two voltages may not peak exactly at the same instant, but for most practical purposes, may simply be added. Figure 10 shows the effect of the inductance of connecting leads on the voltage measured between connection points of the SPD during the impulse discharge current.

The voltage drop ΔU can be estimated with the following equation:

$$\Delta U = 0{,}1 \times I_{SPD} \times \Delta l \quad \text{(kV)}$$

where:

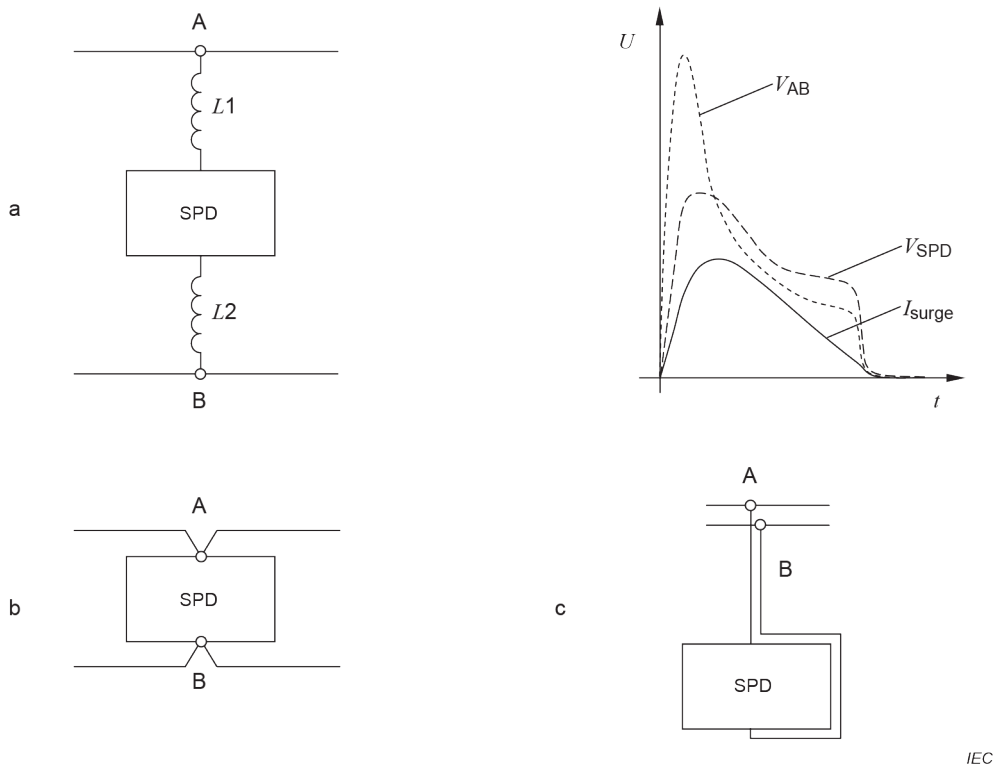
I_{SPD} is the current flowing through the SPD (kA);

Δl is the length of connecting leads (m) (in general ≤ 0,5 m).

This voltage drop can be ignored when only the current induced by flashes near the structure is flowing through the SPD. As far as possible, it is better to use scheme b) shown in Figure 10 (sometimes called V connection) where the effect of this inductance is considerably reduced. Scheme c) using twisted wires can be used when it is not possible to use scheme b). This provides in most cases a reduction by 2 of the equivalent lead length. As far as possible scheme a) should be avoided. Because increasing the length of the connecting conductors of SPDs reduces the effectiveness of overvoltage protection, optimum overvoltage protection is achieved in scheme a) when all connecting conductors of SPDs are as short as possible (preferably not exceeding 0,5 m for the total lead length) and without any loops. The lead length of 0,5 m is in accordance with a 20 % margin on the withstand voltage U_W. If the lead length is greater than 0,5 m then $U_{p/f}$ should be used instead of U_p and then the 20 % margin is no longer needed.

When the SPD is enclosed inside the metallic cabinet to be protected, a good way to reduce the lead length is to connect the SPD directly to the metal cabinet frame (plate) with short leads. This is only applicable if the metallic cabinet is compliant with IEC 60439. It is also recommended that the connection point where the SPD grounding conductor is bonded to the metallic cabinet is also bonded to the grounding bus of the cabinet/power distribution system with the same size conductor (there are then 2 conductors connected to the grounding terminal of the SPD: one connected to the metal frame and the other one to the grounding bus, the last one being use in case the SPD is damaged to let the short circuit current flow safely while the metal plate is mainly used to divert the high frequency part of the surge).

NOTE If the return current path is magnetically coupled to the incoming current conductors by placing the conductors in close proximity, the inductance will be reduced (see Figure 10c)).



Key

a) $L1$, $L2$ inductances corresponding to lead lengths l_1, l_2

I_{surge} Waveshape of surge current versus time

V_{SPD} Voltage at the SPD terminals during the surge

V_{AB} Voltage between points A and B during the surge = $U_{p/f}$ = V_{SPD} + ΔU for voltage-limiting SPD or max (V_{SPD}, ΔU) for voltage-switching SPD. A different formula may apply to combination SPD. This scheme is to be avoided when possible, especially when either $L1$ or $L2$ is large

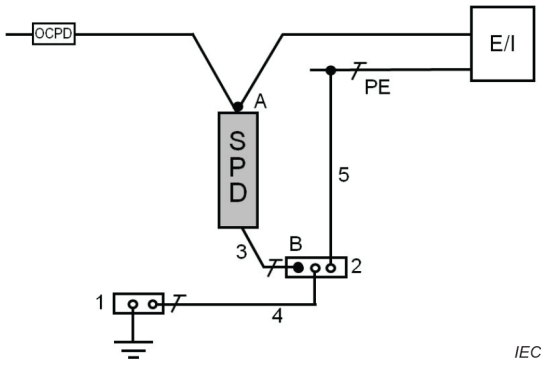
b) This scheme is to be preferred

c) This scheme is acceptable where scheme b is not possible

Figure 10 – Influence of SPD connecting lead lengths

If the total wiring length exceeds 0,5 m, at least one of the following options shall be chosen:

- select an SPD with a lower voltage protection level U_p (a 1 m length of straight cable carrying a discharge current of 10 kA (8/20) adds a voltage drop of about 1 000 V);
- install a second coordinated SPD close to the equipment to be protected so as to coordinate the voltage protection level U_p to the rated impulse voltage of the equipment to be protected;
- use the installation scheme described in Figure 11;
- In the case of SPDs installed in big panel boards made of metallic enclosures, SPDs may be connected to the main earthing terminal or to the protective conductor via metallic parts e.g. the metallic enclosures of the assembly (see 543.4.2 of IEC 60364-5-54), provided it is connected to PE and meets the requirements for a protective conductor in accordance with IEC 60364-5-54. This point of connection of the SPDs to the metallic enclosure represents the intermediate earthing terminal defined Figure 11 in which case the length 4 (from the main earthing terminal to the intermediate earthing terminal) shall not be taken into account for the calculation of the total length, see Figure 11(b).



(a)

Key

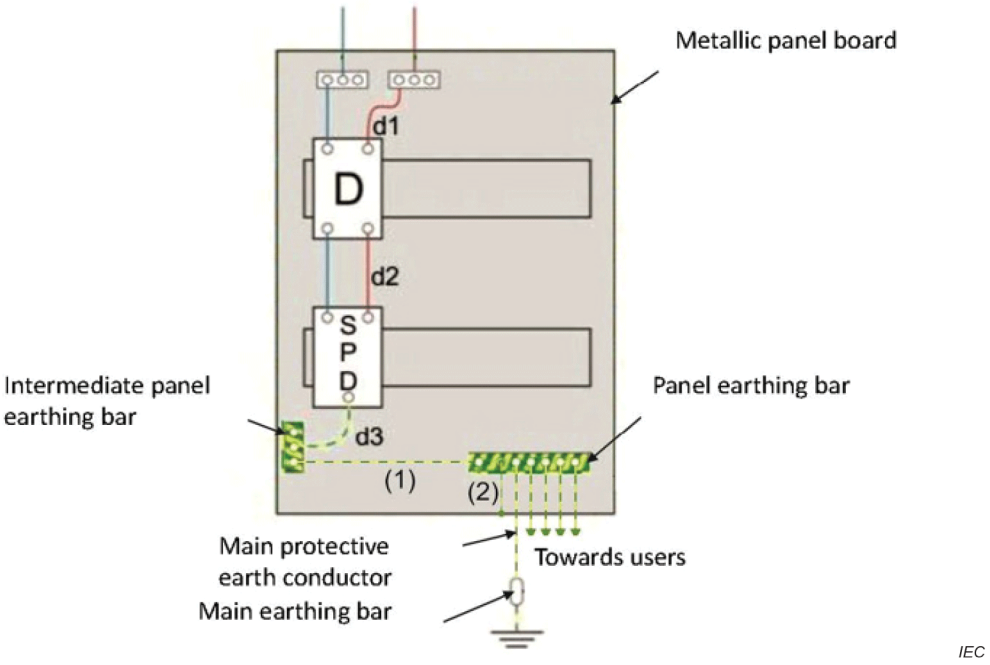
1 Main grounding bar

2 Intermediate grounding bar

3 SPD grounding lead

4 Additional conductor to connect the intermediate grounding bar to the main grounding bar

5 Additional conductor to distribute PE from the intermediate grounding bar



(b)

Key

D disconnector

(1) recommended additional equipotential conductor

(2) main equipotential conductor

NOTE The intermediate panel earthing bar is connected to the metal structure of the panel board with a connector made on purpose by design or by installation.

Figure 11 – Possible installation scheme with intermediate earth bar when lead length exceed 50 cm

For further information, see Annex J.

7.4.5 Influence of voltage protection level

To select the SPD surge protection level, it is necessary to consider the voltage withstand U_W (see IEC 60664-1) of the most sensitive equipment to be protected in the system or the impulse immunity level of the equipment where the continuous operation of the equipment is critical.

In the example below (see Figure 12) the equipment is not critical and U_W is only considered.

The SPD located closest to this equipment shall be selected with a voltage protective level (U_{p2}) at least 20 % below the voltage withstand U_W of this equipment when the lead length does not exceed 50 cm. If the lead length exceeds 50 cm, $U_{p/f2}$ should be used instead of U_{p2}. $U_{p/f2}$ should then be lower than U_W. The voltage at the protected equipment is equal to k times U_p with k between 1 and 2 depending on the line length and the type of equipment to be protected. k can be obtained from measurement or simulations.

Potentially damaging switching surges can be generated inside buildings (see Subclause 5.2.3 and Annex C). In such cases, additional SPDs may be needed.

When two SPDs are used on the same circuit, they shall be coordinated (see 7.5.7).

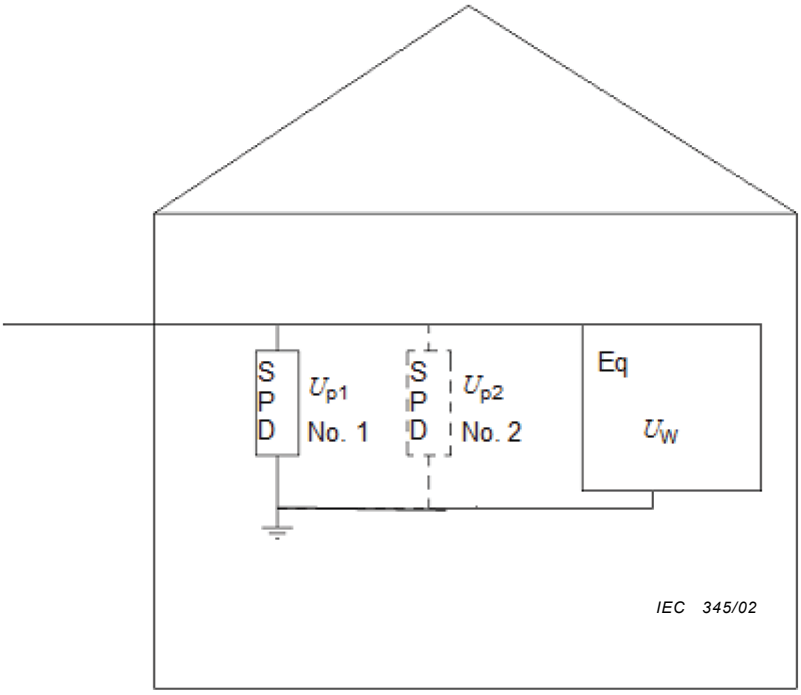
When the induced voltage U_i is negligible, additional SPD may not be required in the following cases:

- The lead length connecting the SPD does not exceed 50 cm, the distance between SPD and equipment is shorter than 10 m and U_p is below 0,8 × U_W.
- The lead length connecting the SPD does not exceed 50 cm, the distance between SPD and equipment is greater than 10 m but 2 × U_p remains below 0,8 × U_W.
- The lead length connecting the SPD exceeds 50 cm, the distance between SPD and equipment is shorter than 10 m and $U_{p/f}$ is below U_W.
- The lead length connecting the SPD exceeds 50 cm, the distance between SPD and equipment is more than 10 m but 2 × $U_{p/f}$ remains below U_W.

NOTE 1 The immunity of the equipment obtained from IEC 61000-4-5 may be different from the withstand voltage defined in IEC 60664-1 (U_W). The reason for this is that the test of IEC 61000-4-5 uses a combination wave generator, and a part of the surge current may flow through the equipment (especially if it has a low impedance). In this case, proper coordination is required (see 7.5.7). Additional information on comparison between immunity and insulation withstand is given in Annex K. It is noted that despite IEC 60664-1 describing how to obtain U_W, it can be difficult in practice to obtain U_W value for every type of equipment.

NOTE 2 In the US, voltage protective level is tested with a lead conductor of 6 inches. This is not related to installation, when the 50 cm rule discusses in that clause relates to installation.

See Subclause J.1.2 and Figure J.9 for further information.



Key

If $U_{p1} \times k < 0{,}8 \times U_W$, only SPD No. 1 (installed at the entrance to the installation) is needed unless the voltage generated in the loop between SPD and equipment is high and a lightning strike occurs nearby (e.g. case of a LPS on the structure).

If $U_{p1} \times k > 0{,}8 \times U_W$, SPD No. 2 (with $U_{p2} < 0{,}8\ U_W$) should be installed in addition to SPD No. 1 and coordinated with it.

Eq is the equipment to be protected having a withstand voltage U_W as defined by IEC 60664-1.

k is a coefficient ($1 < k < 2$, see 7.1.3) taking account of possible oscillations.

Figure 12 – Example of the need for additional SPDs when connected leads are less than 50 cm long

7.4.6 Lightning Protection Zone (LPZ) concept

For the purpose of designing and applying appropriate surge protection, it may be useful to consider a hierarchy of zones of protection as described in IEC 62305-4. A Lightning Protection Zone (LPZ) is defined at least by an SPD at the entrance of the zone to reduce the conducted surges and potentially additional shielding measures as to reduce the electromagnetic stress inside the zone (induced surges directly inside the zone).

This planning concept assumes that the induced surges caused by switching in the power systems and direct/indirect lightning strokes, are reduced in steps (the distance between the steps should be in accordance with 7.5.3) from the unprotected environment to the protected sensitive equipment.

An example of the subdivision of the building power distribution system into protection zones and the allocation of SPDs is shown in Figure J.11.

The power and signaling networks entering the structure should be close to each other and be bonded together at a common bonding bar. This is especially important for structures made by non-shielding material (wood, bricks, concrete, etc.). The purpose is to avoid creating overvoltages in the loop made of the conductors of the two networks.

7.5 Selection of SPD characteristics

7.5.1 General

SPDs are selected according to the following scheme in six steps given in 7.5.2 through 7.5.7 shown in Figure 13.

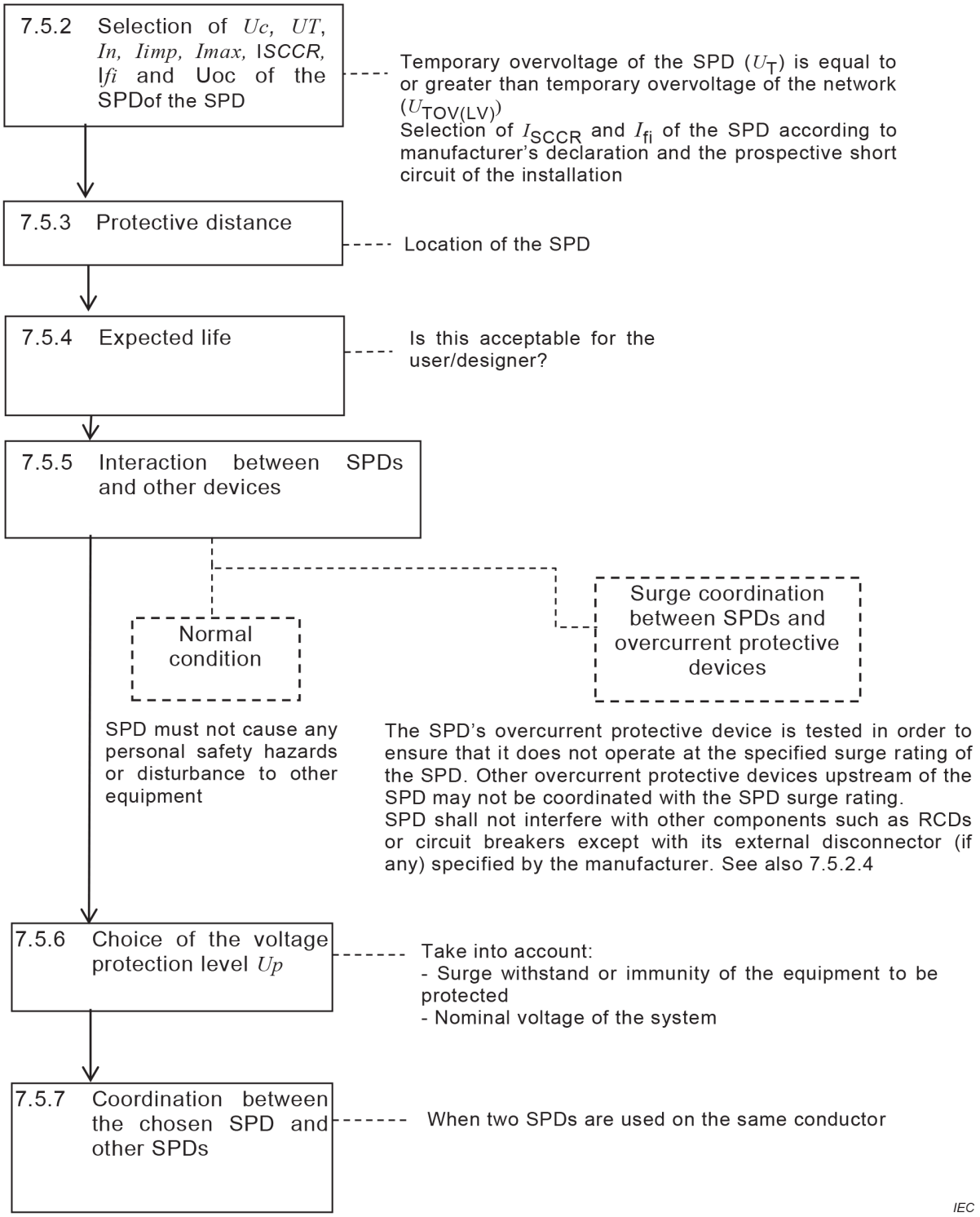


Figure 13 – Flow chart for the selection of an SPD

7.5.2 Selection of U_c, U_T, I_n, I_{imp}, I_{max}, I_{SCCR}, I_{fi} and U_{oc} of the SPD

7.5.2.1 U_c maximum continuous operating voltage of the SPD

The U_c value of the SPD shall fulfill the following criteria.

U_c shall be equal to or higher than the maximum continuous operating voltage of the power system U_{cs} (= $k \times U_0$) (see Annex J and, for suggested values, Annex B).

$$U_c \geq U_{cs}$$

NOTE 1 In addition to the IT system, U_c is high enough (1,1 $U_0 \times \sqrt{3}$) to cover first fault conditions. This is covered by the values given in Table 4.

In practice, this leads to the requirements shown in Table 4 (see IEC 60364-5-53):

Table 4 – Minimum recommended U_c of the SPD for various power systems

SPD connected between (as applicable)	System configuration of distribution network		
	TN system	TT system	IT system
Line conductor and neutral conductor	1,1 $U/\sqrt{3}$ or (0,64 × U)	1,1 $U/\sqrt{3}$ or (0,64 × U)	1,1 $U/\sqrt{3}$ or (0,64 × U)
Line conductor and PE conductor	1,1 $U/\sqrt{3}$ or (0,64 × U)	1,1 $U/\sqrt{3}$ or (0,64 × U)	1,1 U
Line conductor and PEN conductor	1,1 $U/\sqrt{3}$ or (0,64 × U)	N/A	N/A
Neutral conductor and PE conductor	1,1 $U/\sqrt{3}$ [a]	1,1 $U/\sqrt{3}$ [a]	1,1 $U/\sqrt{3}$ or (0,64 × U)
Lines conductors	1,1 U	1,1 U	1,1 U
NOTE 1 not applicable NOTE 2 U is the line-to-line voltage of the low-voltage system			
[a] These values are related to worst-case fault conditions, therefore the tolerance of 10 % is not taken into account			

7.5.2.2 U_T Temporary overvoltage rating of the SPD

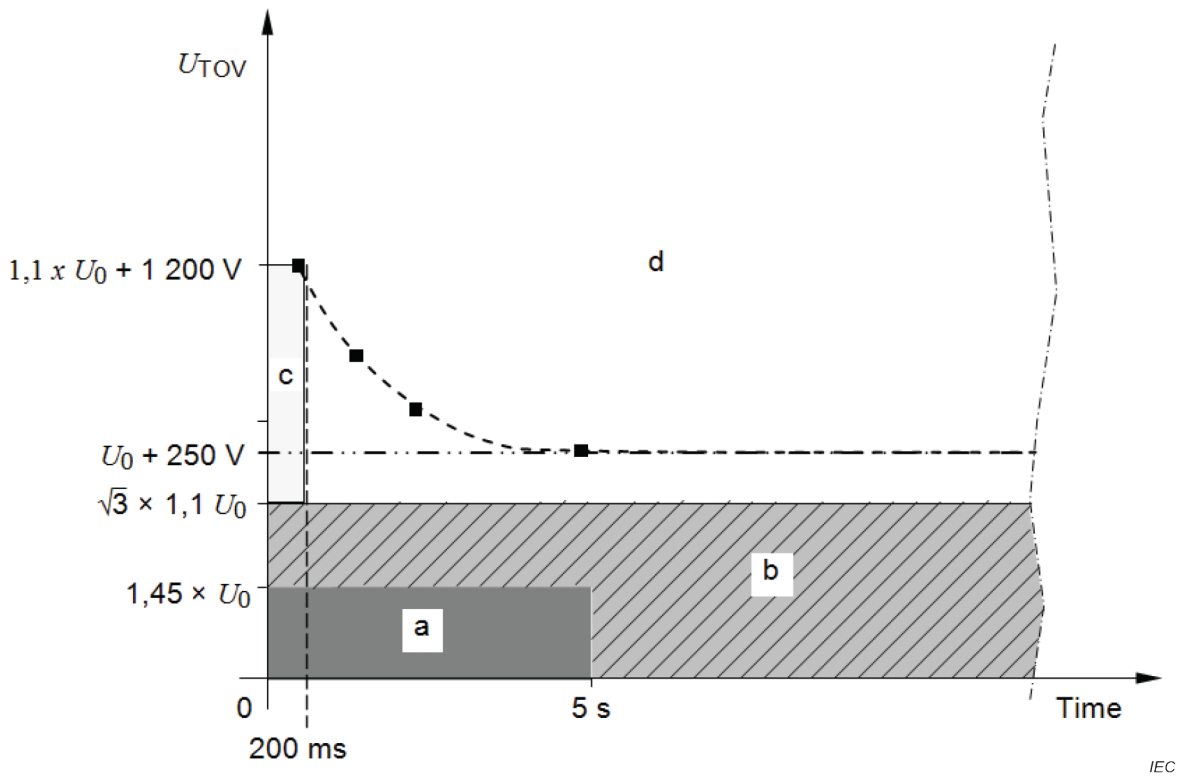
U_T values shall be equal to or higher than the temporary overvoltage (TOV) that is expected to occur in the installation due to faults in the low-voltage system, as illustrated in Figure 14.

$$U_T \geq U_{TOV(LV)}$$

NOTE A $U_{TOV(LV)}$ with a duration greater than 5 s is considered as a maximum continuous operating voltage (U_c). In an IT system, for example, the U_c value of an SPD connected between phase and earth is at least equal to the maximum phase-to-phase system voltage (1,1 $U_0 \times \sqrt{3}$) due to earth faults which can occur for a very long duration (several hours).

Typical TOV test values are given in Annex E.

In some cases where the TOVs have too high a magnitude, it may be difficult to find an SPD which is able to provide equipment with acceptable surge protection. If the probability of occurrence is low enough an SPD which cannot withstand the TOV stress can be used. In this case, suitable disconnecting devices shall be used.



Key

a Area of $U_{TOV(LV)}$ between phase and neutral for TT, TN and IT systems for a fault in the LV installation (short circuit)

b Area of $U_{TOV(LV)}$ between phase and earth for IT (TT) system for a fault in the LV installation (accidental earthing) and area of $U_{TOV(LV)}$ between phase and neutral for TT and TN systems for a fault in the LV installation (loss of neutral)

c Maximum value for $U_{TOV(HV)}$ at the consumer location between phase and earth for TT and IT systems in the case of a fault occurring in the HV system

d Undefined area

NOTE 1 $U_{TOV(LV)}$ required for an SPD used on a 3W+G (three wires + ground), single phase, 120/240 V systems and $U_{TOV(LV)}$ required for an SPD used on a 4W+G (four wires + ground), three phases, 120/208 V, 277/480 V, 347/600 V systems are other values used in North America.

Values of U_T of the SPD

NOTE 2 As shown on the drawing it is possible to choose an SPD with the following characteristics:

$$U_T = U_c \geq U_{TOV(LV)\ max}$$

This is especially the case for IT systems.

Figure 14 – U_T and U_{TOV}

When selecting an SPD with the desired protective level, consideration shall be given to the required behaviour (withstand characteristic or end of life) of the expected TOVs.

If the probability of occurrence is low enough, an SPD which cannot withstand the TOV stress, but which fails in an acceptable manner according to IEC 61643-11 can be used in order to reach the desired protective level.

If the end of life behaviour is not acceptable, additional measures must be taken to limit the TOVs before the application of SPDs with acceptable protective level.

7.5.2.3 I_n, I_{imp}, U_{oc} and I_{max}

I_n, I_{imp}, U_{oc} and I_{max} (if declared) are necessary for selection of the appropriate energy withstand.

The choice of the SPD energy withstand (either I_{imp}, I_n or U_{OC}, depending on the class of test) shall be based on a frequency of damage analysis (see Clause 4) which compares the probability of occurrence of surges and the acceptable failure rate, completed with a coordination analysis when more than one SPD is involved.

NOTE 1 I_{imp} is linked to test class I, I_n is linked to test class II, U_{OC} is linked to test class III and I_{max} is an optional 8/20 current impulse.

NOTE 2 Higher values than the preferred values of 6.5.2.2 and 6.5.2.3 can be used if necessary.

If protection against surges of atmospheric origin requires SPDs, the nominal discharge current I_n at the entrance of the installation shall not be less than 5 kA 8/20 for each required mode of protection.

For installation according to Connection Type 2 (CT2, see Figure 9) the nominal discharge current I_n at the entrance of the installation for the surge protective device connected between neutral conductor and PE shall not be less than 20 kA 8/20 for three phase systems and 10 kA 8/20 for single phase systems.

NOTE 3 I_n can be lower than above values for short-circuit type SPD if its declared I_{trans} is higher than the I_n for the same connection case (e.g. phase or Neutral to PE) (see A.2.2.9).

If presence of a LPS with the possibility of direct lightning strike requires SPDs, the lightning impulse current I_{imp} shall be evaluated (see Annex I). For such evaluation the component (fuses, cross section of wiring, etc.) installed upstream of the SPD should be taken into consideration as these may limit the maximum surge capability of the whole system and therefore the maximum stress to the SPD. If no such evaluation is possible, the value of I_{imp} shall not be less than 12,5 kA for each required mode of protection.

For an installation wired according to Connection Type 2 (CT2), the lightning impulse current I_{imp} for the surge protective device connected between neutral conductor and PE shall be calculated similar to IEC 62305-4. If the current value cannot be established, the value of I_{imp} shall not be less than 50 kA for three phase systems and 25 kA for single phase systems.

NOTE 4 Additional information is given in IEC 62305-1:2010, Annex E.

When a single SPD is used for protection against surges of atmospheric origin and for protection against direct lightning effect both, the rating of I_n and of I_{imp} shall be in agreement with the above values.

Selection of I_n and I_{max} (if declared) for additional SPDs is made based on coordination rules described in 7.5.2.4.

NOTE 5 I_{max} is used for special cases only as in general I_n is sufficient to characterize an Class II tested SPD. I_{max} that gives an indication of the energy withstand and consequently gives an indication of life expectancy in a specific location.

7.5.2.4 Coordination of the SPD to the prospective short-circuit current of the network at the point of installation

The SPD may be fitted with necessary disconnecting devices in order not to interfere with other protective devices such as RCD, fuse or circuit-breakers.

The short circuit current withstand of the SPDs (in case of SPD failure) together with the specified associated (internal or external) overcurrent protective device shall be equal to or greater than the maximum prospective short-circuit current at the point of installation, taking into consideration the maximum overcurrent protective devices specified by the SPD manufacturer. According to IEC 60364, external disconnectors or overcurrent protective devices used for the protection of SPDs shall comply with a relevant IEC standard, e.g. IEC 60898 series, IEC 60947-2 or IEC 60269 series, or a local national standard as applicable.

a) Short-circuit current rating I_{SCCR}

The SPD shall be selected and installed in accordance with its short-circuit current rating (I_{SCCR}). The I_{SCCR} value is a rated value tested with the product and declared in the manufacturer's documentation provided with that product.

The short-circuit current rating (I_{SCCR}) of the SPD together with its disconnectors and/or overcurrent protective device, as declared by the manufacturer, shall be equal to, or higher, than the prospective short-circuit current of the network at the point of installation. The SPD shall be installed with the disconnector declared by the manufacturer in the documentation provided with the SPD. The disconnector may be integrated in the SPD or may be a separate device (e.g. circuit-breaker or fuse), as determined by SPD manufacturer.

In IT-systems the short-circuit current rating (I_{SCCR}) of SPDs connected between the neutral conductor and the PE shall be the same as for SPDs connected between phase and neutral (according to Subclause 431.2.2 of IEC 60364-4-43:2008,)

b) Follow current interrupting rating (I_{fi})

If a follow current interrupting rating (I_{fi}) is declared by the manufacturer, it shall be equal to or higher than the expected prospective short-circuit current at the point of installation. For SPDs connected between the neutral conductor and the PE in TT- or TN-systems, the follow current interrupting rating shall be greater or equal to, 100 A. In IT systems, the follow current interrupting rating for SPDs connected between the neutral conductor and the PE shall be the same as for SPDs connected between phase and neutral.

NOTE 1 Follow current (see IEC 61643-11:2011, 3.1.12) is the peak current supplied by the electrical power system and flowing through the SPD after a discharge current impulse. In practice, devices that allow follow current are voltage-switching devices (e.g. spark gap).

NOTE 2 100 A is the maximum current that is expected to flow between N and PE in fault conditions on a TT or TN system. This is the value used in IEC 61643-11 for testing.

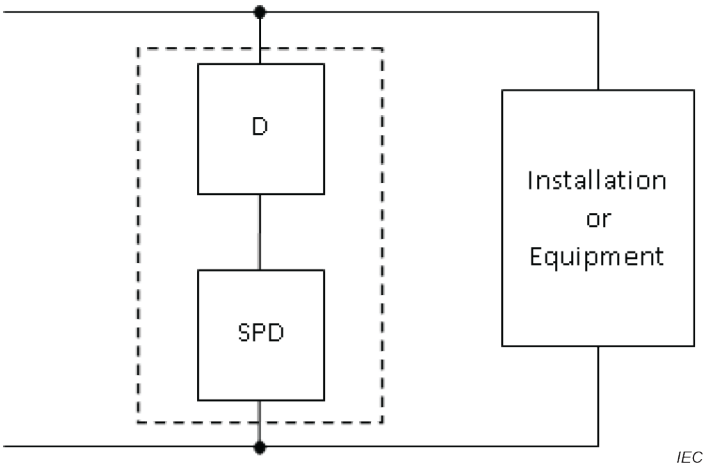
c) Coordination of the SPD with its disconnector (D)

The location of the disconnector and/or overcurrent protective devices used to protect the SPDs, has an influence on the continuity of supply of the installation and the effective voltage protection level within the installation. Two arrangements of the SPD and the disconnector and/or overcurrent protective device may be used.

Case 1:

The external disconnector D (or overcurrent protective device – OCPD) may be installed in the SPD circuit, as shown in Figure 15. In this case, if SPD failure occurs, the disconnector would trip, thus protecting the SPD, and maintaining the continuity of supply (see Note 3), but the installation would not be protected against further overvoltages. In such an arrangement, the effective Voltage Protection level ($U_{p/f}$) within the installation is increased due to the voltage drop of the disconnector connected in series with the SPD. The value of $U_{p/f}$ is therefore increased (see 7.5.6 for more details about U_p and $U_{p/f}$). If the disconnector is integrated within the SPD enclosure as a stand-alone device, the effective voltage protection level ($U_{p/f}$) remains unchanged.

NOTE 3 In addition, the wiring configuration between the SPD and RCD can also impact the continuity of supply.



Key

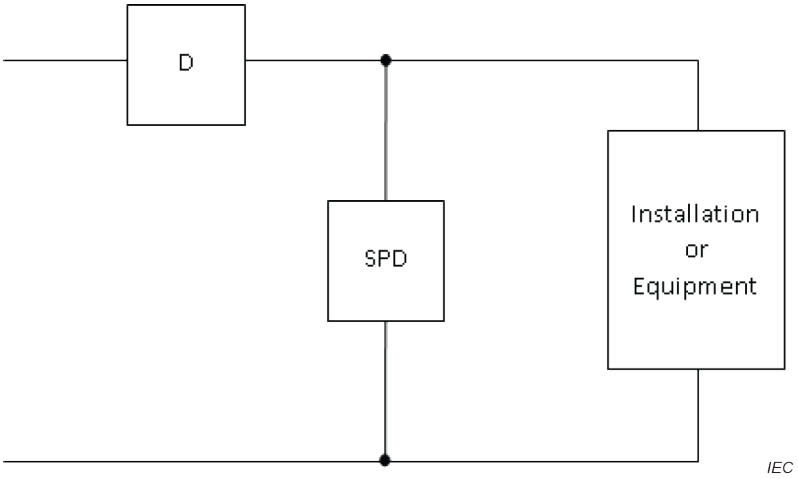
D: External disconnector (or Overcurrent Protective Device – OCPD) declared by the SPD manufacturer for coordination with the SPD

SPD Assembly consisting of the SPD and its disconnector

Figure 15 – SPD and external disconnector arrangement for continuity of supply

Case 2:

The disconnector (or overcurrent protective device (OCPD)) may be installed in series with the main circuit, as shown in Figure 16. In this case, if SPD failure occurs, the disconnector would trip, thus protecting the SPD, but the continuity of supply is not maintained. In such an arrangement, the effective voltage protection level ($U_{p/f}$) within the installation is not increased.



Key

D: External disconnector (or Overcurrent Protective Device – OCPD) declared by the SPD manufacturer for coordination with the SPD

NOTE 4 When the upstream, non-dedicated disconnector for the SPD operates, determine the exact cause of the operation. If the SPD has reached its end of life condition, remove it from the system and replace before re-energizing the system. Re-energizing the circuit with the failed SPD connected could cause a hazardous situation.

Figure 16 – SPD and external disconnector arrangement for continuity of protection.

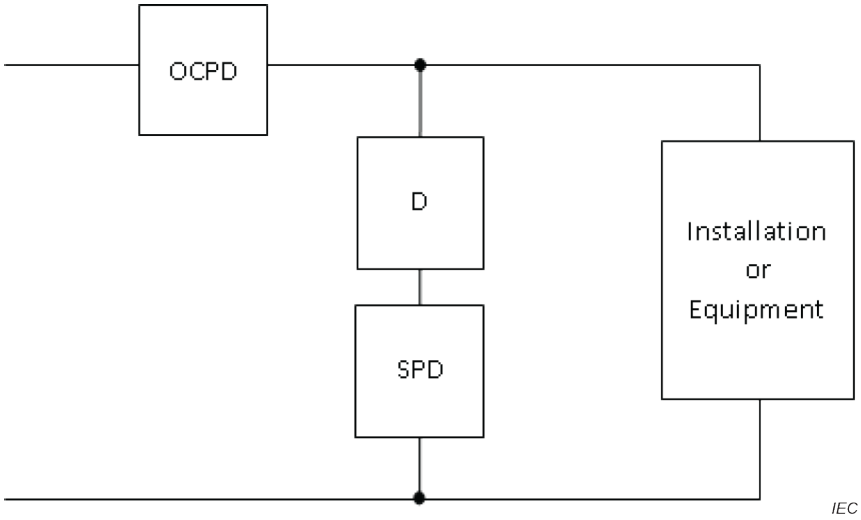
Where continuity of service is necessary, this arrangement is not used, because in the event of SPD end of life, the supply will be restored only when SPD is replaced.

In case a disconnector is also used to provide overcurrent protection for the power line, it shall comply with the requirements of IEC 60364-4-43 for protection against overcurrent and either with IEC 60947-2, IEC 60898-1 or the IEC 60269 series.

d) Selectivity of the SPD disconnector with the overcurrent protective device of the installation in case of short-circuit

When required, the selectivity between the SPD disconnector (D) with the overcurrent protective device of the installation shall be carefully studied in case of short-circuit.

As shown in Figure 17, in the event of a short-circuit, continuity of supply will be ensured depending on the short-circuit current at the point of installation, the selection of the OCPD and disconnector D. For continuity of supply, the OCPD should be selected to not trip until disconnector D has cleared the fault. Where continuity of service is required, OCPD and disconnector D should be selected according to selectivity table provided by the OCPD manufacturer.



Key:

D: External disconnector (or Overcurrent Protective Device – OCPD) declared by the SPD manufacturer for coordination with the SPD

OCPD: Overcurrent Protective Device in the electrical installation

Figure 17 – Selectivity between OCPD and disconnector in case of short-circuit

e) Coordination of the SPD external disconnector and the overcurrent protective device of the installation in case of surges

When required, coordination between OCPD and disconnector in case of surges should be considered. In the event of a surge, the SPD product standard (IEC 61643-11) ensures that disconnector D withstands surges up to I_n for SPDs tested according to class II and up to I_{imp} for SPDs tested according to class I. However, the OCPD should also be selected in order to withstand these surges. Annex N of this document provides information for the selection of OCPDs, with regard to surge withstand, in order to determine an OCPD that would not trip in the event of surge.

NOTE In some countries, an SPD tested according to class of test n (n = I, II or III) is named SPD Type n (n= 1,2 or 3 respectively).

The attention of the reader is drawn to the fact that to avoid an uncontrolled situation when a surge occurs, the OCPD needs to be correctly selected according to the above paragraph. An appropriate additional measure is then to install the SPD upstream of main OCPD of the installation (if allowed by local national installation rules or other local regulations). In this situation, disconnector D is necessary to protect the SPD. When no isolating means is present on the line side upstream to the point of installation of the SPD, the disconnector D shall also have isolation capabilities (see IEC 60664-1) or be associated to an additional upstream isolating switching device

7.5.3 Protective distance

To determine the location of the SPD and where the SPD provides sufficient protection (at the entrance, close to the equipment, etc.), it is necessary to know the protective distance, i.e. the acceptable distance between the SPD and the equipment to be protected.

This protective distance is dependent on the SPD characteristics (U_p, etc.), its installation in the structure (lead length, etc.), the system characteristics (type and length of conductors, etc.) and the characteristics of the equipment (overvoltage withstand, immunity etc.). For more explanations, see 7.3 and 7.4 where the phenomena involved are discussed.

NOTE The planner of the protection zones will be aware of the protective distance of SPDs to the equipment to be protected.

7.5.4 Expected lifetime

The expected lifetime of an SPD depends mainly on the probability of occurrence of surges exceeding the maximum discharge capability of the SPD. In practice, the SPD may last longer or shorter depending on the actual frequency of occurrence.

For example, if an SPD, with a given impulse current I_{imp} value, previously determined by an appropriate risk analysis, is exposed to an exceptional surge current exceeding this I_{imp} value, the SPD is likely to fail. This extreme case shows that any expected lifetime is only a statistical value which can never be a guarantee of the actual lifetime.

It is only possible to consider expected (prospective) lifetimes. When an exceptional surge current occurs, any SPD having an I_{imp} rating lower than this surge current will be destroyed even if this event takes place a few seconds after installation. In such a case it is irrelevant if I_{imp} is ten times lower or only two times lower than this exceptional surge current. However, for a given application, the expected lifetime of an SPD with a specified high I_{imp} is always longer than that of a similar SPD with a lower $I_{imp,}$ as long as the limits of the SPD withstand are not exceeded.

It is necessary to choose an SPD which takes into account expected surges and necessary coordination with any other SPDs and that does not cause a hazard, such as fire or electrical shock, when it fails.

Coordination between the SPD and any upstream back-up protection is also necessary if one wants to avoid power-supply disturbance or interruption.

7.5.5 Interaction between SPDs and other devices

7.5.5.1 General

See the IEC 60364 series for information on this topic.

7.5.5.2 Normal conditions

The residual current (I_{PE}) shall not cause any personnel safety hazards (indirect contact, etc.) or disturbance to other equipment (for example, RCD).

NOTE 1 The residual current I_{PE} should be less than one-third of the rated residual current (< $I_{\Delta n}$/3) in the case of RCDs. Cumulative effects of various SPDs and other devices is preferably taken into account.

NOTE 2 If the SPD is located on the load side of an RCD, fuse or circuit breaker, it is not able to provide any protection for these devices against nuisance tripping, unintended operation or damage due to surges.

7.5.5.3 Surge coordination between SPDs and RCDs or overcurrent protective devices such as fuses or circuit-breakers

A defined withstand capability of overcurrent protective devices and residual current devices (RCDs) used in networks is not specified except for time delayed type S RCDs, which, according to their own standards (IEC 61008-1 and IEC 61009-1), shall be able to withstand 3 kA 8/20 without tripping.

When co-ordinating SPDs with an overcurrent protective device or RCD, it is recommended that, at the nominal discharge current I_n, and/or impulse current I_{imp}, this overcurrent protective device or RCD shall not operate.

However, at currents higher than I_n and/or I_{imp}, it is normally acceptable for the overcurrent protective device to operate. In the case of a resettable overcurrent protective device, such as a circuit-breaker, it should not be damaged by the surge.

In this case, due to the response time of such overcurrent protective devices, the complete surge will flow through the SPD even when the overcurrent protective device operates. Thus, the SPD shall have a sufficient energy withstand. Operation of the RCD or of the overcurrent protective device due to this phenomenon should not be considered a failure of the SPD since the installation is still protected. Special configurations or overcurrent protective devices should be used if a power supply interruption is not acceptable to the user.

NOTE 1 SPDs are tested with their disconnectors according to IEC 61643-11 and other documents; However, it is noted that other overcurrent protective devices upstream of the SPD will often exist which can make coordination of the surge current rating of the SPD with these disconnectors more complicated, see Annex N.

NOTE 2 In situations with high current exposure, such as LPS or overhead lines, operation of the overcurrent protective device is acceptable below I_n, and/or I_{imp} if I_n and/or I_{imp} is above the actual withstand of the overcurrent protective device used in the installation. In this case, the choice of the nominal discharge current of the SPD is based only on surge capability.

NOTE 3 If sparkover of a voltage-switching SPD occurs, the quality of the electrical supply service can be reduced. In general, a power follow current causes the operation of an overcurrent protective device unless the voltage-switching SPD is self-extinguishing. Coordination with the overcurrent protective devices upstream of the SPD is then needed.

NOTE 4 For protection against indirect contact, IEC 60364-5-53 applies.

7.5.6 Choice of the voltage protection level U_p

The surge withstand of the equipment (or impulse immunity of critical equipment) to be protected and the nominal voltage of the system shall be considered in choosing the preferred voltage protection level value of the SPD. The lower the value the better the protection. This is limited by consideration of U_c and U_T, degradation of the SPD and coordination with other SPDs. See also 7.5.2 and 7.5.3.

The voltage protection level for voltage-limiting SPDs is related to a specified value I_{imp} for class I tests and I_n for class II tests. The selection of the voltage protection level for class III tests is defined by the combination wave generator test (U_{oc}).

For voltage-switching SPDs or combination SPDs the voltage protection level is also related to the sparkover voltage.

7.5.7 Coordination between the chosen SPD and other SPDs

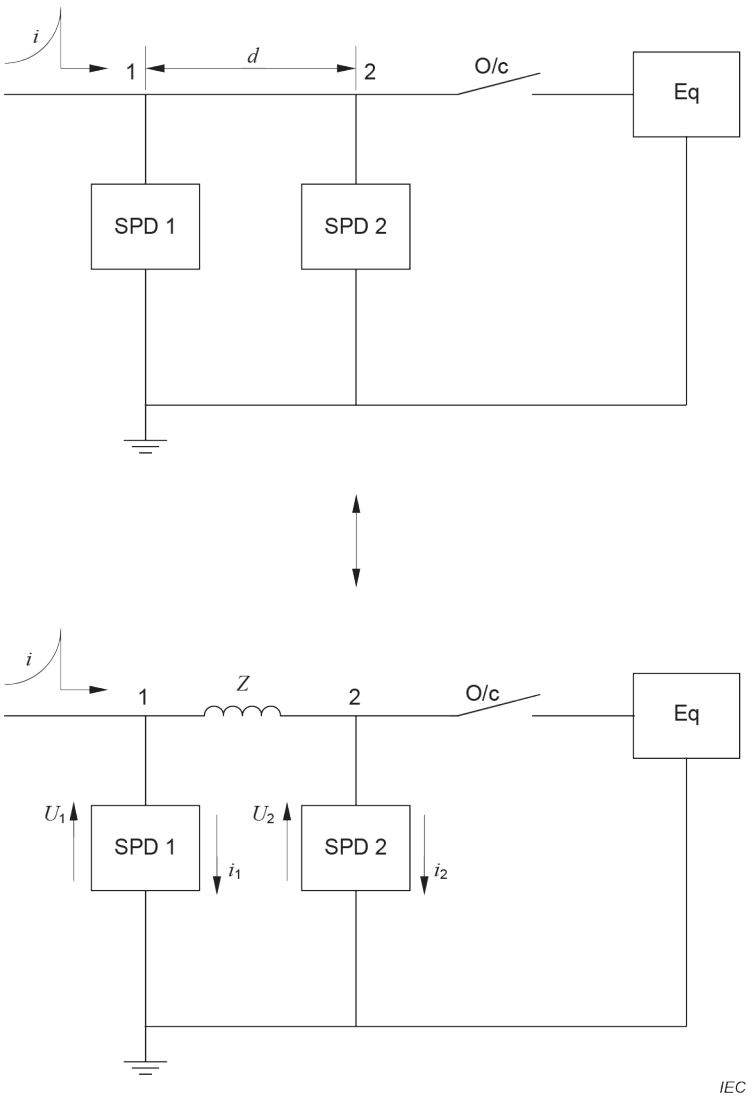
7.5.7.1 General

As already discussed, some applications may require the use of two (or more) SPDs in order to reduce the electrical stress to an acceptable value (lower voltage protection level) on the equipment to be protected and to reduce the transient current inside the structure.

When coordinating many SPDs two aspects need to be addressed (see Annex F):

– Energy coordination: obtain an acceptable sharing of the stress between the two SPDs according to their energy withstand to ensure both SPDs are not destroyed by an excess of energy.
– Protection level coordination: to ensure that the voltage protection level of the downstream voltage-limiting SPDs is not exceeded the residual voltage of a downstream SPD can be reduced below its U_p by ensuring that a lower current flows through that downstream voltage-limiting SPD.

An example is shown in Figure 18.



Key

Eq Equipment to be protected in normal operation

O/c Open circuit (equipment disconnected from supply)

i Incoming surge

Figure 18 – Typical use of two SPDs – Electrical drawing

The impedance Z between the two SPDs (in general an inductance) may be a physical one (a specific component inserted in the line to facilitate the sharing of the energy between the two SPDs) or represent the inductance of a length of cable between the two SPDs (in general 1 μH/m). When Z represents a physical impedance, the inductance of the line may be ignored due to its low value compared to Z. Z is then represented in a schematic way as in Figure 18 for both cases.

NOTE 1 Figure 18 shows the most severe case where the equipment is not connected. No part of the current is flowing through this equipment and the total stress is taken by the two SPDs. Additional consideration is given if the surge originates between the SPD terminals and the load.

NOTE 2 For this example the connecting leads are disregarded. In practice, there are cases to have an influence on the sharing of the stress between the two SPDs.

NOTE 3 Where the forward and the return conductors are closely coupled, the loop is smaller and the specific inductance is lower than 1 μH/m. It may then be as low as 0,5 μH/m.

NOTE 4 The value of 1 μH/m already combines the inductance of the forward and return conductors.

7.5.7.2 Coordination problems

The coordination problem may be summarized in a first approach by the following question: in the case of an incoming surge i, which part of this current i will flow through SPD1 (i_1) and which part through SPD2 (i_2). In addition, are the two SPDs able to withstand these stresses?

If the distance between the two SPDs is short in relation to the duration of the surge, the inductance effect will be negligible and SPD2 might be overstressed.

Good coordination is achieved by selecting appropriate SPDs to reduce the value of i_2 to an acceptable level, taking into account the impedance between the two SPDs. This action will, of course, also reduce the residual voltage of the second SPD to the desired value.

Such a coordination is required to avoid an overdesign of SPD2 and some EMC disturbances which could cause trouble in the building if i_2 was too high.

However, dealing with the coordination only in terms of currents is not sufficient. It is necessary to deal with coordination in terms of energy.

To be sure that two SPDs are well coordinated it is necessary to fulfill the following requirement, called the energy criterion:

Energy coordination is achieved, if for all values of surge current between 0 and I_{n1}, I_{imp1} and I_{max1} (if declared) the portion of energy, dissipated through SPD2 is lower or equal to its maximum energy withstand (E_{max2}).

The residual voltage at SPD2 should also be checked.

See further information in Annex F and Annex J.

7.5.7.3 Coordination procedures

The coordination study may be complex. If all the SPDs have been provided by the same manufacturer, the easiest way for proper coordination is to ask the manufacturer for any requirements, in terms of distance or impedance between the selected SPDs.

Otherwise, it is necessary to conduct a coordination study. Three possibilities are offered for energy and voltage protection coordination:

- Perform some testing by impressing a surge current from zero up to a current corresponding to E_{max1} both with long and short waveforms, keeping in mind that the tolerance on components may have a significant influence on the result (see Annex J).
- Perform a simulation taking care of the particularities of the actual scheme of the installation keeping in mind that it is necessary to have accurate data on the SPDs characteristics.
- Perform an analytical study by comparing the curve U versus I of the two SPDs when they are of the voltage-limiting type.

When only energy coordination is concerned, another method called let-through energy (LTE) can be used.

Annex F and Annex J provide additional explanation about the phenomena, the analytical studies and the LTE method.

7.6 Characteristics of auxiliary devices

7.6.1 Disconnecting devices

There are three basic disconnector functions:

- thermal protection
- short-circuit protection
- protection against indirect contact

NOTE For two-port SPDS and one port SPDs with separate input and output terminals, there are cases that another function is needed: overcurrent protection.

These functions shall be fulfilled by a single disconnector or it may be necessary to use up to three disconnectors.

These disconnectors may be fitted inside the SPD itself or associated with it. Some of the disconnector functions may be performed by the back-up protection of the system and then may be located at a certain distance from the SPD.

Whether the dedicated disconnectors are put in the SPD branch or in line with the mains, depend on coordination with overcurrent protective devices and on the balance of the need for continuity of power supply compared to continuity of protection (see Annex J clause J.2).

Some other disconnector functions may be needed, for example, in the case of very high temporary overvoltage.

The thermal disconnector is in most cases included when it is needed, in the SPD.

The overcurrent disconnector is either included in the SPD or upstream of the SPD. An overcurrent disconnector may be a fuse or a circuit-breaker or a device dedicated to this application. Sometimes it may be a RCBO (RCD with overcurrent protection, see IEC 61009-1).

The indirect contact disconnector is, in most cases, provided by the installation (for example, by installing the SPD downstream of an RCD). If the installation doesn't provide enough protection, additional measures should be provided by the SPD manufacturer.

7.6.2 Surge and event counters

Surge counters usually give information on the number of surges detected and sometimes their magnitudes and waveshapes. Surge counters may be used to determine the lightning density of the location or to decide on a replacement policy. Some sophisticated ones give statistical data such as frequency of occurrence, time and date, energy involved, etc. Surge counters should comply with IEC 62561-6.

Event counters that are part of the SPD assembly usually only give information on the number of transient overvoltages detected. In such a case, compliance with IEC 62561-6 is not required.

NOTE Users are aware that if the threshold level is too low there is a risk that the information given by such a device can be misleading.

7.6.3 Status indicator

When a disconnector is provided (either built-in or external to the SPD), a status indicator is mandatory. This device is linked to the operation of the disconnector to provide the user with the information to show that the SPD is either operational or no longer functioning according to design. It can be used to give a warning to replace the SPD. Some status indicators are local and some of them are remote. They may provide electrical, visual or audible alarms.

Intermediate stages of the status indicator or other similar functions may also be provided e.g. for preventive maintenance, before it has reached its end of life.

Annex A
(informative)

Typical information required before selecting an SPD and explanation of testing procedures

A.1 Typical Information required before selecting an SPD

A.1.1 System data

- U_0,
- maximum voltage regulation of the power system
- frequency
- temporary overvoltage U_{TOV}
- rated impulse voltage level of equipment (or impulse immunity of critical equipment) to be protected

NOTE The user is aware that the insulation withstand strength can vary with the steepness and duration of overvoltage. For example, it can happen that devices which withstand 4 kV 1,2/50 only withstand 1 kV with a longer wave.

- short-circuit current of the system at the SPD location
- type of distribution system (IT, TT, TN, etc.)

A.1.2 SPD application considerations

a) Connection

phase to earth

neutral to earth

phase to neutral

phase to phase

b) Type of equipment being protected

transformers

electrical machines

devices including electronics

other equipment

cables (type and length), etc.

c) Maximum length of conductor between SPD and equipment to be protected (protective distance)

NOTE This distance is as short as possible.

d) Maximum length (lead length) of conductors from the SPD terminals considering both connection between SPD and all conductors (phase, neutral, earth)

A.1.3 Characteristics of SPD

- Maximum continuous operating voltage U_c (one value for each mode of protection)
- Type of LV systems (TN-system, TT-system, IT-system) including nominal AC system voltages and maximum allowed voltage regulation for which the SPD is designed.
- Intended connection (line to neutral, line to ground, neutral to ground, line to line)
- Test classification and discharge parameters shall be printed next to each other for each mode of protection declared by the manufacturer:
  - For test class I:

    either "test class I" and "I_{Imp}" and the value in kA, and/or "T1" (T1 in a square) and "I_{Imp}" and the value in kA
  - For test class II:

    either "test class II" and "I_n" and the value in kA, and/or "T2"(T2 in a square) and "I_n" and the value in kA
  - For test class III:

    either "test class III" and "U_{oc}" and the value in kV, and/or "T3" (T3 in a square) and "U_{oc}" and the value in kV.
- I_{max}, (optional).
- Total discharge current I_{Total} for multimode SPDs (if declared by the manufacturer) and the corresponding test class
- Voltage protection level U_P (one value for each mode of protection)

NOTE An SPD may be classified according to more than one test class (e.g. test class I (T1) and test class II (T2)). In this case, the manufacturer declares only one protection level, and the highest protection level shall appear in the marking.

- Rated load current I_L for two-port SPDs and for one port SPDs with separate input and output terminals.
- Load-side surge withstand capability for two-port SPDs (optional)
- Number of ports
- Short-circuit current rating I_{SCCR}
- Transition surge current rating for Short-circuiting SPD I_{trans}
- Temporary overvoltage rating U_T and/or the type(s) of power system(s) the SPD is designed for
- Voltage drop for two-port SPDs
- End of life behaviour (if declared)
- Residual current I_{PE}
- Follow current interrupt rating I_{fi} (except in the case of voltage-limiting SPDs)

A.1.4 Additional equipment and fittings

- Installation instructions
- Method of mounting
- Location of SPD installation (outdoor, indoor, etc.)
- Orientation for normal installation, if significant
- The minimum distance from any earthed conductive surface at which the SPD can be installed
- Degree of protection provided by enclosure (IP code)
- Temperature and humidity range
- Ratings and characteristics for external disconnector(s), if required.

- Information about replaceable parts (indicators, fuses, etc. if applicable)
- Cross-section of connection lead

A.2 Explanation of testing procedures used in IEC 61643-11

A.2.1 General Principles

When requiring conformity with IEC 61643-11 representative samples of an SPD must pass all the required test sequences. A test sequence is a succession of tests that a set of three samples must pass. Depending on SPD classification, a maximum of eight test sequences may be necessary to fulfill the entire type tests.

Each test is detailed in the product standard IEC 61643-11. The following subclauses summarize the tests and the pass criteria but cannot replace the use of IEC 61643-11. In case of doubt, IEC 61643-11 prevails.

A.2.2 Test sequences and tests description

A.2.2.1 General

In test sequence description below, the tests to be performed are the same way they are in the product standard and the clause numbers in parenthesis below refer to the specific subclauses in IEC 61643-11:2011.

A.2.2.2 Test sequence 1

A.2.2.2.1 Identification and marking (7.1.1/7.1.2/8.2)

The SPD is provided with requested characteristics or information that can be either on the product itself or on the installation documentation. When the information is on the product itself, a test to check the durability of the marking is performed.

A.2.2.2.2 Mounting (7.3.1)

The mounting means of the SPD and mechanical coding/interlocking of SPD parts avoiding possible interchange are checked by visual inspection.

A.2.2.2.3 Screws, current carrying parts and connections (7.3.2/7.3.3/8.4.2)

The reliability of screws, current carrying parts and connections is checked by visual inspection and a series of tests.

The connection screws are screwed on conductors with specific torques and unscrewed several times and shall not work loose and shall not show any damage on the product (including enclosures, covers and connection).

A pull test consisting in applying pulling force to the connected wire is performed on each connection. Specific settings are requested (pulling force) depending on connection characteristic (e.g. max and min admissible wire cross section) and on connection type (e.g. screw, screw-less, insulation piercing, flat quick connect or pigtail-flying leads). At the end of this test, the conductor(s) shall not move in the product.

A.2.2.2.4 Testing for protection against direct contact (7.2.1/8.3.1)

It is checked that the SPD does not provide accessibility to live parts. The SPDs shall be designed in such a way that live parts cannot be touched by a test finger (in accordance with IEC 60529) in every possible position when the SPD is installed.

A.2.2.2.5 Environment, IP code (7.4.1 / 8.5.1)

The SPD enclosure for protection against ingress of solid objects and water is tested in accordance with the declared IP code as described in IEC 60529.

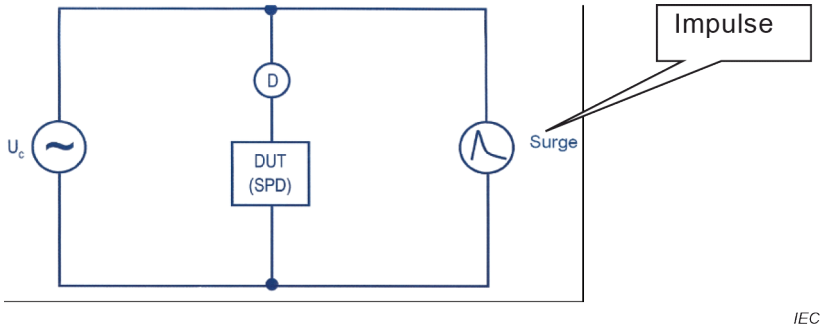
A.2.2.2.6 Residual current (7.2.2 / 8.3.2)

The measured residual current to PE when the SPD is powered to its nominal voltage including possible acceptable variations is compared to the declared residual current I_{PE}.

A.2.2.2.7 Operating duty test (7.2.4/8.3.4)

This test is covered in two parts: "Operating duty test for test classes I, II or III (8.3.4.2 / 8.3.4.3/ 8.3.4.5)" and "additional duty test for test class I (8.3.4.4)".

The test setup is shown in Figure A.1.



Key:

U_C:	power frequency source according IEC 61643-11
D:	SPD disconnectors, as specified by the manufacturer
DUT:	Device under Test (SPD)
Impulse:	8/20 current for Class I and II operating duty test
	Impulse discharge current I_{imp} for additional duty test
	Combination wave generator for Class III operating duty test

Figure A.1 – Test set-up for operating duty test

Service conditions are simulated by the application of:

– 15 impulses to the class I (I_{imp}), II (I_n) and III (U_{oc}) test SPDs and
– 5 additional impulses at I_{imp} times: 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 and 1 for the class I test SPDs

The 15 test impulses for Class I and class II test SPDs are generated by a 8/20 wave shape generator set to be able to deliver in the test sample a crest current equivalent to the declared value of I_{imp} or declared value of I_n. The 15 test impulses for the class III test SPD are generated by a combination-wave surge generator (internal impedance of 2 Ohms) set to an open circuit voltage equal to the declared U_{oc}.

The 15 impulses are applied by 3 sets of 5 impulses every 50 to 60 sec with 30 to 35 min between sets, see Figure A.2.

For the 15 impulses of class I and II test, each impulse is positive and is synchronized to the power frequency starting from a synchronization angle of 0° increased in steps of 30°.

For the 15 impulses of class III test, the first and last groups of impulses are positive, and the second group is negative. Each impulse is synchronized to the power frequency at the positive peak value for the first and last group and negative peak value for the second group.

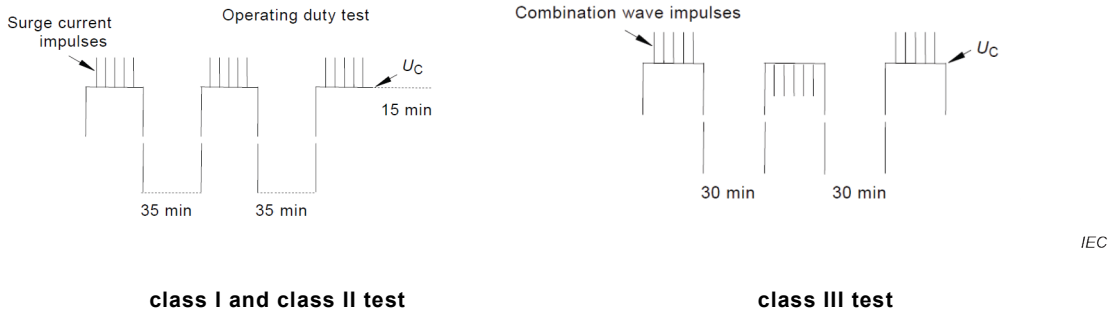


Figure A.2 – Test timing diagram for first 15 impulses

For the additional impulses to be applied to class I test SPDs the impulse current generator is set to generate in the SPD a current of 0,1 I_{imp}, 0,25 I_{imp}, 0,5 I_{imp}, 0,75 I_{imp} and I_{imp} (in order to find a possible blind spot), see Figure A.3. Impulses are applied at the positive peak value. There is a thermal cooling between each impulse.

NOTE A blind spot corresponds to a value of current lower than I_{imp} which can cause failure of the SPD whereas the SPD is functioning correctly at I_{imp}. A typical example is one of a metal oxide varistor (MOV) in parallel with a spark gap. If the gap does not trigger, the total surge is applied to the varistor. This varistor may not be able to withstand the same stress as the gap and may fail.

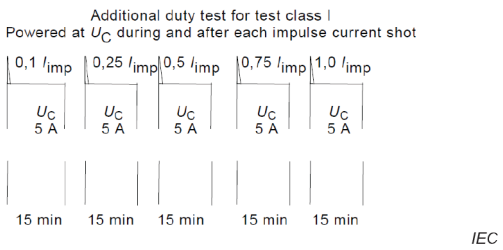


Figure A.3 – Test timing diagram for additional 5 impulses

While the 15 impulses are applied, the SPD has to be energized at U_c. The capability of the AC power source has to be selected depending on the SPD behaviour to produce any follow current or not (for example when voltage-switching components are present). A test to determine the presence of a switching (crowbar) component and to determine the magnitude of the follow current has to be performed for this reason:

– No follow current or follow current less than 500 A: The impedance or the capability of the AC power source shall be such that during the flow of follow current, the crest value of the power frequency voltage does not fall below the crest value of U_c by more than 10 %.
– Follow current is above 500 A: The prospective short-circuit current of the AC source being either equal to the follow current interrupt rating I_{fi} declared by the manufacturer or 500 A, whichever is greater.

The prospective short-circuit current shall be at least 100 A for SPDs connected between N and PE in TN and/or TT system.

While the 5 additional impulses are applied, the SPD is energized at U_c by an AC source capable to deliver at least 5 A.

After this test, two final impulses are applied to check if the residual voltage is still below the declared protection level. The SPD must remain operational with no visible damage.

A.2.2.2.8 Thermal stability (7.2.5.2 / 8.3.5.2)

SPDs are protected against overheating caused by degradation or overstress. This test is performed only on voltage-limiting SPDs and on combination SPDs having voltage-limiting components and voltage-switching components in series. In this case, it is necessary to short the voltage-switching components. The SPD is stressed with an AC voltage high enough to force the current to flow. This current is monitored and set to a starting value of 2 mA. The current is increased after each period of thermal stability by steps of 2 mA. The external temperature of the SPD under test is monitored.

The test is stopped when the current is interrupted by a disconnector (either internal or external).

When the voltage applied to the SPD becomes lower than U_c, a power supply set to U_{ref} with substantial short circuit current capability is applied and thus this may lead to the operation of an external disconnector.

The SPD is checked in order to verify its integrity and its temperature rise, during and after the test, is compared to maximum values (120 K during and 80 K after 5 min).

A.2.2.2.9 Air clearances and creepage distances (7.3.4 / 8.4.3)

The air clearances and the creepage distances are checked and measured on the sample and are compared with tables given in IEC 61643-11. The air clearances given are dependent on the maximal peak voltage that is measured during all surges tests performed on the SPD. The distances vary depending on the parts that are analyzed (e.g. requirements differ for clearances between live parts and fastening surfaces or bodies of the SPD).

The creepage distances vary depending on the nominal voltage and the ability of the surface to insulate the conductive parts (including the pollution aspect).

Air clearances are defined for a given altitude.

A.2.2.2.10 Ball pressure test (7.4.2 / 8.5.3)

The SPD is submitted to a 2,5 mm radius ball pressure set to 20 N for a duration of 1 h and at various temperatures (70 °C and 125 °C depending on function of the enclosure parts). The deformation is measured and must not exceed 2 mm.

A.2.2.2.11 Resistance to abnormal heat and fire (7.4.3 / 8.5.4)

The SPD is stressed with a glow wire having a temperature of 650 °C to 850 °C depending on function of the enclosure parts. The material must not burn or must self-extinguish in less than 30 sec.

A.2.2.2.12 Tracking resistance (7.4.4 / 8.5.5)

Two electrodes are placed on the surface of the insulating material, at a distance of 4mm and powered by 100 to 600 V AC. A solution is dropped on the tested surface and the test is stopped when the current increases or the materiel degrades. Tracking index can then be determined and compared to the manufacturer declaration.

A.2.2.3 Test sequence 2

A.2.2.3.1 Voltage protection level (7.2.3/8.3.3)

This test is covered in three parts: "Residual voltage (8.3.3.1)", "Front of wave spark over voltage (8.3.3.2) and "Limiting voltage with combination wave generator (8.3.3.3)".

For class I and class II tests, the residual voltage is measured at 0,1, 0,2, 0,5, 1,0 times I_n or I_{imp} in both polarities using an 8/20 wave generator. In addition, for SPD presenting a switching component behaviour, additional five positive and five negative polarity impulses with 1,2/50 waveshape are applied to the SPD (1,2/50 voltage impulse generator set to an open circuit voltage of 6 kV with internal impedance of 500 Ohms).

For class III test, the residual voltage is measured when applying impulses generated by a combination wave generator set to 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 times the declared U_{OC}.

The residual voltage used for determining the measured limiting voltage is the highest voltage measured at I_n, I_{imp} or U_{OC}, as applicable depending on the SPD test class.

The residual voltage shall be lower or equal to the declared voltage protection level U_p.

When I_{max} is declared, an additional 8/20 impulse at I_{max} is applied to the SPD and the residual voltage is measured.

The value for determining U_{max} is the highest residual voltage measured with I_n, I_{max} (if declared) or I_{imp}, as applicable depending on the SPD test class.

A.2.2.3.2 Load side surge withstand if declared by the manufacturer (7.6.2.2 / 8.7.3)

Basically, the impulse test for class II or class III test is repeated on the load side of the two-port SPDs. Except for class III, the impulses are always positive and are synchronized in the same way described in A.2.2.2.7 for class II. The SPD has to remain functional without any external or internal change and the residual voltage remains under the declared voltage protection level.

A.2.2.3.3 Load side short-circuit current behaviour For two-port SPDs and one port-SPDs with separate input / output terminals (7.5.1.3 / 8.6.1.3)

The SPD is connected to a source at U_c with first a prospective short circuit current set to I_{SCCR} and then a value of 5 times the maximum rating of the upstream protection declared. The outputs are short circuited. The SPD shall be able to withstand without any damage the currents until it is interrupted either by itself or by an internal or external disconnector.

A.2.2.4 Test sequence 3

A.2.2.4.1 Insulation resistance (7.2.6 / 8.3.6)

After being exposed to humidity for a period of 48 hours, the insulation resistance between all accessible conductive parts is measured. The resistance measurement is checked to be higher than the minimum values requested in the product standard.

A.2.2.4.2 Dielectric withstand (7.2.7 / 8.3.7)

An AC high voltage sources set to a test voltage depending on the operating voltage of the SPD is applied for 1 minute between all accessible conductive parts. During the test, no sparkover is permitted. For outdoor SPDs, this test is in addition performed under wet condition (sprinkling).

A.2.2.4.3 Isolation between separate circuits for SPDs with separate isolated circuits (7.5.3/ 8.3.6, 8.3.7)

The insulation resistance and the dielectric withstand tests are repeated between internal auxiliary circuit and power circuit.

A.2.2.4.4 Mechanical strength (7.3.5 / 8.4.4)

The samples are tested under impact stress provided by a mass attached to an articulated lever thrown from various heights. This test can be compared to a hammer test where the hammer hits the sample with various levels of energy at various parts (front, sides, rear etc.). The sample passes this test if no significant damage can be noticed.

A.2.2.4.5 Temperature withstand (7.2.5 / 8.3.5.1)

The SPD is exposed to a temperature of 80 °C for 24 hours. No external or internal damage shall occur. The disconnector shall not operate. Voltage drop If declared by the manufacturer (7.6.2.1 / 8.7.2)

The voltage drop (loss of voltage comparing input and output voltage of the SPD is measured when the SPD is supplied, and the load is adjusted to a value leading to the maximum load current. This measurement is compared to the declared value.

A.2.2.5 Test sequence 4

A.2.2.5.1 Heat resistance (7.4.2 / 8.5.2)

After being in a cabinet for 1 h at a temperature of 100 °C, the SPD shall not present any major visible degradation or degradation able to create functionality problems even if operation of an internal disconnector is permitted.

A.2.2.5.2 TOV tests (7.2.8 / 8.3.8)

This test is covered in two parts: "TOVs caused by faults or disturbances in the low voltage system: (7.2.8.1 / 8.3.8.1)", "TOVs caused by faults in the high (medium) voltage system (7.2.8.2 / 8.3.8.2)".

The samples are supplied with various voltages for various time durations and with various short circuit current capabilities. These specific stresses are supposed to simulate three possible temporary overvoltage events. The different events produce various stress voltages to various modes of protection depending on the type of LV-system and its earthing configuration:

– TOV caused by a fault to ground in the high voltage side of the HV/LV transformer may result in an increased voltage between N-PE and L-PE. Test is performed with a limited 300 A source for 200 ms.
– TOV caused in the LV side of the power system by a fault to ground in TT-systems or a fault to PEN in TN-systems or by a fault to Neutral in TT and IT-systems. Test is performed with a non-limited source for 5 s.
– TOV caused in the LV side due to loss of neutral in all 2 phases / 3 phases LV-systems, depending on load side. Test is performed with full phase to phase voltage and limited current of 10 A for 120 minutes.

Requested status of the SPD after test can vary as well depending on the type of TOV event and declared behaviour of the SPD in such conditions.

After each TOV stress, the power system returns to normal operation and the status of the SPD is checked to ensure that there is no safety issue (no explosion, cracking or other potentially dangerous event).

The TOV withstand modes are to be declared by the SPD manufacturer, see Table E.3.

A.2.2.6 Test sequence 5

A.2.2.6.1 Short-circuit current behaviour (7.2.5.3 / 8.3.5.3)

For protection modes intended to be connected to power supply with possible prospective short circuit current, the SPD is tested at two different test settings with a separate set of prepared samples for each setting.

The preparation consists of replacing active component(s) in each different current path by a dummy copper bar. The intention of this test is to check the ability of the internal current path to withstand the stress created by a short circuit of the SPD without causing a hazard such as fire, explosion or electric shock.

The prospective short circuit current during the test is set first to I_{SCCR} and then to a value of 5 times the maximum rating of the upstream protection (if undeclared, it is set to 300 A)

These currents are applied twice for I_{SCCR} and once for the lower current. They are initiated at 45 electrical degrees after the zero crossing of the voltage.

The test is stopped when the current is interrupted by any internal or external disconnector or if the time since the lower prospective short circuit current is applied, reaches 5 seconds. 5 seconds is chosen to be representative of maximum fault isolation time.

When I_{fi} is declared and when I_{sccr} is higher than I_{fi}, the test with the setting to I_{sccr} is repeated, but without following the sample preparation. The voltage-switching component of the SPD is triggered with a surge current high enough to initiate a follow current. This test leads to the operation of the external disconnector.

A.2.2.7 Test sequence 6

A.2.2.7.1 Total discharge current test for multi-mode SPDs (7.6.1.1 / 8.7.1)

Multi-mode SPDs can present a total surge withstand that can be different than the surge withstand of each pole.

This test seeks to check the ability of the SPD to withstand a surge current passing simultaneously through all active terminals to the PE terminal (or wires). All active terminals are then bonded together, and the surge generator is connected to this common point and to the PE terminal. The test is made in such a way that the surge current is equally shared in all protection modes to PE.

The surge is applied only once at the declared I_{total} current, and the SPD shall not present any damage. I_{total} can be either 8/20 or 10/350 waveshape to match the declared SPD Class of test I or II.

A.2.2.8 Test sequence 7

A.2.2.8.1 SPDs classified Outdoor (7.5.2 / 8.6.2)

For SPD declared for outdoor use, additional tests have to be performed:

– Accelerated aging test with UV radiation
– Water immersion test
– Dielectric test
– Temperature cycle test
– Verification of resistance to corrosion

These tests are described in Annex F of IEC 61643-11:2011.

A.2.2.9 Test sequence 8 – Short-circuiting SPDs (7.5.4 / 8.6.4)

This test is covered in three parts: "Change of characteristic procedure (preconditioning to short-circuited condition) (8.6.4.1)", "Surge withstand test (in short-circuited condition) (8.6.4.2)" and "Short-circuit current behaviour (in short-circuited condition) (8.6.4.3)".

This test is performed by applying a declared conditioning impulse I_{trans}, intended to turn the samples into a short circuit state but without any external damage. Then the short-circuit current behaviour test described in A.2.2.6.1 is performed on the samples.

Annex B
(informative)

Examples of relationship between U_c and nominal system voltage and example of relationship between U_p and U_c for Metal oxide varistors (MOV)

B.1 Relationship between U_c and the nominal voltage of the system

Relationship between U_c based on values given in IEC 60364-5-53 and nominal system voltage of the system according to IEC 60664-1 is shown in Table B.1.

Table B.1 – Relationship between U_c and nominal system voltage

Nominal voltage of the system according to IEC 60664-1		Examples of U_c based on values given in IEC 60364-5-53			
Three-phase, four-wire system, neutral earthed	**Three-phase, three-wire or four-wire system, unearthed**	**U_c min. for SPD installed between phase and PE or PEN in the case of TN systems[a] or between phase and neutral in the case of TT systems[a]**	**U_c min. for SPD installed between phase and earth or neutral and earth in the case of TT systems[a]**	**U_c min. for SPD installed between phase and earth or neutral and earth in case of IT systems**	**U_c min. for SPD installed between phase to phase in case of TT, TN or IT systems**
TT and TN systems	IT system	Case where voltage regulation is equal to 10 %	Case where a value of 1,5 × U_0 has been used	Case where a value of $\sqrt{3} \times U_0$ has been used	Case where voltage regulation is equal to 10 %
V	V	V	V	V	V
120/208		132	180		229
127/220	220	140	191	220	242
	230, 240			240	264
	260, 277, 347			347	382
220/380, 230/400	380,400	253	345	400	440
240/415, 260/440	415	286	390	415	484
277/480	440, 480	305	416	480	528
[a] Higher values may be needed under some conditions (for example, the loss of neutral in TT systems).					

B.2 Relationship between U_p and U_c for Metal oxide varistors (MOV)

The ratio of U_p/U_c is an interesting parameter to characterize an SPD. This ratio depends on the component used. Table B.2 below gives typical values of the ratio U_P/U_c for Metal oxide varistors (MOV) components which vary as a function of the size of the component and of the applied current I_n.

Table B.2 – Example of values of U_p/U_c for Metal oxide varistors (MOV)

I_n (8/20) kA	Diameter mm	U_p/U_c for Metal oxide varistors (MOV)
1	14	3,3
2,5	20	3,8
5	32	4,1
10	40	4,6
20	60	4,6

Both lower and higher ratios can be obtained from devices using other technologies.

NOTE Other parameters such as surge withstand also vary with technology.

Annex C
(informative)

Environment – Surge voltages in LV systems

C.1 General

Surge overvoltages occur in low-voltage systems as the result of three types of event:

- natural phenomena such as lightning which can strike the power system directly or induce overvoltages by striking other objects nearby;
- intentional actions on the power system, such as load or capacitor switching in the transmission or distribution systems by the utility, or in the low-voltage system by end-user operations;
- unintentional events such as power system faults and their elimination or coupling between different systems such as interactions between power systems and signal/communication systems.

The surge overvoltages considered in this document are those exceeding twice the peak operating voltage (two per unit or 2 p.u.) and having a duration ranging from a fraction of a microsecond to a millisecond. Overvoltages of less than two per unit are not considered here, nor are transients of longer duration resulting from power equipment operation and end of life. Because low-amplitude and long-duration surges are in most cases not amenable to suppression by conventional surge protective devices, they require different protection techniques from those discussed in this document.

This annex presents and summarizes important information on surge voltages in low-voltage systems from IEC TR 62066 to facilitate the use of this document.

C.2 Lightning overvoltages

C.2.1 General

Lightning is an unavoidable event, which affects low-voltage systems (power systems as well as signal/communication systems) through several mechanisms. The obvious interaction is a direct flash on the system, but other coupling mechanisms can also result in a system overvoltage. Three types of coupling mechanisms capable of producing overvoltages in low-voltage systems are discussed. While this discussion makes reference to "overvoltages", consideration of the current associated with the overvoltage, or the current initially causing the overvoltage is an important aspect of the subject. The three categories are as follows:

a) Direct flashes to the power system, which can occur on the primary side of the MV/LV distribution transformer, on the LV distribution system (overhead as well as buried), and on the service drop to individual buildings.

b) Indirect flashes: flashes to nearby objects, which can produce overvoltages in the LV distribution system by inductive coupling or by common-path coupling. While the overvoltages and surge currents resulting from such flashes might be less severe than those associated with a direct flash, their frequency of occurrence is much greater.

c) Direct flashes to the LPS or to extraneous parts of the end-user building (structural steel, non-electrical components such as water lines, heating and air conditioning ducts, elevator shafts, etc.). Such flashes have two kinds of effect: inductive coupling from the lightning currents carried by the extraneous parts, and injection of lightning current from the building into the LV system made unavoidable by the necessary provision of SPDs between the LV system conductors and local earth, or the so-called equipotential bonding of the installation. For a given flash, the severity of the overvoltage appearing at the end-user facility will reflect the characteristics of the coupling path such as distance and nature of the system between the point of flash and the end-user facility, earthing practices and earth connection impedance, presence of SPDs along the path, and branching out of the distribution system.

C.2.2 Surges transferred from MV to the LV system

The overvoltage surges generated in the MV system by lightning are transferred to the LV distribution system in two different ways:

– by capacitive and inductive coupling through the MV/LV transformer;

– by earth coupling.

The transferred surge magnitude depends on many parameters such as:

– LV earthing system (TT, TN, IT);

– characteristics of the LV line and LV load;

– LV overvoltage protection devices;

– coupling conditions between MV and LV earthing;

– transformer design.

In case of direct lightning to the MV line, the surge arrester operation or an insulator spark-over diverts the surge current through the earthing system and can produce a resistive earth coupling between the MV and LV systems and an overvoltage is transferred to the LV system. Depending on the earthing impedance values, this earth coupling overvoltage can be much higher than the capacitive coupling through the transformer.

In a TN system, if the neutral is also earthed at the customer installation, smaller overvoltages will occur. It should also be noted that this kind of resistive coupling may be avoided by using a separate earthing system for the LV part of the transformer.

A typical value of the overvoltage transmitted by capacitive and inductive coupling to the secondary of the MV/LV transformer side is 2 % of the MV phase-to-earth voltage between phase and neutral conductors and 8 % between phase conductor and earth. These values are typical for a loaded LV circuit. When the LV side of the transformer is open, or very lightly loaded, the values can be significantly higher, depending on the LV system.

Induced lightning surges on the MV system produce much less surge current (usually less than 1 kA) than direct flashes, and the overvoltages are in practice transferred to the LV system only by capacitive coupling and do not exceed a few kilovolts. In such cases, the overvoltage induced directly in the LV system (at least in the part which is not far from the lightning impact point) is in general higher than the one transferred from the MV side. If an SPD operates or a sparkover occurs, the current will be small and the resistive coupling is negligible.

C.2.3 Overvoltages caused by direct flashes to LV distribution systems

The effective impedance of the lightning channel is high and the lightning current can be considered as an ideal current source. The produced overvoltages are therefore determined by the momentary effective impedance that is seen by the lightning current.

For a flash to a line, the voltages are in the first moments determined by the characteristic impedance (surge impedance) of the line. The current (I) is initially divided in two parts and the voltage surges (U) generated are:

$$U = Z \times I/2$$

where

U is the surge voltage in kV;

Z is the surge impedance of the line in Ω;

I is the surge current in kA.

If a moderate current of 10 kA and a surge impedance of 400 Ω are assumed, the prospective voltage surge is 2 000 kV. On a low-voltage line, therefore, flashovers will usually occur between all line conductors and in most cases to earth. After flashover, the effective impedance is reduced by an amount that depends on the earthing resistances involved. However, even for a rather low effective impedance as for instance 10 Ω, the voltage will be 100 kV on the line for the 10 kA lightning current assumed in example.

In a combined overhead line/cable system, the overvoltages will be somewhat reduced due to the lower surge impedance of cables compared to overhead lines. The amount of reduction depends on the current duration and on the total capacitance to earth of the system. However, usually this reduction is not sufficient to avoid overvoltages exceeding normal insulation levels in low-voltage systems. Accordingly, in most of the cases, direct flashes should be expected to cause damage in such systems.

C.2.4 Induced overvoltages in LV distribution systems

Due to the electromagnetic field changes during a lightning flash, surges are induced in overhead lines of all kinds even at a considerable distance from the flash. As a crude approximation the prospective overvoltages (U) on the line can be estimated from this expression:

$$U = 30 \times k \times (h/d) \times I$$

Where

U prospective overvoltage in kV

I is the lightning current in kA;

h is the height of the conductors above ground in m;

k is factor depending on the velocity of the return stroke in the lightning channel;

d is the distance from the flash in m.

The variation of the parameter k is small (1,0 to 1,3).

For a median lightning current of 30 kA and for a line with a height above ground equal to 5 m, the voltage will exceed 5 kV for flashes within a distance of 1 km. A current of 100 kA will produce a prospective voltage of 1,8 kV even at a distance of 10 km.

C.2.5 Overvoltages caused by flashes to a Lightning Protection System or to a structure in close vicinity

When lightning strikes a structure, which is one of several supplied in parallel by a LV power system, the flow of lightning current into the earth divides among the various paths available. These include local earth (building earthing), as well as distant earth points through any and all metallic paths, primarily the power supply cable.

The injected surge current flows from the air terminal of the LPS through the down-conductor to the earth-termination system. At that point, the lightning current divides into at least two components, one component flowing into the local earth of the building, and the other flowing through the power supply cable toward the distant earth (current may also follow other paths such as metallic pipes and other conductive services). These currents divide according to the inverse ratio of the impedances. In the initial phase of the impulse current, the current division is determined by the ratio of the inductances. In the tail, where the rate of change of current is low, the division is determined by the ratio of the resistances.

With several buildings electrically connected, the effective resistance decreases, which means that the portion of the lightning current that flows out of the struck building into the LV system will increase when more buildings are connected into the string.

Different practices on neutral earthing are found in different countries, so that some differences can be expected in the way the lightning current will disperse among the available paths. System designers should take these differences into consideration.

The current dispersion among the available paths will produce overvoltages primarily between the conductors and local earth. Depending on the configuration of the LV installation and the presence or absence of SPDs, these overvoltages can be large or moderate. Experience shows the beneficial effect of improved neutral earthing at the service entrance and the significance of taking into consideration resistive, inductive, and mutual coupling effects.

It should be noted that the earth potential rise resulting from a direct flash to a building or structure normally exceeds the insulation level of the low-voltage installation and consequently produces flashovers and overvoltages that propagate to adjacent buildings (installations) connected to the same low-voltage distribution network, unless equipotential bonding SPDs are installed.

Consequently, even a building not struck by a lightning flash can be exposed to overvoltages due to propagation along the distribution network. Moreover, for a given flash density in the area, the presence of a tall building, although reducing the probability of direct flashes to smaller buildings in its vicinity, enhances the probability of conducted overvoltages.

Overvoltages between conductors and local earth stress the insulation of connected equipment, which usually has sufficient withstand levels according to IEC 60664-1 recommendations, while the working components of power equipment are stressed by overvoltages appearing between conductors. At first glance, it might be rationalized that the most threatening situation would be the overvoltages applied to the working components of the power equipment. However, overvoltages to earth can become a problem, not so much for the power equipment insulation, but as a result of shifts in reference potentials between the power system and the communications system that might be connected to the equipment.

C.3 Switching overvoltages

C.3.1 General

Protection against switching overvoltages should be considered in the case of equipment likely to produce switching overvoltages or disturbances exceeding the values according to the overvoltage category of the installation e.g. where a LV generator supply the installation or where inductive or capacitive loads (e.g. motors, transformers, capacitor banks, etc.), storage units or high current loads are installed. In which case one should consider installing SPDs located as close as possible to the origin of such threats.

These stresses, in terms of current, voltage and duration, are usually lower than the lightning stresses. However, in some cases, particularly deep inside a structure or close to switching overvoltage sources, the switching stresses could be higher than those stresses caused by lightning. It is necessary to know the energy of these switching surges to allow the choice of the appropriate SPDs. The time duration of the switching surges, including transients due to faults and fuse operations, can be much longer than the lightning surge duration.

In most cases, any switching operation, fault initiation, interruption, etc., in an electrical installation is followed by a transient phenomenon in which overvoltages can occur. The sudden change in the system can initiate damped oscillations with high frequencies (determined by the resonant frequencies of the network), until the system is again stabilized to its new steady state.

The magnitude of the switching overvoltages depends on many parameters, for instance the type of circuit, the kind of switching operation (closing, opening, restriking), the loads, the circuit-breaker or fuse.

The frequencies of the oscillations during switching operations are determined by the system characteristics, and from time to time resonance phenomena can occur. In such cases, very high overvoltages can be initiated. The probability of resonance with harmonics of the power frequency of the system is usually low. However, if the characteristic frequency of a switched part of a system is close to one or more resonant frequencies of the rest of the system, a state of transient resonance may occur.

C.3.2 General description

The typical shape of switching surges is determined by the response of the low-voltage installation. This results in most cases in a ringing wave. The frequency will normally be in the order of several hundred kilohertz per microsecond. The maximum rate of rise is usually in the order of some kilovolts per microsecond. The duration of the surges is distributed over a much wider time range. If switching overvoltages caused by operation of fuses are excluded, the typical duration (time to half-value) is from 1 μs to 50 μs. A statistical evaluation shows that both the amplitude and the probability of occurrence of surges with a longer duration (greater than 100 μs) is low.

C.3.3 Circuit-breaker and switch operations

C.3.3.1 General

Circuit-breakers and switches are widely used in every installation either for protecting electrical equipment by switching off in the case of overload or short circuit, or for controlling the operation of equipment by switching on and off. The rate of occurrence of switching operations depends on the field of application with higher rates in the industrial environment and relatively lower rates in the domestic range.

The switched currents in case of ohmic loads are in the range of the rated current of the equipment. However, for equipment with switched-mode power supplies, the switched currents are much higher than the rated current. For instance, in the case of a 100 W television set, the rated current is 0,4 A whereas the inrush current is approximately 20 A, which is 50 times higher.

Mechanical switchgear being released either manually or by an electromechanical operation produces an electric arc during each switching process. A high-frequency oscillation is generated by the sudden voltage change interacting with the inductances and capacitances in the environment of the switch. This oscillation is superimposed on the voltage between the line conductors and between a line conductor and earth, and the total voltage stresses the insulation of electrical equipment to exposed conductive parts and to other circuits. In contrast to transient overvoltages transmitted via the public distribution network into the customer's installation, the switching transients generated within the customer's installation by circuit

breakers and switches affect the electrical equipment without significant attenuation, so the amplitude of these transients is relatively high.

C.3.3.2 Circuit-breaker and switch operations in the customer's premises

Usually higher amplitudes are generated by switching equipment off compared to switching on. During switching-off, the switching surge on the load side has a higher amplitude and energy than on the line side. However, this is mainly a problem with respect to the design of this kind of equipment, especially for its insulation. If other equipment is connected in parallel, it will also be stressed. The overvoltage on the line side is of greater importance for the whole system and for the equipment connected to it than for the load side.

C.3.3.3 Circuit-breaker and switch operations in the supply system (LV and HV)

Transient overvoltages stressing the electrical equipment can be observed in every supply system. In underground supply systems, nearly all transients are generated by electro-mechanical switchgear of similar sources.

In high-voltage and low-voltage installations, the switching of inductances such as transformers, impedance coils, contactor coils and relays installed in parallel with the supply source can cause switching overvoltages with amplitudes reaching several kilovolts. The same phenomenon exists where longitudinal inductances such as conductor loops and longitudinal impedance coils, or even the supply system itself is switched off, because of the self-inductance of the wiring.

On the supply side, switching overvoltages can also be caused by the operation of gating controls, by brush arcing of slip ring motors, by sudden load decrease of electrical machinery or transformers and by operational switching of capacitor units used for power-factor correction.

The frequency and energy of such overvoltages could in some rare cases be considerably higher than those of atmospheric origin as far as the effects on low-voltage installations are concerned.

Transient overvoltages due to switching in the low-voltage supply can reach amplitudes of several kilovolts, though it may be assumed that the maximum values are limited due to certain conditions when operating the low-voltage supply network. In those supply systems where overvoltage control by protective devices is installed, it can be expected that a maximum amplitude of 6 kV is in most cases not exceeded within the low-voltage customer's installation.

Another phenomenon comparable to switching overvoltages is the occurrence of short circuits and earth faults in the high-voltage supply. Earth faults can cause a line-to-earth overvoltage in the fault-free line conductors, in the range of the line-to-line voltage. Furthermore, in such cases transient overvoltages can also occur. Such transients are transmitted from the high-voltage to the low-voltage supply.

C.3.4 Fuse operations (current-limiting fuses)

Fuses are widely used in distribution systems and in electrical installations for protection against overcurrent and for interruption of short circuits. If a fuse operates, for example, in a distribution system to clear a short circuit, this operation creates an overvoltage which has an approximately triangular wave shape and is a phenomenon of relatively low frequency. The overvoltage occurs between the line conductors of the system, and also between line conductor and protective earth conductor, due to the earthed neutral conductor or, in case of an IT-system, due to the earth capacitances. Thus, this overvoltage also stresses the insulation with respect to the exposed conductive parts and to other circuits. Of course, it occurs infrequently compared with overvoltages caused by switching of operating currents. This overvoltage is also transmitted via the busbar to other current-using equipment supplied from the same distribution system.

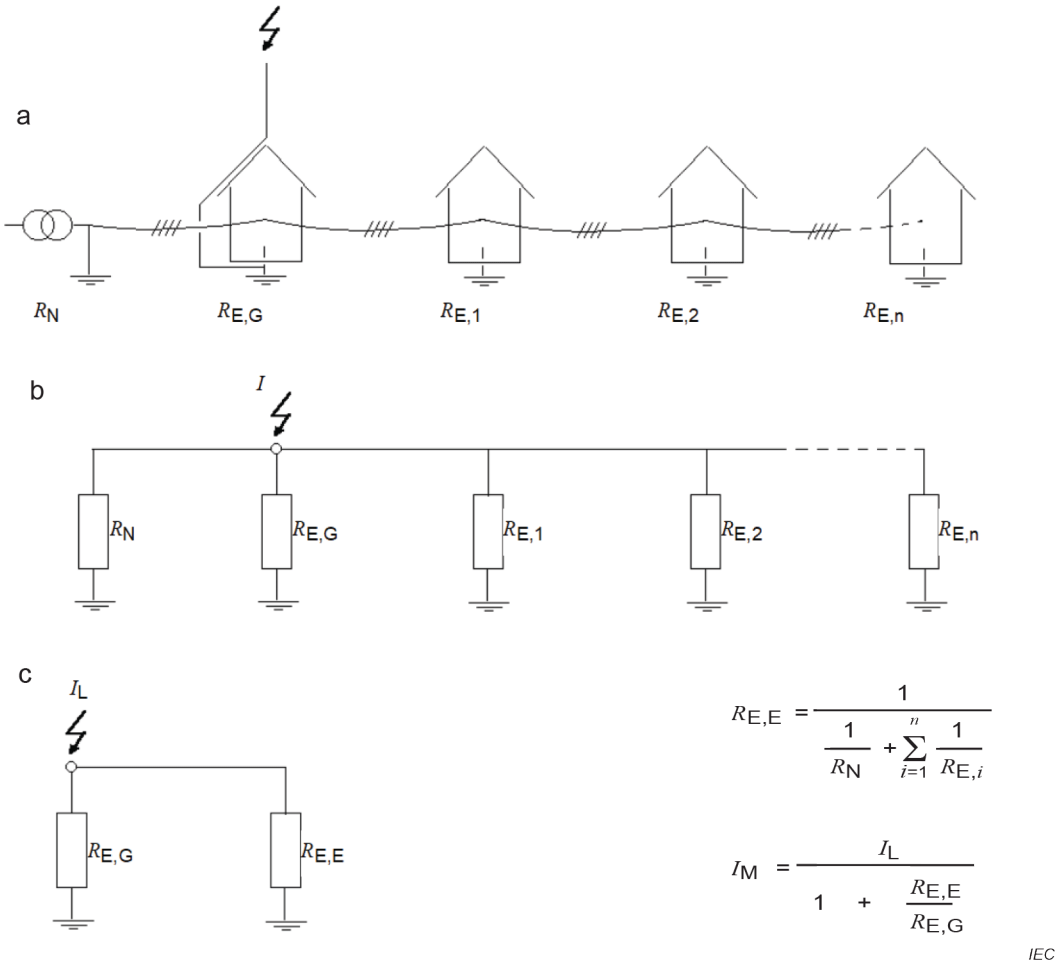
Compared to other surges caused by operational switching, the occurrence of surges due to fuse operation is less frequent. However, in the case of interruption of a short circuit, very severe overvoltage surges can be generated. This is mainly influenced by the rate of rise of the short-circuit current, the characteristic of the fuse and its current rating, and the inductance of the circuit.

Clearing of a short circuit in a feeder of a distribution system by a fuse installed near the busbar is a relevant matter because the overvoltage generated by the switching of the fuse affects all other current-using equipment connected to the same busbar. Experience based on statistics has shown that in the public low-voltage supply, such a fault occurs very rarely. However, this kind of a fault has some relevance when industrial distribution systems are considered, where the occurrence of a short circuit is not such a rare event.

Annex D
(informative)

Partial lightning current calculations

According to Figure D.1 a building with a LPS system is struck by lightning. The lightning current I_L will go down the lightning rod into the earthing system of the struck building. This will cause a potential rise and consequently lead to flashover and/or operation of SPDs in the installation, so that the lightning current I_L is partly distributed into the four wires of the system.



Key

R_N	Resistance of neutral earthing
$R_{E,G}$	Resistance of the earthing of the building struck
$R_{E,i}$	Resistance of building No. i earthing
$R_{E,E}$	Total resistance of all earthing except the earthing of the building struck
I_L	Lightning current striking the building struck
I_M	Current flowing in the mains

Figure D.1 – Simple calculation of the sum of partial lightning currents into the power distribution system

For this calculation, the resistance of the earthing system of the neighbouring building RE,E should be equal to or lower than the resistance of the earthing system RE,G of the building struck.

The distributed partial current I_M will generate overvoltages in the system and installations, stressing the insulation and connected apparatus. Therefore, not only the struck building is endangered, but also buildings and installations in the neighbourhood.

The simplified network (Figure D.1 b) and c)) allows a simplified calculation of the partial current I_M into the power distribution system.

NOTE This calculation is only valid for the energy sharing (tail of the lightning current wave)

The stress, which an SPD will be subjected to under surge conditions, is a function of many complex and interrelated parameters. These include:

- Location of the SPD(s) within the structure: are they located at the main distribution board or within the facility at secondary board, or even in front of the end-user equipment?
- Components installed upstream of the SPD: For example, fuses, the wiring cross sectional area etc, may limit the surge handling capability of the whole system and therefore the maximum stress experienced by the SPD.
- Method of coupling of the lightning strike to the facility: for example, is this via a direct strike to the structure's LPS, or via induction onto building wiring due to a nearby strike.
- Distribution of lightning currents within the structure: for example, what portion of the lightning current enters the earthing system, and what remaining portion seeks a path to remote grounds via the power distribution system and equipotential bonding SPDs.
- Type of power distribution system: the distribution of lightning current on a power distribution system is strongly influenced by the grounding practice for the neutral conductor. For example, in the TN-C system with its multiple earthed neutral, a more direct and lower impedance path to ground is provided for lightning currents than in a TT system.
- Additional conductive services connected to the facility: these will carry a portion of the direct lightning current and therefore reduce the portion which flows through the power distribution system via the lightning equipotential bonding SPD. Attention should be paid to permanence of such services due to possible replacement by non-conductive parts.
- Type of waveshape being considered: it is not possible to simply consider the peak current which the SPD will have to conduct under surge conditions, one also has to consider the waveshape of this surge.

Many attempts have been made to quantify the electrical environment and "threat level" which an SPD will experience at different locations within a facility. IEC 62305-4 has sought to address this issue by considering the highest surge magnitude which may be presented to an SPD based on the lightning protection level (LPL) being considered. For example, this document postulates that under a LPL I the magnitude of a direct strike to the structure's LPS may be as high as 200 kA 10/350. Whilst this level is possible, its statistical probability of occurrence is only 1 %. In other words, 99 % of discharges will be less than this postulated 200 kA peak current level.

In addition, an assumption is made that 50 % of this current is conducted via the building's earthing system, and 50 % returns via the equipotential bonding SPDs connected to a three wire plus neutral power distribution system. It is also assumed that no additional conductive service exists. This implies that the portion of the initial 200 kA discharge experienced by each SPD is 25 kA.

Simplified assumptions of current dispersion are useful in considering the possible threat level, which the SPD(s) may experience, but it is important to keep in context the assumptions being made. In the example above, a lightning discharge of 200 kA has been considered. It follows that the threat level to the equipotential bonding SPDs will be less than 25 kA for 99 % of the time. In addition, it has been assumed that the waveshape of this current component through the SPD(s) will be of the same waveshape as the initial discharge, while in reality the waveshape may have been altered by the impedance of building wiring, etc.

Many standards have sought to base their considerations on the threat level which the SPD may experience during operation, on field experience collected over time. For example, the IEEE guide to the environment, C62.41.1 and the recommended practice C62.41.2, present different exposure levels under each of these conditions depending on the location where the SPD is installed.

From the above, it is apparent that the selection of the appropriate I_{imp}, I_n or I_{max} (if declared) of an SPD depends on many complex and interconnected parameters. The user not only needs to consider how the injection current will distribute within the structure and its power distribution system, but also needs to take into account the statistical probabilities associated with the magnitude of this discharge and the waveshapes involved.

It is important to keep in mind that the probability of damage to electronic systems within the building due to surges entering via power, phone and data lines, is far greater than that due to a direct strike to the building itself.

Many buildings do not have, or may not require a LPS, and as such the need for high current Class I tested SPDs may not be as necessary as a correctly designed Class II tested SPD system with low protection level U_p.

When addressing such complexities, one needs to keep in mind that the most important aspect in selecting an SPD is its limiting voltage performance during the expected surge event, and not the energy withstand (I_{imp}, I_n, U_{oc} or I_{max} if declared) which it can handle. An SPD with a low limiting voltage will ensure adequate protection of the equipment, while an SPD with a high energy withstand may only result in a longer operating life.

Annex E
(informative)

TOV in the low-voltage system due to faults between high-voltage system and earth

E.1 General

The following events cause the most severe temporary overvoltages as defined in IEC 60050-614-03-13 and as proposed in IEC 60364-4-44. Temporary overvoltages due to earth faults in the high-voltage system and due to faults in the low-voltage system, should be considered. Following conditions have to be considered:

– a fault between the high-voltage system and earth in the transformer substation that supplies the low-voltage distribution system, depending on different LV-systems (TN, TT, IT) and on different earthing configurations between HV- and LV-system.
– a loss of the supply neutral in the low-voltage system or installation,
– a short-circuit in the low-voltage system or installation,
– an accidental earthing (earth fault) of a line conductor of a low-voltage IT-system

The requirements for the earthing arrangement at the transformer substation above 1 kV are given in IEC 61936-1.

In IT systems live parts shall be insulated from earth or connected to earth through a sufficiently high impedance. During an accidental earthing (earth fault as a first fault), no disconnection is required and therefore IT systems are more and more used to ensure continuity of supply even under first fault conditions.

The following condition has to be met: $U_f \leq R_A \times I_d \leq 50$ V

An insulation monitoring device is provided to indicate the occurrence of a first fault. It is recommended that a first fault be eliminated with the shortest practical time. It is the reason why it is a different situation between TT/TN and IT LV-systems; In IT-systems the earth fault in the high-voltage system may happen at the same time as an earth fault in the low-voltage system for an undefined time.

For SPDs that are connected between line and earth (PE) inside an IT low-voltage installation it is required that U_C be equal to or higher than the maximum line to line system voltage to cover the first LV-fault lasting for an undefined time.

The guidelines of this annex provide particular information for the correct selection of surge protective devices (SPDs) inside the low-voltage installation in the event of a fault between the high-voltage system and earth in the transformer substation which supplies the low-voltage distribution.

SPDs connected to the low-voltage distribution may be affected by power frequency stress voltages during an earth fault on the high-voltage side in the transformer substation. The possible power frequency stress current is important for the failure behaviour of the selected SPD. In low-voltage systems different types of earth connections are known and may result in different stress voltages (U_1 and U_2) and different stress currents depending to the type of earth connection. Depending to the type of earth connection U_1 and U_2 may be different, therefore different power-frequency stress voltages may occur inside the low-voltage side of the transformer substation and in the low-voltage installation of the consumer (load) side. For IT-systems it has to be taken into account that a first LV earth fault exists either in the transformer station or in the LV-installation of the consumer. The following clauses provide the relevant information and methods of calculation for the temporary overvoltage $U_{TOV(HV)}$.

E.2 References

– IEC 60364-5-53
– IEC 60364-4-44
– IEC 60364-1
– IEC 61936-1

E.3 Symbols

The following symbols are used:

I_E part of the earth fault current in the high-voltage system that flows through the earthing arrangement of the transformer substation.

R_E resistance of the earthing arrangement of the transformer substation

R_A resistance of the earthing arrangement of the exposed-conductive-parts of the equipment of the low-voltage installation.

R_B resistance of the earthing arrangement of the low-voltage system neutral, for low-voltage systems in which the earthing arrangements of the transformer substation and of the low-voltage system neutral are electrically independent.

U_O in TN- and TT-systems: nominal AC r.m.s line voltage to earth.

NOTE 1 In IT-systems: nominal AC voltage between line conductor and neutral conductor or mid point conductor, as appropriate. In IT-systems without neutral the symbol U is normaly used and the reference is the line to line voltage.

U_f power-frequency fault voltage that appears in the low-voltage system between exposed-conductive-parts and earth for the duration of the fault.

U_1 power-frequency stress voltage between the line conductor and the exposed-conductive-parts of the low-voltage equipment of the transformer substation during the fault.

U_2 power-frequency stress voltage between the line conductor and the exposed-conductive-parts of the low-voltage equipment of the low-voltage installation during the fault.

NOTE 2 The power frequency stress voltage (U_1 and U_2) is the voltage that appears across the insulation of low voltage equipment and across surge protective devices between active wires and PE connected to the low-voltage system.

The following additional symbols are used in respect of IT-systems in which the exposed-conductive-parts of the equipment of the low-voltage installation are connected to an earthing arrangement that is electrically independent of the earthing arrangement of the transformer substation.

I_h fault current that flows through the earthing arrangement of the exposed-conductive-parts of the equipment of the low-voltage installation during a period when there is a high-voltage fault and a first fault in the low-voltage installation.

I_d fault current that flows through the earthing arrangement of the exposed-conductive-parts of the low-voltage installation during the first fault in a low-voltage system.

Z impedance (e.g. IMD internal impedance, artificial neutral impedance) between the low- voltage system and an earthing arrangement. In IT-systems without neutral and IT-Delta systems the reference conductor is a line conductor.

E.4 Overvoltages in LV-systems during a high-voltage earth fault

In case of a fault to earth on the HV-side of the substation the following types of overvoltage may affect the LV-installation:

– power frequency fault-voltage (U_f);

– power frequency stress-voltages (U_1 and U_2)

Possible power frequency stress voltages on equipment and SPDs are given in Table E.1.

Table E.1 – Permissible power-frequency stress voltages according to IEC 60364-4-44

Duration of the earth fault in the high-voltage system t	Permissible power-frequency stress voltage on equipment in low-voltage installations U
>5 s	U_o + 250 V
≤5 s	U_o + 1200 V
In systems without a neutral conductor, U_o shall be the line to line voltage.	
NOTE 1 The first line of the table relates to high-voltage systems having long disconnection time, for example, isolated neutral and resonant earthed high-voltage systems. The second line relates to high-voltage systems having short disconnection times, for example low-impedance earthed high-voltage systems. Both lines together are relevant design criteria for insulation of low-voltage equipment with regard to temporary power-frequency overvoltage, see IEC 60664-1. NOTE 2 In a system whose neutral is connected to the earthing arrangement of the transformer substation, such temporary power-frequency overvoltage is also to be expected across insulation which is not in an earthed enclosure when the equipment is outside a building.	

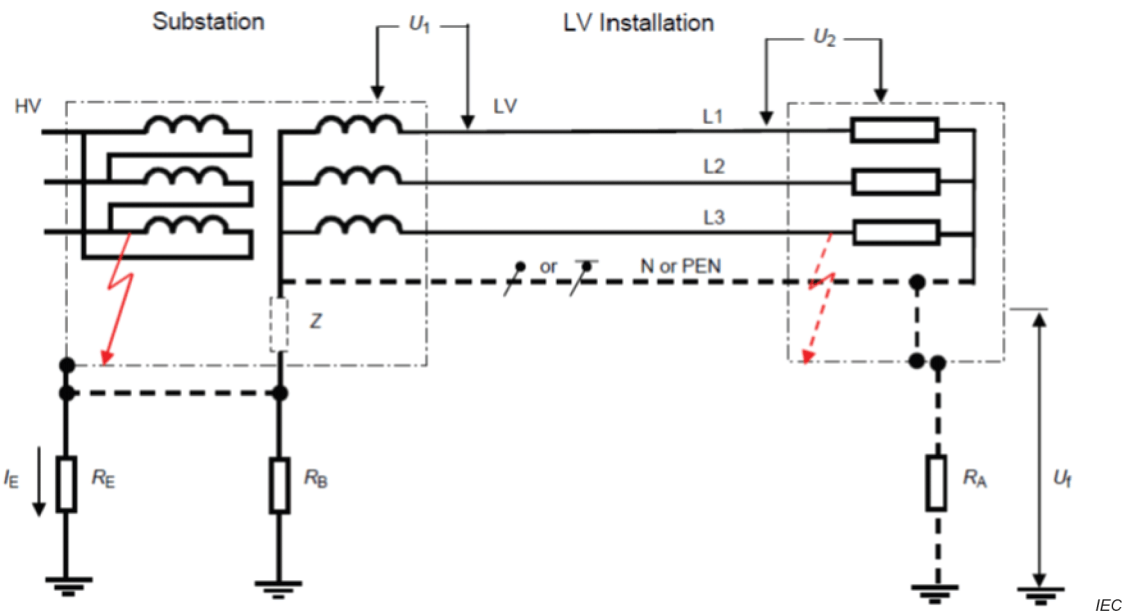


Figure E.1 – Representative schematic for possible connections to earth in substations and LV-installations and resulting overvoltages in case of faults

Where separate high-and low-voltage earthing systems exist in proximity to each other, two practices are presently used:

– interconnection of all high-voltage (R_E) and low-voltage (R_B) earthing systems in TN/TT-system

– interconnection of all high-voltage (R_E) and low-voltage (Z *and* R_A) earthing systems in IT-system

– separation of high-voltage (R_E) and low-voltage (R_B) earthing systems in TN/TT-system

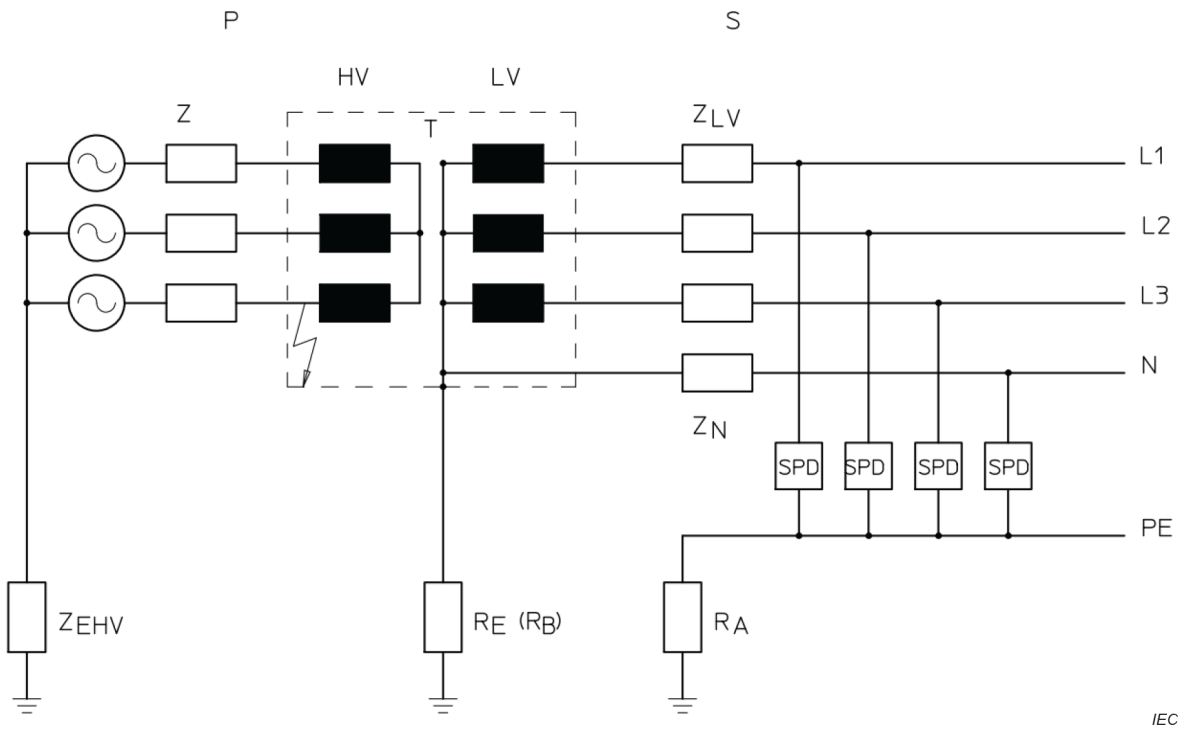
– separation of high-voltage (R_E) and low-voltage (Z and R_A) earthing systems in IT-system

The general method used is interconnection. The high- and the low-voltage earthing system shall be interconnected if the low voltage system is totally confined within the area covered by the high-voltage earthing system (see IEC 61936-1).

NOTE Details of different types of system earthing (TN,TT,IT are shown in 60364-1)

E.5 Example of a TT-system – Calculation of the possible temporary overvoltages

E.5.1 Possible stresses on equipment in low-voltage installations due to earth faults in a high-voltage system



Key

P: HV system; S: LV system; T: Transformer;

Z_{EHV}: Impedance of the earthing arrangement of the high-voltage system (depending on treatment of the star point in high-voltage system)

Z_{LV}, Z_N: Line-impedance and impedance of the neutral conductor

Figure E.2 – Example of a TT-system with combined earthing of the transformer substation R_E with LV –midpoint earthing (earthed neutral) R_B

An earth fault in the HV-system influences voltages in the LV-system if the star point of the transformer on the low-voltage side is earthed (Figure E.2). Where a common earth conductor of both transformer star points does not exist, an earth fault (e.g. breakdown of a transformer bushing spark gap or a fault inside the transformer) causes a voltage rise of the LV-system star point. The earth current of the HV-system flowing through the impedance R_E is the reason for that voltage rise at the star point of the transformer. Therefore, the value of R_E and the value of the earth current determines the value temporary-power frequency overvoltage in the LV-system.

E.5.2 Characteristics of the high-voltage system

E.5.2.1 High-voltage system with limited earth current

By earthing the HV-system with a Petersen coil, the earth current is limited to I_E = 50 A to 60 A to guarantee the self-extinction of the arc.

The residual earth impedance of the HV-system is therefore in the range of Z_{EHV} = 100 Ω to 500 Ω and the earth current is determined solely by Z_{EHV}. The short circuit power and the earth resistance R_E (R_B) and R_A have no appreciable influence.

In LV-systems supplied by a HV-system with limited earth current the impedance of the earthing arrangement at the transformer substation should be in a range R_E = 2,5 Ω to 5 Ω With an earth current I_E = 50 A, the voltage between neutral and ground rises up to $U_{TOV(HV)}$ ≈ 125 V to 250 V. In a TT-system this TOV stresses the insulation and the overvoltage protection elements if installed. The maximum current driven by $U_{TOV(HV)}$ through an overvoltage protection element installed between neutral and ground is definitely smaller than 50 A. Therefore spark gaps between neutral and ground should be able to interrupt small AC currents.

NOTE In some countries there are cases that the value of $U_{TOV(HV)}$ is as high as 500 V since the earthing resistance R_E may be as high as 10 Ω.

E.5.2.2 High-voltage systems with low-ohmic earthed neutral

For completely underground systems, limitation of earth current is no longer an opportunity for self-extinguishing of the earth current (an insulation fault in the cable damages the insulation). For that reason an increasing number of HV-system operate with a low-ohmic earthed neutral. In general, the earth resistance Z_{EHV} should limit the earth short-circuit current I_E ≈ 2 kA.

For a HV-system with a rated voltage U_n = 20 kV an earth resistance Z_{EHV} ≈ 5 Ω meets this requirement. Small station transformers often do not have expensive overcurrent protection. Therefore fuses are used to interrupt the short-circuit current. The interrupting time is in the order of some 100 ms depending on fuse current rating.

Assuming that a typical 20 kV-system is given by the following parameters:

$$Z_{EHV} = 5\ \Omega;\ P_{\text{short circuit}} = 100\ \text{MVA};\ U_n = 20\ \text{kV (L-L)};$$

and a LV-system characterized by:

$$R_E = 1\ \Omega \qquad U_n = 230\ \text{V}$$

$$R_A = 5\ \Omega \qquad Z_{LV} = Z_N = 150\ \text{m}\Omega$$

A TOV on R_E of $U_{TOV(HV)}$ ≈ 1 200 V occurs.

The maximum current through an overvoltage protection element installed between neutral and ground depends on the ratio of R_E and the sum of R_A and Z_N. For this example of TT-system a current ≈ 200 A can be calculated.

E.6 Temporary power-frequency overvoltages depending on different LV-systems and different kinds of earthing configurations

E.6.1 General

Power-frequency stress voltages and power-frequency fault voltage in low- voltage-systems during a high-voltage earth fault is shown in Table E.2.

Table E.2 – Power-frequency stress voltages and power-frequency fault voltage in low- voltage-systems during a high-voltage earth fault

Type of system earthing	Types of earth connections	*Location of first LV-earth fault*	U_1	U_2	U_f
TT	*Configuration 1 Figure E.4a:* R_E and R_B connected $R_E = R_B$, separated R_A	*N.A.*	U_O	$R_E \times I_E + U_O$	*0*
	Configuration 2 Figure E.4b: R_E and R_B separated and separated R_A	*N.A*	$R_E \times I_E + U_O$	U_O	*0*
TN	*Configuration 3 Figure E3a:* R_E and R_B connected $R_E = R_B = R_A$	*N.A.*	U_O	U_O	$R_E \times I_E$
	Configuration 4 Figure E.3b: R_E and R_B separated $R_B = R_A$	*N.A.*	$R_E \times I_E + U_O$	U_O	*0*
IT	*Configuration 5 Figure E6:* R_E and Z connected $R_E = R_B$ and R_A separated [1]	*without LV-fault*	U_O	$R_E \times I_E + U_O$ *****	0 ***
		transformer side	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_E \times I_E + U_O \times \sqrt{3}$	0 ***
		consumer side	$R_E \times I_E + U_O \times \sqrt{3}$	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_A \times I_E \times R_E / Z$ ***
	Configuration 6 Figure E.5: R_E and Z connected $R_E = R_B$ and R_A interconnected [2)]	*without LV-fault*	U_O	U_O	$R_E \times I_E$
		transformer side	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_E \times I_E$
		consumer side	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_E \times I_E$
	Configuration 7 Figure E.7: R_E and Z separated R_E and R_A separated	*without LV-fault*	$R_E \times I_E + U_O$ **)***)	U_O	0 ***
		transformer side	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_E \times I_E + U_O \times \sqrt{3}$	0 ***
		consumer side	$R_E \times I_E + U_O \times \sqrt{3}$	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_A \times I_E \times R_E / Z$ ***

* No consideration needs to be given, because SPDs U_C has to be selected equal to or higher than the line to line voltage for the use in IT-systems.

** Under this HV-earth fault conditions the max. stress voltage may appear, but the stress current is limited by the impedance Z.

*** It needs to be considered that a SPD voltage-limiting action at one location immediately results in a similar stress for SPDs in the LV- installation at the other locations, if SPDs are installed at both sides.

Common and preferred type of earthing arrangement in IT LV power-systems

Common and preferred type of earthing arrangement in industrial IT LV power-systems

NOTE 1 For the IT-system a simultaneous first LV fault is considered to be present at the transformer station LV-side or in the LV-installation at consumer side.

NOTE 2 In TT- and TN-systems the statement "connected" and "separated" refers to the electrical connection between R_E and R_B. For IT-systems it refers to the electrical connection between R_E and Z and the connection between R_E and R_A.

E.6.2 Conclusion – Worst case SPDs stress current for SPDs HV-TOV behaviour.

In case of a fault to earth on the HV-side of the substation the following current values may affect surge protective devices, if connected to ground (N to PE, L to PE), in different power systems and with differe nt earthing arrangements, in accordance with the table above:

In IT systems:

– Up to 300 A in all systems, where a separation between HV-earthing (R_E) and LV-earthing (R_A) arrangement is given and a first LV-earth fault is present.
– No stress voltage and no current stress appears in IT-systems, where HV- and LV-earthing arrangements are interconnected, even in case of a first LV-earth fault.
– In IT-systems, where a separation between HV – earthing and LV – earthing is given, the stress current will be limited by the impedance Z as long as no first LV-earth fault exists, but this ideal situation is influenced by any SPD´s voltage-limiting action, no matter if this takes place at the transformer side or at the consumer side. The HV-TOV stress current in the LV-installation may increase up to 300 A.

In TT systems:

– Only on the transformer side up to 300 A, where a separation between HV-earthing (R_E) and LV-earthing (R_B) arrangement is given.
– Only on the consumer side up to 300 A, where a connection between HV-earthing (R_E) and LV-earthing (R_B) arrangement is given.

In TN systems:

– Only on the transformer side up to 300 A, where a separation between HV-earthing (R_E) and LV-earthing (R_B) arrangement is given.
– No stress voltage and no current stress appears in TN-systems, where HV- and LV-earthing arrangements are connected (interconnected).

E.6.3 Conclusion – Worst case test source for SPDs HV-TOV behaviour, if the SPD is connected to ground between N-PE and / or L-PE:

For configuration 1, 5 and 7: 1 200 V AC (N-PE); U_o + 1 200 V AC (L-PE) / 300 A for 200 ms (if the SPD is used on the LV-consumer side, or if unknown)

For configuration 2 and 4: 1 200 V AC (N-PE); U_o + 1 200 V AC (L-PE) / 300 A for 200 ms (if the SPD is used on the LV-transformer side, or if unknown)

For configuration 3 and 6: No test is necessary if the SPD is only used in TN and IT-Systems where HV- and LV-earthing arrangement are interconnected.

NOTE 1 In systems without a neutral conductor U_o is the line to line voltage.

The SPD has to pass such test in withstand mode or in a safe end of life behaviour for the applications and system configurations as provided by the manufacturer installation instruction (IEC 61643-11).

For selection and installation of SPDs the pass criteria shall be in line with IEC 60364-5-534.

NOTE 2 SPDs for which the manufacturer declares in the installation instruction that they are installed in TT-systems between neutral and PE upstream the main RCD, have to be considered for the TOV withstand mode criteria. This covers the application described in 534.2.3.3 of IEC 60364-5-53:2001.

E.6.4 Examples of different LV-systems and their possible earthing configurations

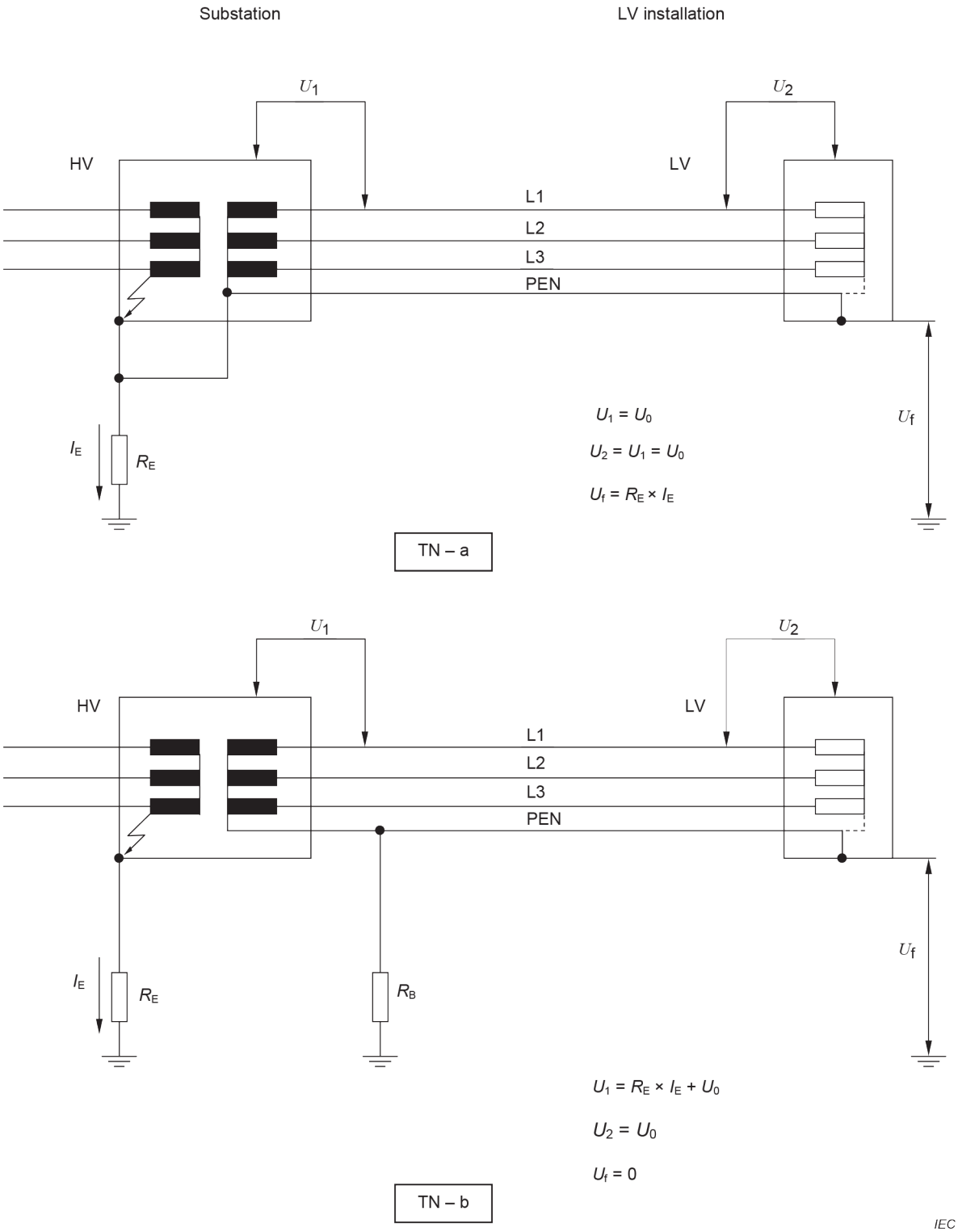


Figure E.3 – TN system (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44B)

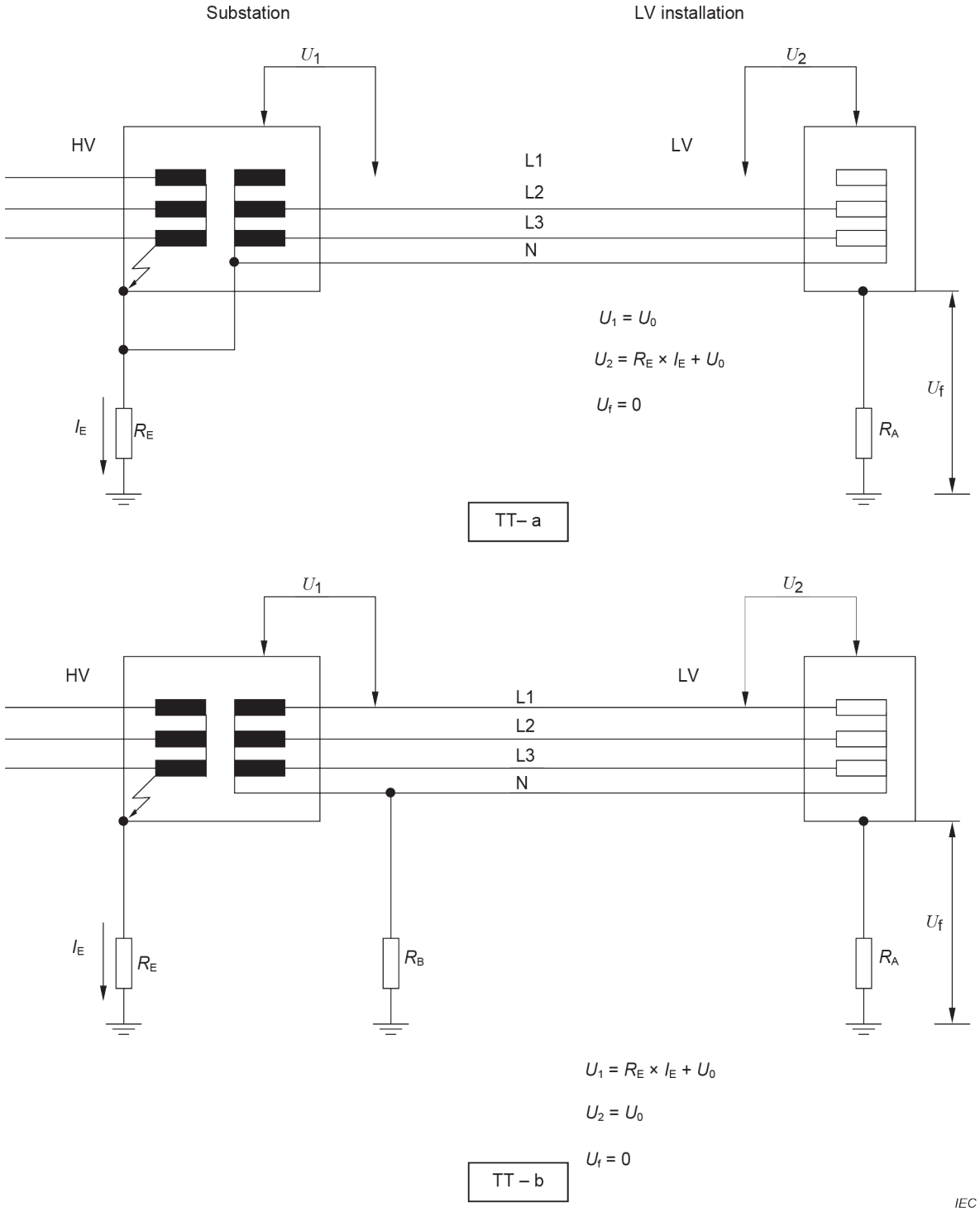
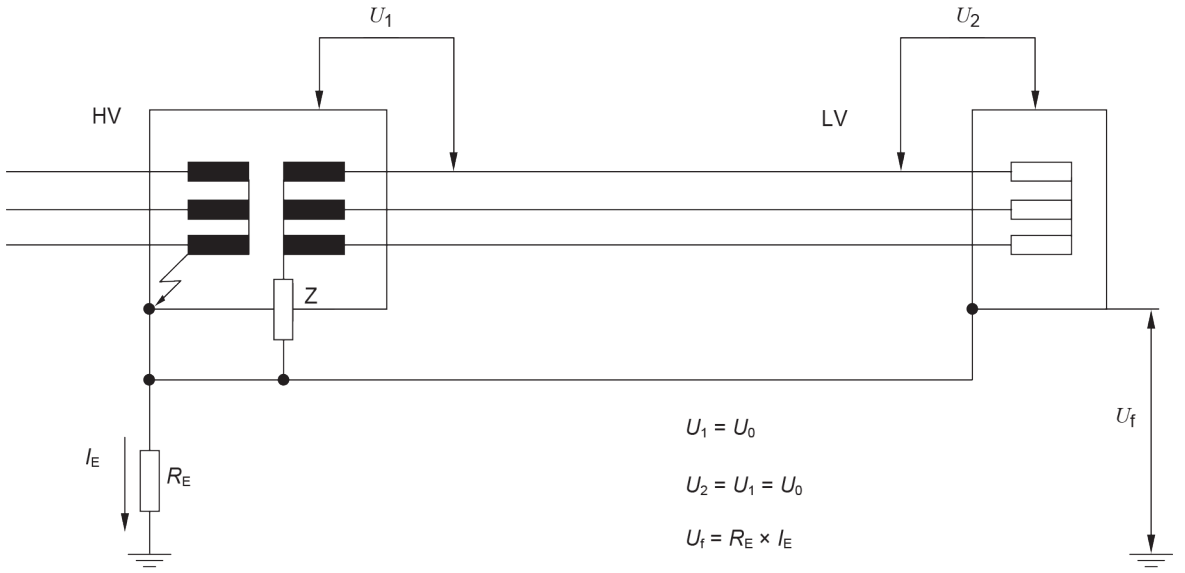
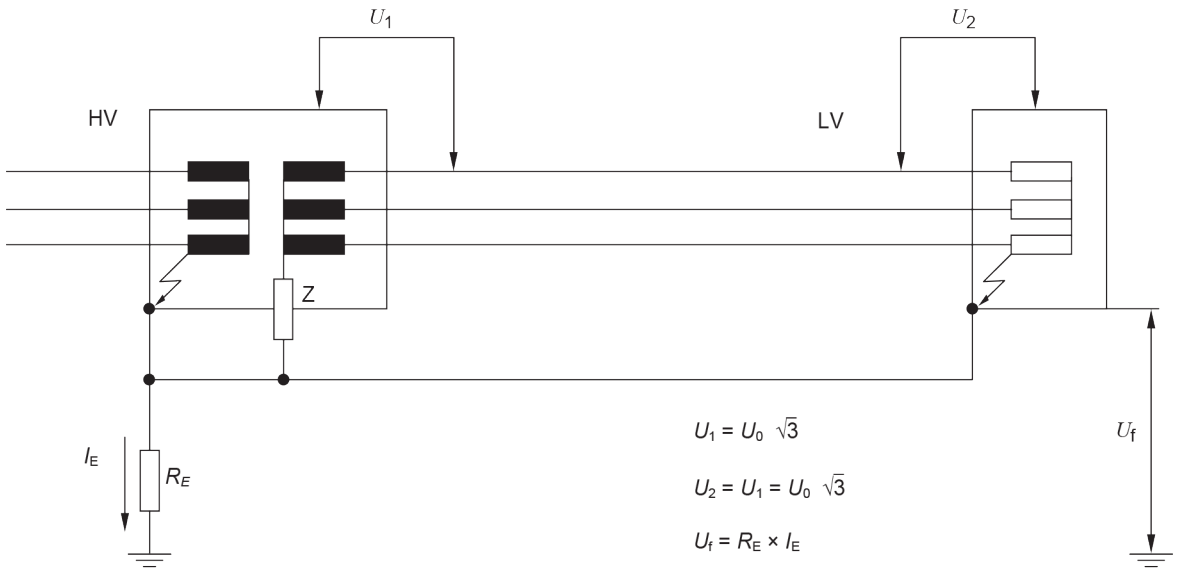


Figure E.4 – TT system (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44C)



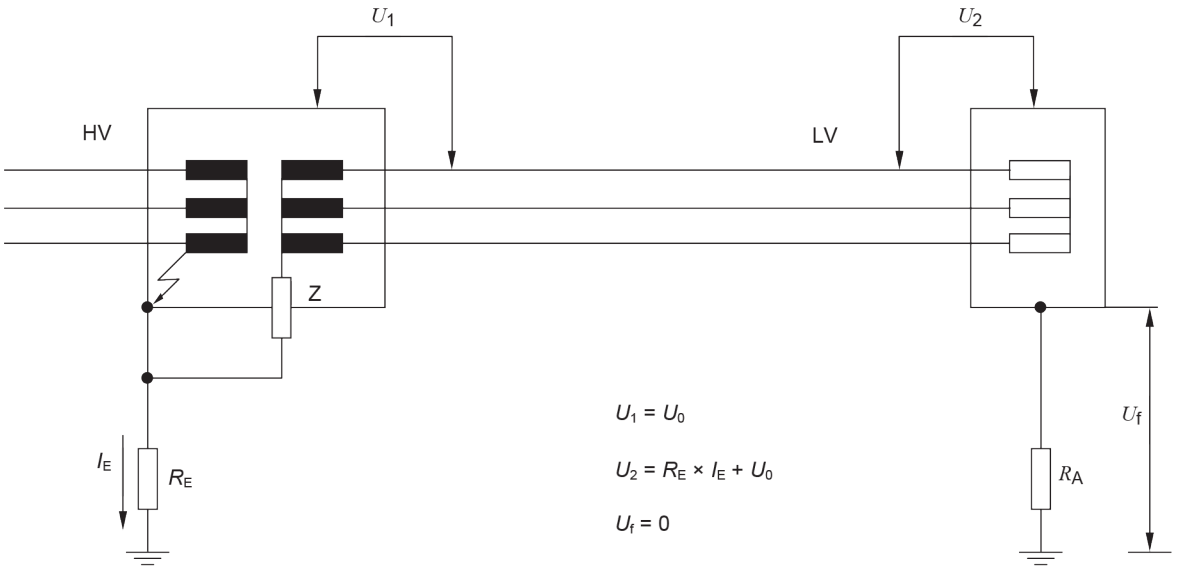
1. No fault exists in the LV system



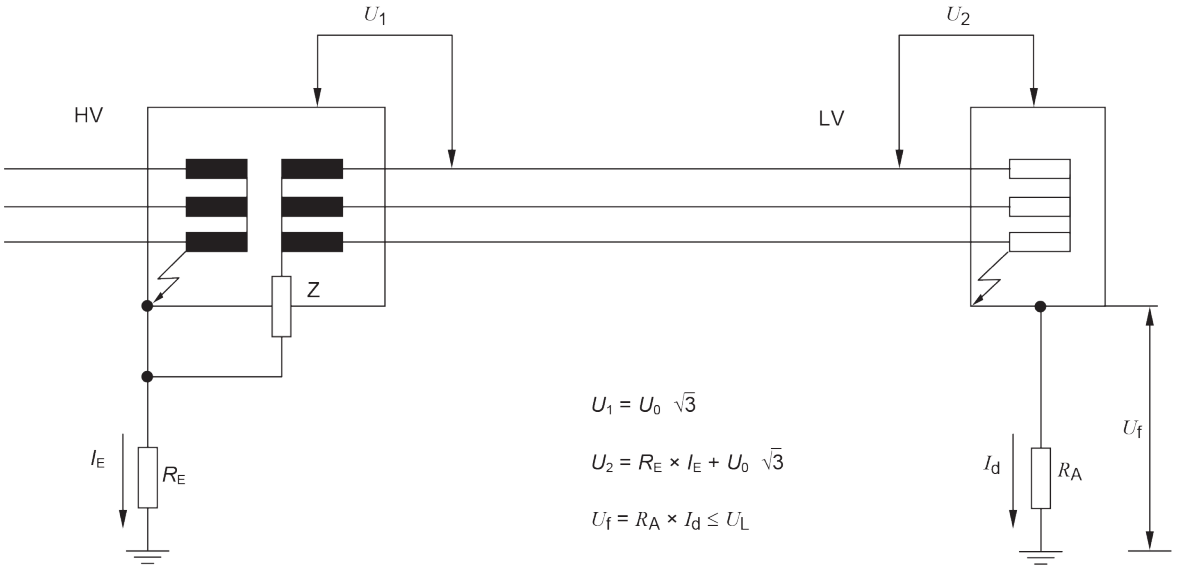
2. A first fault exists in the LV system

IEC

Figure E.5 – IT system, example a (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44D)



1. No fault exists in the LV system



2. A first fault exists in the LV system

IEC

Figure E.6 – IT system, example b (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44F)

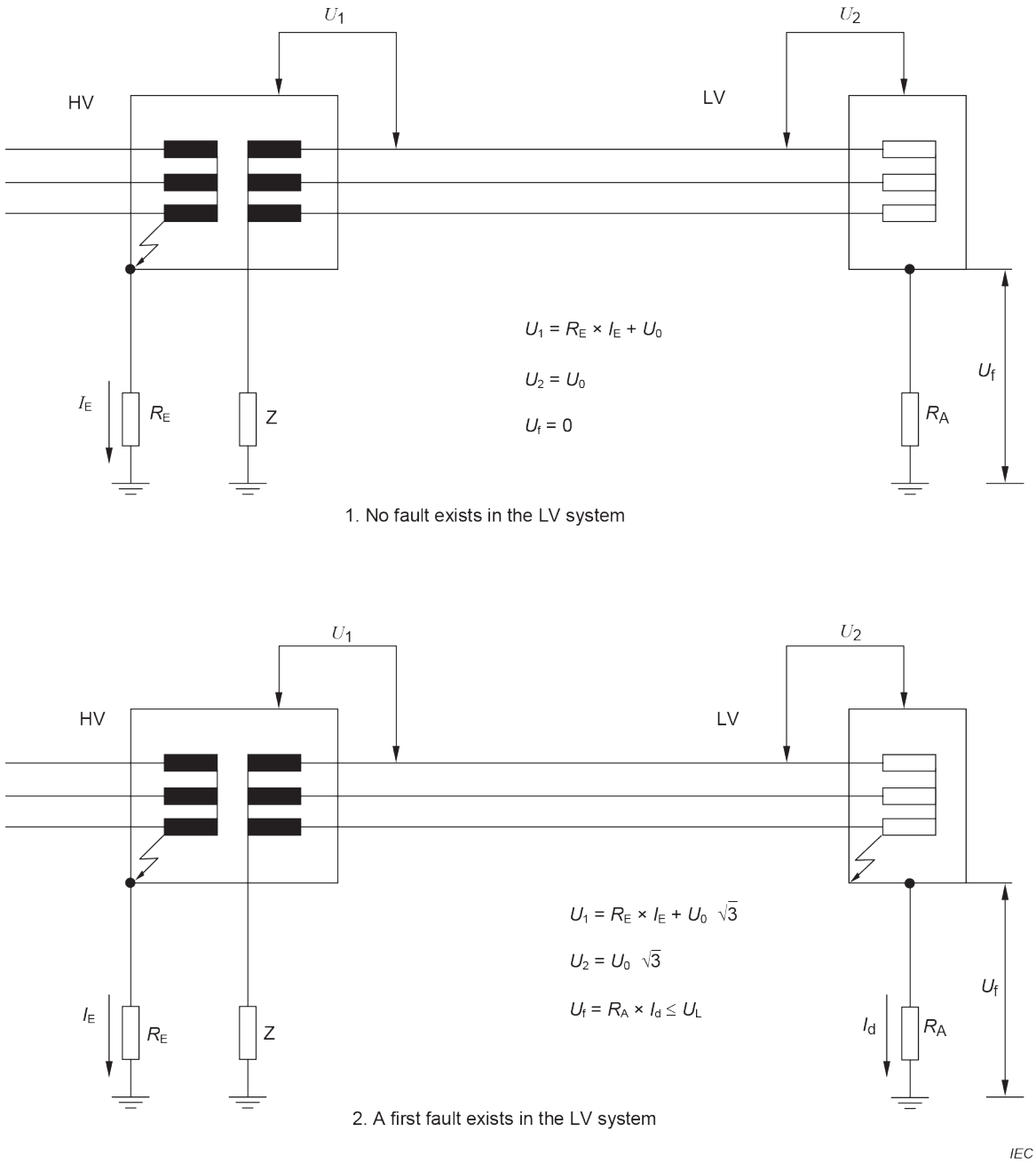


Figure E.7 – IT system, example c1 (IEC 60364-4-44:2007, Figure 44E)

E.7 Values of the temporary overvoltages for the US TN C system

Shown in Figure E.8 is an example of fault current sharing for a fault on the high-voltage side of a distribution transformer. In this example, it is assumed that the earthing resistance of both the transformer and the service entrance is 15 Ω.

$U_1 = U_0$ where U_0 is the maximum operating voltage of the secondary service.

Z_L is the impedance of the line conductors between the transformer and the service panel.

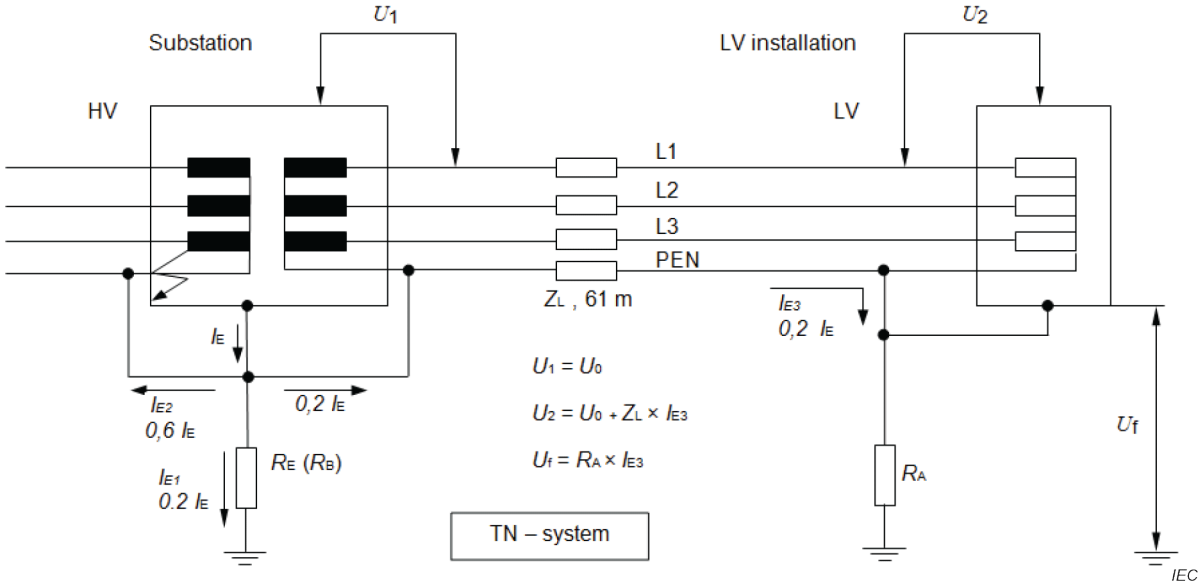


Figure E.8 – Temporary overvoltage resulting from a fault in the primary (4 wires MV-system – direct earthing) of the distribution transformer in a TN-system according to North American practice

For the purpose of this example, a typical case has been taken to be representative of a North American 23 kV/13,2 kV Y distribution circuit having a maximum fault current (I_E) of 10 kA. The impedance (Z_L) of 0,041 Ω is typical for triplex secondary conductors which would be used with a three-phase installation of 3 kVA to 25 kVA single-phase overhead distribution transformers. A distance of approximately 60 m of 4/0 AWG (equivalent value according to IEC 60999-1 is 25 mm^2) copper was used for the calculation. The assumption of the division of the fault current is based upon calculations and field measurement during staged fault conditions of faults on a multi-grounded distribution circuit.

For this example U_0 = 132 V

$U_1 = U_0$ = 132 V

$U_2 = U_0 + 0{,}2 \times I_E \times Z_L = 132 + 0{,}2 \times 10\,000 \times 0{,}04 = 214$ V

Although this shows an overvoltage of 1,78 times the nominal system voltage (1,78 p.u.), if the assumption is made that $R_E >> R_A$ it can be shown, for the same fault condition described, a value of U_2 = 294 V or 2,45 times the nominal system voltage (2,45 p.u.) could be obtained. This temporary overvoltage (TOV) would last until the fault is cleared either by a fuse or the opening of an upstream circuit-breaker or reclosers. The operation of these devices would vary from 0,016 s to 1,5 s depending upon the fault isolating device characteristic. Shorter lengths of service conductors and lower fault currents would result in less severe conditions.

Although this example demonstrates that a primary fault can result in a TOV as great as 2,45 per unit of the nominal system voltage, it is an extremely rare condition. It is very uncommon for distribution circuits to have actual fault currents of 10 kA. The bulk of the fault currents on distribution circuits is less than 4 kA. Thus, the TOV would be greatly reduced. Long secondary services are an unusual condition. Shorter service lengths would result in lower overvoltages. In general, secondaries do not exceed 30 m. Therefore, if the fault current was 4 kA and the secondary less than 30 m the TOV would be approximately 1,24 per unit of the nominal system voltage or 148,4 V.

E.8 Values of temporary overvoltages used in IEC 61643-11 with explanations

E.8.1 General

The test procedure depends on the intended application of an SPD in a low-voltage power distribution system according to the installation instructions given by the manufacturer.

For systems defined in the IEC 60364 series, the maximum system voltages considering voltage regulation are provided in Table E.4 and the resulting TOVs values are given in Table E.3.

Table E.3 gives worst case test values for SPD location on the consumer side of an LV-system according to IEC 60364. No HV-TOV test is required in IT LV-systems where the earthing configuration between HV- and LV-consumer side is interconnected. For such interconnected IT-systems, additional information is given in Clause E.6.

Table E.3 – TOV test values for systems complying with IEC 60364 series

Application	TOV test parameters		
SPDs connected to:	For t_T = 5 s (LV-system faults in consumer installation)	For t_T = 120 min (LV-system faults in distribution system and loss of neutral°	For t_T = 200 ms (HV-system faults)
	Withstand mode required	Withstand or safe end of life behaviouracceptable	Withstand or safe end of life behaviour acceptable
	TOV test values U_T (V)		
TN-systems			
Connected L-(PE)N or L-N	1,32 × U_{REF}	√3 × U_{REF}	
Connected N-PE			
Connected L-L			
TT-systems			
Connected L-PE	√3 × U_{REF}	1,32 × U_{REF}	1 200 + U_{REF}
Connected L-N	1,32 × U_{REF}	√3 × U_{REF}	
Connected N-PE			1 200
Connected L-L			
IT-systems			
Connected L-PE			1 200 + U_{REF}
Connected L-N	1,32 × U_{REF}	√3 × U_{REF}	
Connected N-PE			1 200 + U_{REF}
Connected L-L			

U_{REF} reference test voltage used for testing and taking into account the maximum voltage regulation of the power system (see Annex A).

U_o in TN- and TT-systems: nominal AC RMS line voltage to earth; in IT-systems: nominal AC voltage between line conductor and neutral conductor or midpoint conductor, as appropriate (see 442.1.2 of IEC 60364-4-44).

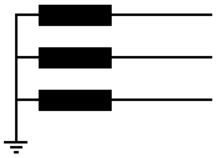
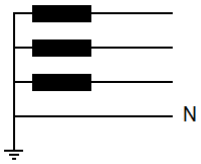
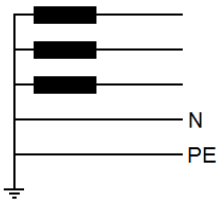
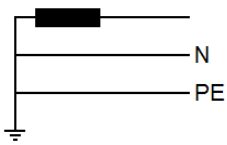
1,32 × U_{REF} equals 1,45 × U_o in case the voltage regulation does not exceed +10 % (see 442.5 of IEC 60364-4-44).

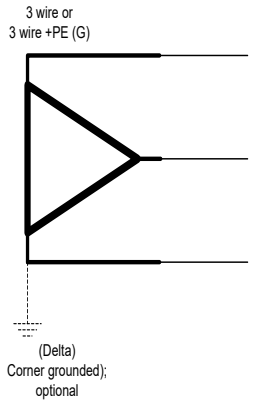
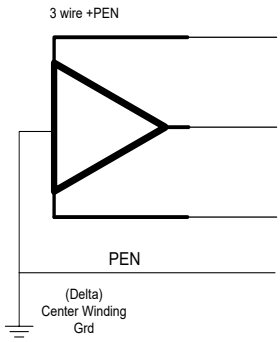
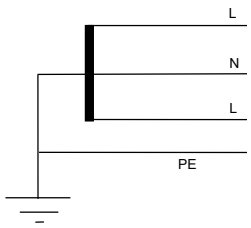
NOTE As voltage regulation exceeds 10 % in some countries, only U_{REF} is used in this document for general applicability. Further information on voltage regulation can be found in IEC 60038.

Values of Table E.3 apply for all SPDs which shall be tested and declared as requested by IEC 61643-11. For specific applications with conditions different than the ones given in Table E.1 and different from the special distribution system requirements given below, additional TOV test values U_T and the testing duration may be defined by agreement between the manufacturer and the user, depending on actual network configurations and conditions. These values of U_T and the corresponding duration(s) shall be declared on the SPDs data sheet in addition to the values requested Table E.3.

Some countries require additional TOV test values and testing durations as given below, see E.8.1 and E.8.2.

Table E.4 – Reference test voltage values for systems complying with IEC 60364 series

Power distribution system		Nominal AC system voltage L-PE / L-L V	Expected voltage regulation of the power distribution system max +(%)	Reference test voltage U_{REF} (depending on the mode of protection) V			
				L – N (PEN	L – PE	L – L	N – PE
Three phase TT-system Without PE and Neutral distribution	3 wire 	230 / 400	10	---	255	440	---
Three phase TT-system With Neutral distribution	4 wire 	230 / 400	10	255	255	440	255
Three phase TN-C system with PEN distribution	4 wire 	230 / 400	10	255	255	440	---
Three phase TN-S-system with PE and neutral distribution	5 wire 	230 / 400	10	255	255	440	255
		240 / 415	6	255	255	440	255
		120 / 208	10	132	132	230	132 [a]
		277 / 480	10	305	305	530	305 [a]
Three phase IT-system with neutral distribution	4 wire 	230 / 400	10	255	440	440	255
Three phase IT-system without neutral distribution	3 wire 	230	10	---	255	255	---
Single phase TN-S-system	3 wire 	230	10	255	255	---	255
		120		132	132		132

Power distribution system		Nominal AC system voltage L-PE / L-L V	Expected voltage regulation of the power distribution system max +(%)	Reference test voltage U_{REF} (depending on the mode of protection) V			
				L – N (PEN	L – PE	L – L	N – PE
Three phase (Delta) Corner grounded TN system or TT or IT system		230	10	---	264	264	---
		200 (202)			222	222	
		460		---	528	528	---
Three phase (Delta) Center-tap grounded TN system or TT system		230	10	132	264	264	---
		200 (202)		---	129 192	222	
		460		---	528	528	---
Split phase TN system		120 / 240	10	132	132	264	132

NOTE If higher voltage regulation is required for certain applications (for example +15%), subject to a special agreement between the manufacturer and the user.

[a] These values are corrected from IEC 61643-11:2011, Table A.1 (editorial correction)

E.8.2 Values of temporary overvoltages for US systems

For US systems values of the network are given in Table E.5 according to IEEE 1159.

Table E.5 – TOV parameters for US systems

Clause # and Category of Table 2 of IEEE 1159-2009	Typical max duration (s)	Typical max RMS-voltage (V)	Typical peak voltage (V)	SPD TOV Withstand - +5%
2.0 Short duration variation – 2.1 Instantaneous- 2.1.2 Swell	0,5	1,8*U_0	2,55*U_0	1,89
2.0 Short duration variation-2.2 Momentary-2.2.2 Swell	3,0	1,4*U_0	1,98*U_0	1,47
2.0 Short duration variation-2.3 Tempory-2.3.3 Swell	60,0	1,2*U_0	1,70*U_0	1,26

In Figure E.9, per unit (p.u.) is a multiplication factor of U_0. It shows the US TOVs in a different format than Table E.5.

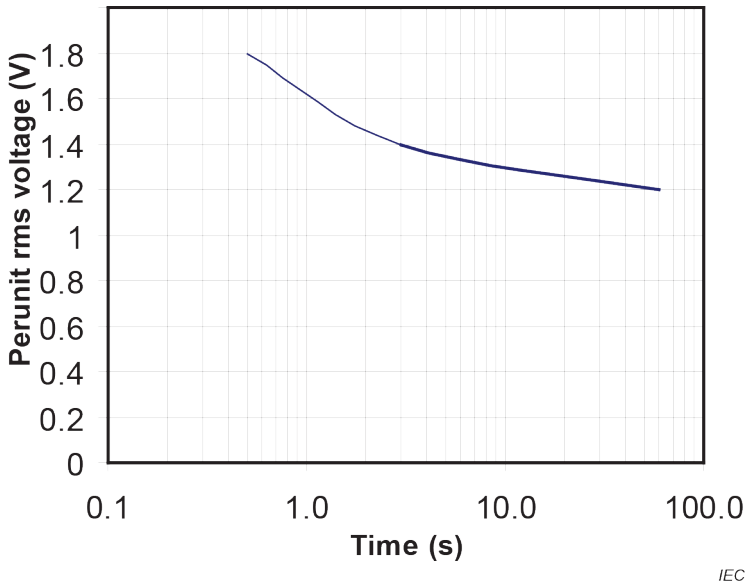


Figure E.9 – Typical TOV max p.u. RMS-voltages (V) Table 2, IEEE 1159-2009

However, for testing SPDs in the US, UL 1449 request more than the values above as indicated in Table E.6.

NOTE In North America UL 1449 applies for TOV SPD testing.

Table E.6 – UL TOV values used to test SPDs in US systems

Nominal voltage rating	Phase	Test voltage[a]
0 – 109V	Single	Twice Rated Voltage
110 – 219V	Single	240
220 – 229V	Single	380
230 – 239V	Single	400
240 – 345V	Single	480
346 – 399V	Single	600
400 – 499V	Single	690
500 – 1000V	Single	Twice Rated Voltage Up to Max 1000V
110 – 120/220 – 240V	Split	240
120/208V	3-WYE	208
220/380V	3-WYE	380
230/400V	3-WYE	400
220 – 240/380 – 415V	3-WYE	415
240/415V	3-WYE	415
254 – 277/440 – 480V	3-WYE	480
346/600V	3-WYE	600
400/690V	3-WYE	690
120/240V	High leg delta	240
240/480V	High leg delta	480
240V	Delta	c
480V	Delta	c
600V	Delta	b

[a] For device ratings not specified in this table, the test voltage shall be the maximum phase voltage (if available) or twice the conductor pair voltage rating up to 1000Vmax.

[b] Abnormal Overvoltage Tests are not required to be conducted on 600V delta rated units, but short circuit testing shall be performed.

[c] The Short Circuit and Intermediate Current tests are performed at the full phase voltage.

E.8.3 Values of temporary overvoltages for Japanese systems

Japanese systems nominal voltage and reference test voltage are given in Table E.7.

Japanese systems TOV test parameters are given in Table E.8.

Table E.7 – Nominal voltage and reference test voltage for Japanese system

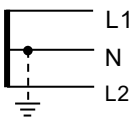
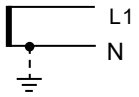
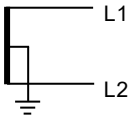
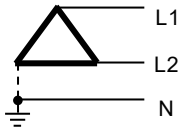
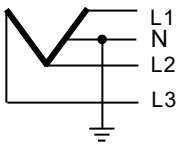
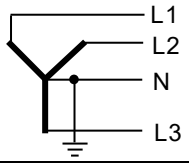
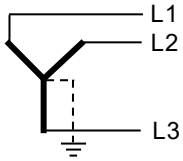
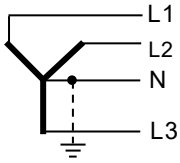
Power distribution system			Nominal voltage [V]		Reference test voltage U_{REF} [V]			
					L – N	L – PE	L – L	N – PE
Single phase center-tap grounded 100 / 200 V TT-system (IT-system)			L1-N L2-N	100	110	110	220	110
			L1-L2	200				
Single phase 100 V TT-system (IT-system)			100		110	110	–	110
Single phase 200 V TT-system (IT-system)			200		220	220	–	220
Single phase center-tap grounded 200 V TT-system			200		–	110	220	–
Three phase (Delta) corner grounded 200 V TT-system (IT-system)			200		220	220	220	220
Share single phase and three phase center-tap grounded TT-system	Single phase L1, N, L2		L1-N L2-N	100	110	110	220	110
			L1-L2	200				
	Three phase L1, L2 ,L3		200		–	110 (L1) 110 (L2) 191 (L3)	220	191
Three phase with neutral 100 / 173 V TT-system			L1-N L2-N L3-N	100	110	110	191	110
Three phase without neutral distribution 400 V TT-system (IT-system)			400		–	255	440	–
Three phase with neutral distribution 230 / 400 V TT-system (IT-system)			400		255	255	440	255

Table E.8 – TOV test parameters for Japanese system

Application	TOV test parameters			
SPDs connected to:	For t_T = 120 min (LV-system faults in distribution system and loss of neutral)		For t_T = 1 s (HV-system faults)	
	Withstand or safe end of life acceptable		Withstand or safe end of life acceptable	
	TOV test values U_T V	**Prospective short-circuit current A**	**TOV test values U_T V**	**Prospective short-circuit current A**
Nominal AC system voltage 100V				
Connected L-PE	330	20	710	30
Connected L-N	330	20		
Connected N-PE			600	30
Connected L-L				
Nominal AC system voltage 200V				
Connected L-PE	330	20	820	30
Connected L-N	330	20		
Connected N-PE			600	30
Connected L-L				
Nominal AC system voltage 400V				
Connected L-PE	440	20	855	300
Connected L-N	440	20		
Connected N-PE			600	300
Connected L-L				
NOTE These values are required by ministerial ordinance of technical standards for electrical facilities.				

TOV voltage U_T by faults in the low-voltage system in Japan are as follows.

Figure E.11 shows particular TOV voltage values by faults in the low-voltage system in Japan. There are many cases to share the ground of the single phase center-tap grounded 100 / 200 V system and three phase (Delta) corner grounded 200 V system in Japan. In this case, for example, when one line of the three phase (Delta) corner grounded 200 V system is earth fault (earth fault point (d) of Figure E.10), the voltage between one line of the single phase center-tap grounded 100 / 200 V system (t of Figure E.10) and PE is 300 V AC. In a similar way, when one line of the single phase center-tap grounded 100 / 200 V system is earth fault (earth fault point (a) of Figure E.10), the voltage between one line of the three phase (Delta) corner grounded 200 V system (u of Figure E.10) and PE is 300 V AC. The TOV voltage 330V at the nominal voltage 100 V, 200 V in Table E.7 is the value obtained by adding expected voltage regulation of the power distribution system max 10 % to 300 V in Table E.8.

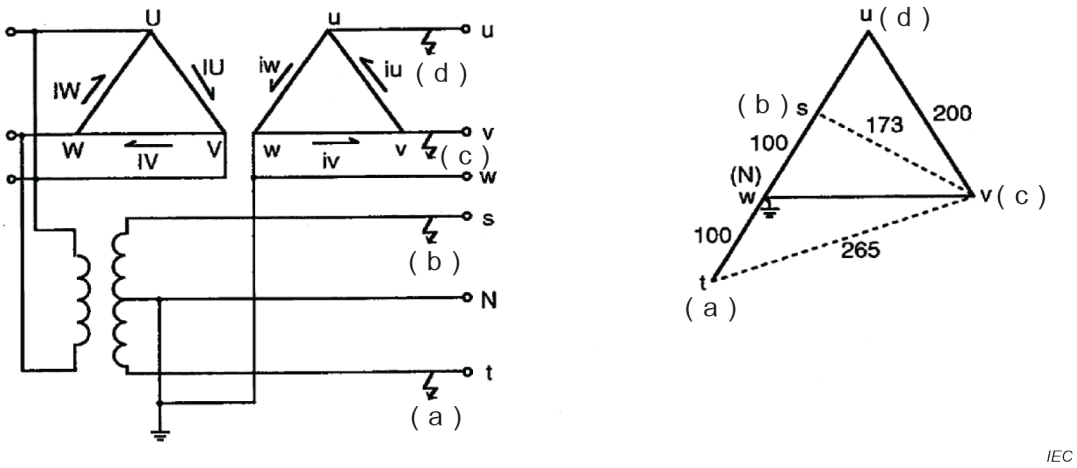


Figure E.10 – Example of share the ground of the single phase center-tap grounded 100 / 200 V system and three phase (Delta) corner grounded 200 V system

Table E.9 – The maximum value of TOV voltage at the difference earth fault points

Earth fault point	Three phase (Delta) corner grounded 200 V			Single phase center-tap grounded 100 / 200 V	
	u	v	w	s	t
(a)	300 V	265 V	100 V	200 V	0 V
(b)	100 V	173 V	100 V	0 V	200 V
(c)	200 V	0 V	200 V	173 V	265 V
(d)	0 V	200 V	200 V	100 V	300 V

TOV by faults in the high-voltage system occurs due to earth fault and power system fault (a fault between the high-voltage system and low-voltage system) in Japan. In this case the current caused by TOV (earth fault current or power system fault current) are as follows.

All 100 V AC and 200 V AC power distribution system is supplied from 6,6 kV high-voltage ungrounded system in Japan. Therefor current caused by TOV at faults in the high-voltage system is flows through the capacitance between 6,6 kV high-voltage line and ground. Then current caused by TOV at faults in the high-voltage system is up to 30A in Japanese 100 V AC and 200 V AC power distribution system.

90 % of 400 V AC power distribution system is supplied from 6,6 kV high-voltage ungrounded system in Japan. But 10 % of 400 V AC power distribution system is supplied from the voltage exceeds 6,6 kV high-voltage grounded system. This is equal to the European (IEC) system. Therefor current caused by TOV at faults in the high-voltage system is 300 A (This is equal to IEC 61643-11:2011, 8.3.8.2) in Japanese 400 V AC power distribution system.

Figure E.11 shows typical power distribution networks of single phase center-tap grounded 100 / 200 V system in Japan.

Figure E.12 shows typical power system configuration in Japan.

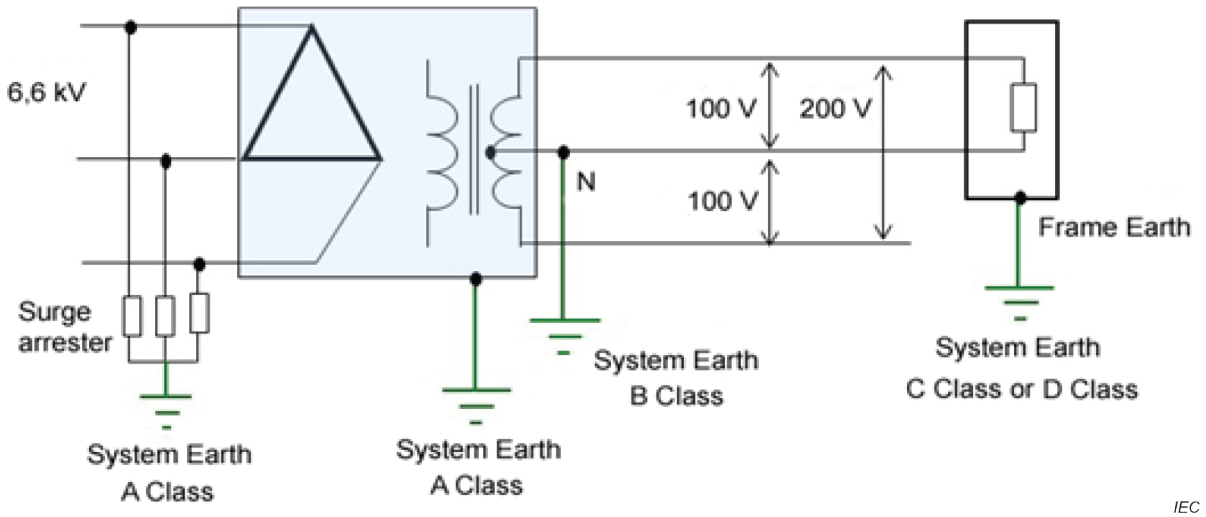


Figure E.11 – Typical power distribution networks of single phase center-tap grounded 100 / 200 V system in Japan

There are 4 types of class for earth electrodes accordance with Japanese regulations which are shown in Table E.10.

Table E.10 – Earth electrode class and maximum value of earth resistance

Class	Maximum value of earth resistance (Ω)	Reference
A	10	Equipment of high-voltage application
B	150 / *I*	To protect against earth fault and power system fault
C	10	Application for equipment to be used over 300 V AC
D	100	Application for equipment to be used 300 V AC or less

The maximum value of earth resistance of B class system earth (R) shall be determined to be calculated by the following formula in Japanese regulations which is shown in Table E.10.

$$R = 150 / I$$

If the voltage potential of B class earth electrode increases more than 150 V, then the vacuum circuit-breaker shall be interrupted within the time-current characteristic shown in Figure E.13.

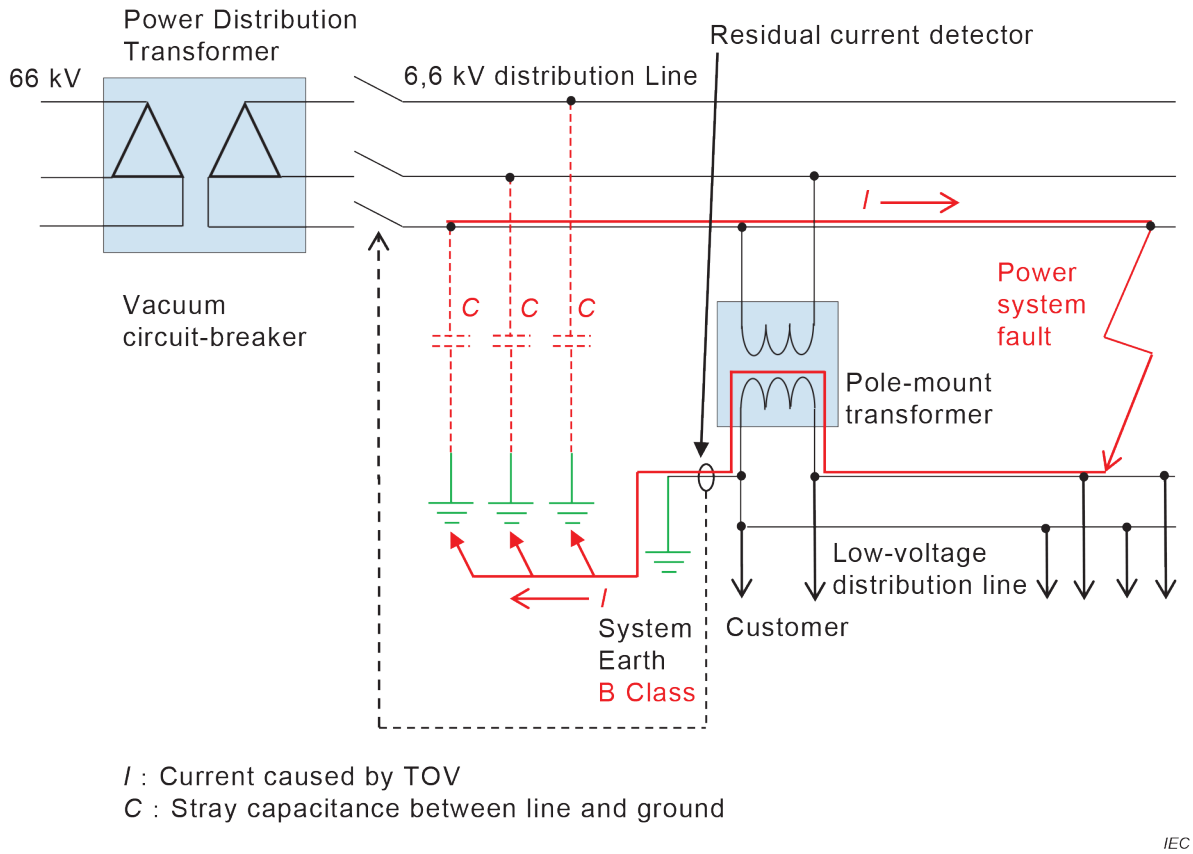


Figure E.12 – Typical power system configuration in Japan

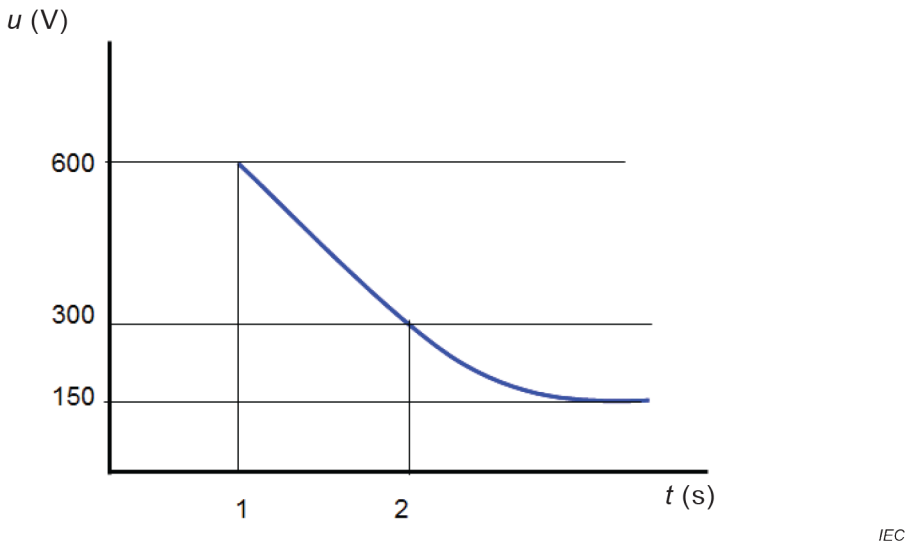


Figure E.13 – TOV characteristic by faults in the high-voltage system in Japan

Annex F
(informative)

Coordination rules and principles

F.1 General

As described in 7.2.7, coordination between SPDs is made to achieve both energy and voltage protection level coordination.

F.2 Energy coordination

F.2.1 General

Energy coordination is based on the maximum energy withstand of the second SPD. However, this energy is sometimes dependent upon the waveshape and the tests, as described in IEC 61643-11. Coordination is in most cases performed with only one waveshape (for example 8/20 for class II tests). For this reason, it is better and easier to get this value E_{max} directly from the manufacturer (most of the time it is printed in the technical documentation).

Two values are necessary to define satisfactorily the energy withstand of an SPD:

– $E_{max\ S}$ for short-duration current waveshapes, for example, 8/20 (class II tests);
– $E_{max\ L}$ for long-duration current waveshapes, for example,10/350 (class I tests)

These two values $E_{max\ S}$ and $E_{max\ L}$ may be equal for some technologies.

The SPD is then characterized by two currents I_n for short waves (as used for class II tests) and I_{imp} for long waves (as used for class I tests), associated with the energy withstand $E_{max\ S}$ and $E_{max\ L}$. A simple SPD may then be tested according to class I test and class II test.

If I_{max} is declared by the manufacturer this value has to be considered for $E_{max\ S}$.

It is necessary to co-ordinate SPDs 1 and 2 using their maximum energy withstand E_{max} for the relevant surge waveshapes. That means that it is necessary to deal with two cases:

- coordination with long-duration waveshapes;
- coordination with short-duration waveshapes.

In general, coordination is easier to achieve with short waveshapes.

For switching SPDs, it is necessary to deal also with a long front time. This matter is under consideration by the IEC.

F.2.2 Analytical studies: simple case of the coordination of two metal oxide varistors (MOV) based SPDs

F.2.2.1 General

The following considerations apply only to one-port limiting SPD tested to class I and II where the curve U_{res} (I) is known. These curves are measured using an 8/20 waveshape and are given by the manufacturer in the SPD technical documentation. Class III and two-port SPDs need special attention (under consideration).

The example given below is to help in the understanding of the coordination issue. It deals firstly with the case of the SPDs 1 and 2 being made of Metal oxide varistors (MOV) where an analytical study is possible. It should be noted that such an analytical study is based only on current sharing. To make sure that the energy criterion is fulfilled, additional calculations, which are in general rather difficult to make, may be needed.

- If the two varistors have the same diameter (and so have the same nominal discharge current I_n and the same energy withstand: same I_{max} if declared and same I_{imp}) but have different voltage protection levels U_{p1} and U_{p2} (different thicknesses), we have then the following equations:

  $I_{n1} = I_{n2}$

  $I_{max1} = I_{max2}$ (if declared)

  $I_{imp1} = I_{imp2}$

Then the possible curves $U_{res}(I)$ are illustrated in Figure F.1.

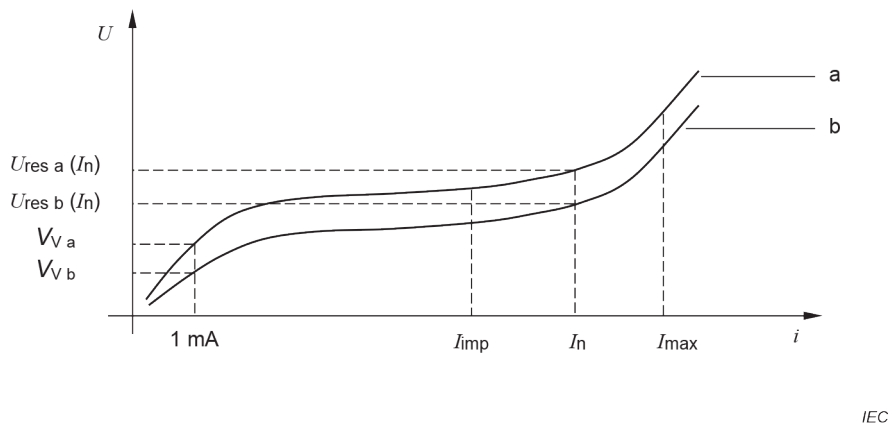


Figure F.1 – Two Metal oxide varistors (MOV) with the same nominal discharge current

If $U_{p1} > U_{p2}$: in this case, curve a) corresponds to SPD 1 and b) to SPD 2.

This coordination will be in general acceptable with short waveshapes if l > a few meters (typically between 5 m and 10 m).

With long waveshapes the decoupling effect is reduced; therefore SPD 2 may have to withstand the total incoming surge i. SPD 2 is able to withstand the total stress as it has the same design as SPD 1.

If $U_{p1} < U_{p2}$: in this case, curve a corresponds to SPD 2 and b to SPD 1 and so most of the current will flow through SPD 1. In this case the current flowing through the second SPD will be less than the impinging current.

The energy criterion is fulfilled in both cases as both SPDs have the same current-carrying capability.

This first case was discussed in order to explain the coordination mechanism as there is little to be gained by having two SPDs with the same energy withstand capability.

- If the two varistors have different nominal discharge current

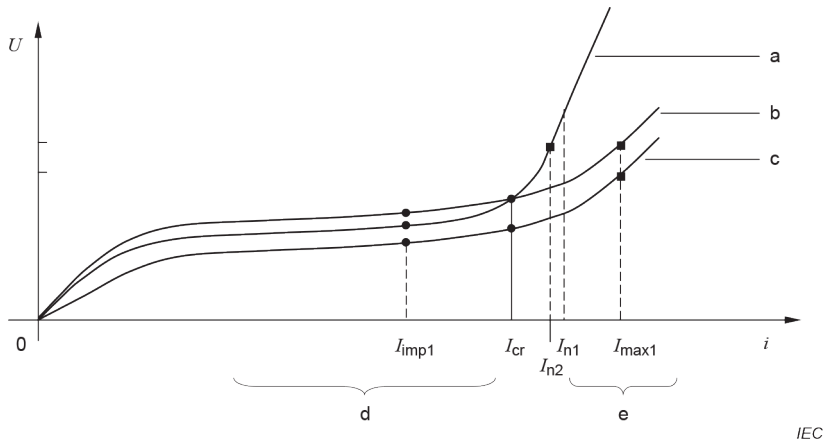
For this application a practical case is: $I_{n1} > I_{n2}$ and $E_{max1} > E_{max2}$. In addition, SPD 1 and SPD 2 can have characteristics such as U_{res1} (I_{n1}) < U_{res2} (I_{n1}). Then the U_{res} (I) curves are illustrated in Figure F.2. No impedance is present in this figure as it is not easy to take care of it in an analytical study. In this case, it can be seen from Figure F.2 that with a short waveshape the coordination will be good as most of the current will flow through the first SPD. But with long waveshapes the coordination could be difficult to determine. The coordination, with a long waveshape and a magnitude of the incoming current lower than the current at the crossing point (see Figure F.2) of the two curves, may not be achieved. A greater part of the incoming current flows through SPD2 as the U_{res2} curve is lower than U_{res1} at this level of current. An inductance therefore becomes necessary between the two SPDs.

Consequently, it is necessary to compare the curves U_{res} (i) with I from 0,1 × I_{n2} up to I_{n1} or I_{max1} (if declared) to check if they cross each other, instead of just comparing U_{res1} (I_{n1}) and U_{res2} (I_{n2}) (U_{p1} and U_{p2} respectively) which are given in the manufacturer's technical documentation. The current value at this crossing point I_{cr} (if any), needs to be as low as possible.

In this case, the energy criterion has a high probability of being fulfilled, the lower I_{cr} the higher the probability of success. If there is any doubt, the calculation of the energy through the second SPD is necessary, taking note of the impedance between the SPDs and of the long waveshapes. Such a calculation is not easy to perform analytically.

If it is not possible to get these curves because of a lack of information or because a simple and quick result is needed then it is necessary to compare the curves U_{res1} and U_{res2} at the same level. In such a case, the condition for an easy and good coordination is U_{res1} (I_{n2}) < U_{res2} (I_{n2}). The conservative curves (illustrated in Figure F.2) meet the case but, of course, with such a varistor there will perhaps be an unnecessary margin. In addition, this varistor may have a problem to withstand stresses coming from the network as a temporary overvoltage.

In this case, even if the current in the second SPD is low, the energy criterion may not be fulfilled for long-duration surges. Additional calculation of the energy through the second SPD may be necessary. In addition, it is necessary to check that the protection of the equipment is still obtained (as a low current in SPD2 may lead to a high voltage due to the non-linearity of the varistor).



Key

a Curve corresponding to SPD2

b Curve corresponding to SPD1 (curve crossing curve for SPD2)

c Conservative curve corresponding to SPD1 (curve not crossing curve of SPD2)

d Surge current range for long-duration waves

e Surge current range for short-duration waves

Figure F.2 – Two Metal oxide varistors (MOV) with different nominal discharge currents

F.2.2.2 Conclusion

In every case where two Metal oxide varistors (MOV) need to be coordinated, the following five-step procedure should be used.

a) Identify the overvoltages expected to occur in the absence of any SPD and make a distinction between long waveshapes and short waveshapes.

b) Choose SPD1 in order to be able to withstand this stress. If it is not possible to get information at step a), use a sufficiently dimensioned SPD (see risk analysis) and obtain from the manufacturers the values I_{n1}, I_{max1} (if declared) and I_{imp1}. Then consider these values alongside the data given by a).

c) Select SPD2 according to its desired protective characteristics.

d) Compare the curves $U_{res}(I)$ with I from 0,1 × I_{n2} up to I_{n1} or I_{max1} (if declared). Then determine the crossing point I_{cr}. If this current I_{cr} is low enough (typically 0,1 × I_{n2}) then it is not necessary to calculate the energy in the second SPD. The energy criterion will be fulfilled whatever the distance between the SPDs. If there is any doubt, calculate the energy through the second SPD taking into consideration the impedance between the SPDs and check the energy criterion. If such curves are not available then choose SPD 2 with the following simplified requirements.

   If SPD2 has the same nominal discharge current: U_{res1} (I_n) < U_{res2} (I_n).

   If SPD2 has a smaller nominal discharge current: U_{res1} (I_{n2}) < U_{res2} (I_{n2}).

   It would then be wise to calculate the energy in SPD2 to check the energy criterion and to check that the protection is still obtained.

e) Repeat until step c) gives a satisfactory result.

NOTE 1 The values of voltage at very low current (in most cases called reference voltage) are not applicable for coordination.

NOTE 2 In any case (with or without Metal oxide varistors (MOV)) EMC (electromagnetic compatibility) considerations require that the current flowing through SPD2 be as low as possible.

NOTE 3 The curves $U_{res}(I)$ are maximum values. It takes into consideration the variation in characteristics due to manufacturing tolerances.

NOTE 4 The previous studies can be generalized to more than two SPDs.

F.2.3 Analytical study: case of coordination between a gap-based SPD and a Metal oxide varistors (MOV) based SPD

F.2.3.1 General

Another commonly used case is the use of a gap as SPD1 with a Metal oxide varistors (MOV) as SPD2. See Figure F.3. In this case the coordination is achieved when a sparkover occurs before SPD2 is overstressed.

Before this sparkover, we have

$$U_1 = U_{res2}(i) + L \times \mathrm{d}i/\mathrm{d}t$$

As this value $U_{res2}(i)$ is not known in general, the following formula is used which gives a conservative result:

$$U_1 = V_{V2}(i) + L \times \mathrm{d}i/\mathrm{d}t$$

where V_{V2} is the reference voltage of the metal oxide varistors (MOV) number 2. This reference voltage is a parameter characterizing the varistor and which is very close to the knee point of the U versus i characteristic.

As soon as U_1 exceeds the dynamic sparkover voltage of the gap (named U_{dyn} in this annex), coordination is achieved, and just a small part of the current flows through the second SPD. Coordination depends on the characteristics of the Metal oxide varistors (MOV) (SPD2), the dynamic sparkover voltage of the gap (SPD 1), the rate-of-rise and magnitude of the incoming surge, i, and the separation distance, d, between the SPDs (the inductance, L, part of the impedance Z is used as R is assumed to be negligible in this case).

F.2.3.2 Example of the calculation of the estimated values required for a decoupling inductance between a gap and a varistor

The limitation of physical space within, for example, a modern cellular radio base station is such that a downstream MOV-based SPD may limit transients at a voltage level well below the trigger voltage of an upstream gap-based SPD. This will prevent operation of the gap and allow all the incident energy to reach the MOV-based SPD. In a larger space, the cabling distance between SPDs will be longer, and hence may provide sufficient inductance to spark gap operation.

There always remains the possibility that the incident transient has been dispersed through parallel paths to the degree that there will be insufficient voltage to trigger the gap. In this case the downstream SPD shall have a sufficient rating to absorb the total energy on its own.

At higher energy levels, non-operation of the spark gap will allow excess energy to reach the downstream SPD and cause its destruction. Coordination is achieved by ensuring that there is sufficient series decoupling impedance to ensure gap operation at all energy levels above the limit of the downstream SPD.

The value of inductance required to ensure coordination can be calculated simply. First, the parameters of the gap need to be known. Spark gaps will typically trigger below 4 kV and within 200 ns.

Second, the downstream SPD parameters should be known. A typical unit rated 275 V AC with the varistor voltage 1 mA of 430 V +/-10% would start limiting at approximately 800 V. It might have an I_n of 10 to 20 kA based on class II testing using 8/20 waveshape.

However, it must be remembered that the gap is rated for class I testing assuming a 10 µs to 350 µs or equivalent long tail impulse. The peak current of the downstream SPD must be derated to cater to the additional energy of this class of impulse. The derating factor is assumed to be 10:1. Therefore, the peak current rating (10/350 µs wave) decreases for example from 12,5 kA to 1,25 kA. A 10 µs rise time produces a di/dt of 125 A/µs.

The required inductance to ensure reliable operation of the gap can now be calculated from the equation:

$$U = L \times \mathrm{d}i/\mathrm{d}t + I \times R$$

where

U is the spark gap trigger voltage;

$\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ is the rate of rise of the incident impulse;

$I \times R$ is the voltage drop across the downstream SPD (note that R is a non-linear value).

In the case $$L = \frac{U - I \times R}{\mathrm{d}i/\mathrm{d}t}$$

Assuming the gap will trigger within 200 ns the current flowing into the downstream SPD will be

$$I = 0{,}2/10 \times 1\,250\ \mathrm{A} = 25\ \mathrm{A}$$

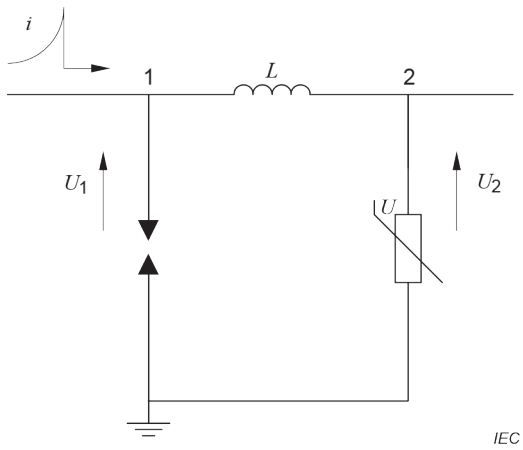
The voltage $I \times R$ would be in the order of 600 V

Therefore

$$L = \frac{4\,000 - 600}{125 \times 10^6}$$

or $$L = 27{,}2\ \mu\mathrm{H}$$

This inductance may be a single lumped value, a 27,2 m length of power cable assuming an inductance of 1 µH per metre length, or it may be a combination of a length of cable and an inductor of lower value.



Key

L Inductance

Figure F.3 – Example of coordination of a gap-based SPD and a Metal oxide varistors (MOV) based SPD

Using this example, general conditions can be obtained to design this kind of coordination.

F.2.3.3 Conclusion

When the gapped SPD 1 has been chosen, it is necessary to select the SPD 2 by fulfilling the requirement:

– for an incoming surge corresponding to a class I test wave:

$$U_{dyn} < V_{V2} + L \times I_{imp2}/10$$

– for an incoming surge corresponding to a class II test wave:

$$U_{dyn} < V_{V2} + L \times I_{n2}/8 \text{ (or } I_{max2} \text{ if declared)}$$

These rules give a conservative result. When a smaller value of L is unavoidable, a computer simulation is needed to determine if coordination is achieved.

NOTE Other cases can give more severe results, especially using longer wavefronts which are under consideration. IEC TC81 is presently studying a longer front time: 100 µs.

F.2.4 Analytical study: general coordination of two SPDs

The study of the case of two varistors or of the gap-Metal oxide varistors (MOV) scheme clearly shows the complexity of the problem of coordination. Allowing for the fact that the curves u versus i are rarely known and that in reality it is necessary to deal with wide tolerances, it is clear that analytical studies are just dedicated to simple cases. As soon as the energy through the second SPD needs to be calculated, it is easier to perform a simulation. The main interest of such an analytical method is to allow the user to better understand what the phenomena are.

Whatever the SPD technology, the general rules given above and especially the energy criterion are still applicable.

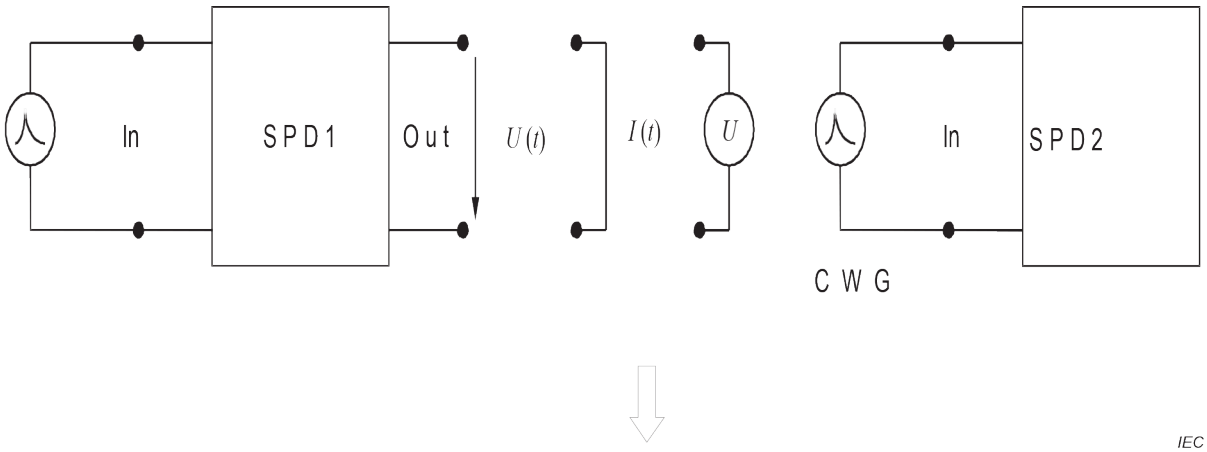
To achieve an acceptable coordination in most cases requires simulations or tests to be performed by the manufacturer or by the user or use of the simplified method presented below.

It is possible that SPDs of unknown characteristic may be internally located in equipment. Since equipment may be changed during the life of the installation, care should be exercised to ensure that the equipment SPD is not overstressed due to the lack of coordination.

F.2.5 Let-through energy (LTE) method

F.2.5.1 General

The energy coordination with standard impulse parameters, as described in IEC 62305-4, is a procedure to select and co-ordinate SPDs. The main advantage of this method is the possibility of considering an SPD like a black box (see Figure F.4). Here, for a given surge at the input port not only the open-circuit voltage, but also an output current (for example, into a short circuit) is determined (principle of "let-through energy"). These output characteristics are converted into an equivalent "2 Ω-combination wave generator"-stress (open-circuit voltage 1,2/50, short-circuit current 8/20). The advantage is that there is no need for special knowledge of the internal design of the SPDs.



Conversion into a comparable standard impulse – 1,2/50, 8/20 with Z_i = 2 Ω.

IEC 373/02

U_{oc} SPD1/out ≤ U_{oc} SPD2/in

Key

U Load voltage

Figure F.4 – LTE – Coordination method with standard pulse parameters

The aim of this coordination method is to make the input values of SPD2 (for example, discharge current) comparable to the output values of an SPD1 (for example, voltage protection level).

With stepped protection, it shall be considered that the equivalent input hybrid impulse which can be discharged by the following SPD (without damage) is equal to, or higher than, the equivalent output hybrid impulse of the preceding SPD.

For reliable coordination, the equivalent hybrid impulse shall be determined for the worst case of the stressing (I_{max}, U_{max}, let-through energy).

The worst case for the design of the decoupling element is given by a short circuit. But for coordination purposes this is too strenuous. It is more realistic to include a "load side voltage" (called hereafter "counter voltage").

The SPD downstream of a spark gap usually consists of a Metal oxide varistors (MOV). The residual voltage of such an SPD is in any case higher than the peak value of the nominal power supply voltage (for example, in an AC system with a nominal voltage of 240 V the peak power voltage is $\sqrt{2} \times 240 = 340$ V, which is below the varistor voltage of the installed SPDs). This peak nominal power supply voltage corresponds to the lowest possible residual voltage of SPDs. Therefore, this peak voltage can be taken as the minimum possible counter voltage. Using the current in a short circuit instead of assuming a counter-voltage would result in an over-dimensioning of the decoupling element.

NOTE 1 This method provides good results when the characteristics of SPD 1 are so different from those of SPD 2 that the surge conditions on SPD 2 are quasi impressed current conditions, for example in case of the coordination between a spark gap and an MOV, this condition is fulfilled.

Restrictions on the use of the method are as follows:

– to be sure to get a conservative result, the decoupling element should be included in the method as a part of the second SPD;
– to be sure to get a conservative result, the "counter-voltage" proposed should be equal to 0 where the second SPD contains a switching component;
– when the second SPD contains a switching component there is a possibility that the result is underestimated due to this method not being truly realistic in modelling the switching component. In such case, care shall be used in the application of the method;
– the waveshape of the surge injected at the entrance of the installation should be considered as having a current waveshape and a voltage waveshape which are equal (10/350 or 8/20). The magnitude of the surge current i is in general known. The magnitude of a surge voltage U depends on the surge impedance of the system;
– the study should consider the tolerances on the SPD characteristics.

F.2.5.2 Method

The method described below in most cases gives a conservative value for the decoupling element (impedance) between the two SPDs. This means that, if such an impedance is installed between the two SPDs, the coordination will in most cases act better than predicted by the calculation.

The basis of this method is to represent the output of each SPD as an equivalent combination wave generator (CWG), defined by a no-load voltage U_{oc} 1,2/50 and a short-circuit current I_{sc} 8/20, the impedance of the generator being 2 Ω ($U_{oc} = 2 \times I_{sc}$).

SPDs tested according to class III tests are already tested by such a CWG. In the case of SPDs tested according to class II tests it is necessary to consider that $I_{sc} = I_n$ or I_{max} (if declared).

The SPD at the front may be tested according to class I tests in the case of direct lightning on the structure or according to class II tests.

The voltage at the output of each SPD will have in general a waveshape which is not directly connected to the waveshapes 1,2/50 and 8/20. It is then necessary to normalize the actual waveshapes in order to convert them in the 1,2/50 and 8/20 waves

This is done by calculating the following values:

$$\text{crest value of } u = \hat{u},\ \int u\,\mathrm{d}t \text{ and } \int u^2\,\mathrm{d}t$$

$$\text{crest value of } i = \hat{\imath},\ \int i\,\mathrm{d}t \text{ and } \int i^2\,\mathrm{d}t$$

NOTE The units used in the formulae and in the tables should be consistent.

These values are then used in Table F.1.

Table F.1 –

Voltage	$\hat{u}$	$\int u \, dt$	$\sqrt{\int u^2 \, dt}$
Current	$\hat{i}$	$\int i \, dt$	$\sqrt{\int i^2 \, dt}$

The same table for a CWG with an amplitude of 1 V (Table F.2) is:

Table F.2 –

Voltage	1	70×10^{-6}	6×10^{-3}
Current	0.5	12×10^{-6}	2×10^{-3}

So dividing each cell of Table F.1 by the equivalent cell of Table F.2, we get a new table, Table F.3:

Table F.3 –

Voltage	$\hat{u}$	$\int u \, dt$ / (70×10^{-6})	$\sqrt{\int u^2 \, dt / (6 \times 10^{-3})}$
Current	$\hat{i} \times 2$	$\int i \, dt$ / (12×10^{-6})	$\sqrt{\int i^2 \, dt / (2 \times 10^{-3})}$

The maximum value in Table F.3 gives the value $U_{\text{oc (CWG)}}$, the equivalent value of U_{oc} of the CWG corresponding to the output of the SPD.

As soon as the downstream SPD has been tested according to the class III tests with a CWG having a no-load voltage $U_{\text{oc test}}$ (or an equivalent CWG in case of class II tests), it is possible to say immediately if the coordination is satisfactory. It is sufficient to check that $U_{\text{oc test}} > U_{\text{oc CWG}}$.

The value at the output of the SPD, for a given stress at the input, has to be calculated by using simulation software. It does not need to be calculated each time as such values may be calculated by the manufacturer. For each product, the manufacturer may calculate the output equivalent CWG impulse for a given stress (I_{imp} for class I tests or I_{n} or I_{max} (if declared) for class II tests or $U_{\text{oc max}}$ of the CWG for class III tests) taking care both of the tolerances on the SPD characteristics and any blind spot (sometimes the most important stress at the output of the SPD is not given by the maximum values I_{imp}, I_{n} or I_{max} (if declared) and $U_{\text{oc max}}$ but for lower values).

F.3 Coordination tests: energy and voltage protection coordination

F.3.1 Introduction

In order to protect an electrical installation, the use of more than one SPD type is necessary depending on the overvoltage category of the equipment to be protected and on the wiring of the electrical installation (cable length, routing etc.). In this case effective SPD coordination should be examined to not overstress downstream SPDs and to limit the overvoltage level to a value lower than the withstand voltage of the equipment to be protected (this new criterion is called voltage protection level criterion and is described below). This chapter aims to provide few examples to achieve effective SPD coordination.

F.3.2 Coordination criteria

As presented above, co-ordination of SPDs requires the examination of two basic criteria, the energy criterion and the voltage protection level criterion.

Energy co-ordination can be achieved if, for all the values of the total incoming lightning/surge current, the portion of the energy that is dissipated through the upstream SPD is higher than the energy dissipated through the downstream SPD. Additionally, any elements between the upstream and the downstream SPDs should be able to withstand the same energy as the downstream SPDs.

Moreover, it is additionally proposed that the voltage protection level for the downstream SPDs should be equal or lower than the upstream SPDs, since they are situated nearer to the equipment to be protected, where more severe voltage protection is required.

The most significant parameters that should be considered during co-ordination of two SPDs are the following:

- SPD types (i.e. switching type – spark gap, limiting type – metal oxide varistor);
- characteristics of the SPD type (i.e. Sparkover voltage for spark gaps, maximum continuous operating voltage for MOVs, voltage protection level, maximum discharge current capability etc.);
- injected wave (i.e. 8/20, 10/350 etc.);
- type of the equipment to be protected (i.e. heavy inductive load, sensitive electronic etc.);
- separation distance between the two SPDs.

F.3.3 Coordination techniques

Prior to any co-ordination, certain steps should be followed to select the proper SPDs and the method of co-ordination between them.

- Step 1

  Identify the expected overvoltage level in absence of SPDs in order to select the type of SPD that will respond better. Reduction of fast overvoltages requires limiting SPDs rather than switching type. The identification of the overvoltages should be followed by the evaluation of the maximum energy of the prospective lightning/surge current in presence of an ideal SPD. Depending on the maximum energy level, the appropriate SPD type can be selected.
- Step 2

  Select upstream SPD according to the maximum energy that it can withstand.
- Step 3

  Select downstream SPD according to the desired voltage protection level of the equipment.
- Step 4

  For the selected SPDs both the energy and the voltage protection level criteria should be satisfied. This may be done mainly with the help of software simulations or with experimental testing. In this last case the following method could be used to check this out.

F.3.4 Test protocol

F.3.4.1 General

Coordination between SPDs is based on current sharing. Three parameters are defined as essential in establishing a coordination rule:

- the SPD themselves (one SPD is coordinated with another);
- the surge current at the entrance (fixed by heading SPD’s characteristics);

- The decoupling impedance Z between the 2 SPDs (the heading and the downstream SPD).

The impedance Z between the two SPDs (in general an inductance) may be a physical one (a specific component inserted in the line to facilitate the sharing of the energy between the two SPDs) or represent the inductance of a length of cable between the two SPDs.

A SPD's coordination test can be performed by the SPDs manufacturer, by the installer or by the user.

Coordination of SPD is in most cases achieved if these two criterions are fulfilled:

1) Energy co-ordination is achieved, if for all values of surge current from a minimum testing energy to a maximum testing energy (For test class II with 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 and 1 time I_n and for test class I with 8/20 current impulses having a peak value equal to 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 and 1 time I_{imp} and with 0,1, 0,5, 0,5, 0,75 and 1 time I_{imp} of the heading SPD) the portion of energy, dissipated through SPD2 is lower or equal to its maximum energy withstand (E_{MAX2}).
2) Protection coordination is achieved, if for all values of surge current from a minimum testing energy to a maximum testing energy (For test class II with 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 and 1 time I_n and for test class I with 8/20 current impulses having a peak value equal to 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 and 1 time I_{imp} and with 0,1, 0,5, 0,5, 0,75 and 1 time I_{imp} of the heading SPD) the residual voltage of SPD2 is lower or equal its declared protection level U_p.

The testing with portion of the declared I_n or I_{imp} current is to explore if no blind spot up from low stress to maximum stress are existing. If I_{max} is declared for test class II I_n shall be replaced by I_{max} and for test class I for the 8/20 current impulses the peak value shall be I_{imp} or I_{max} whichever is greater.

F.3.4.2 Test settings

SPDs arrangement for the coordination test is shown in Figure F.5.

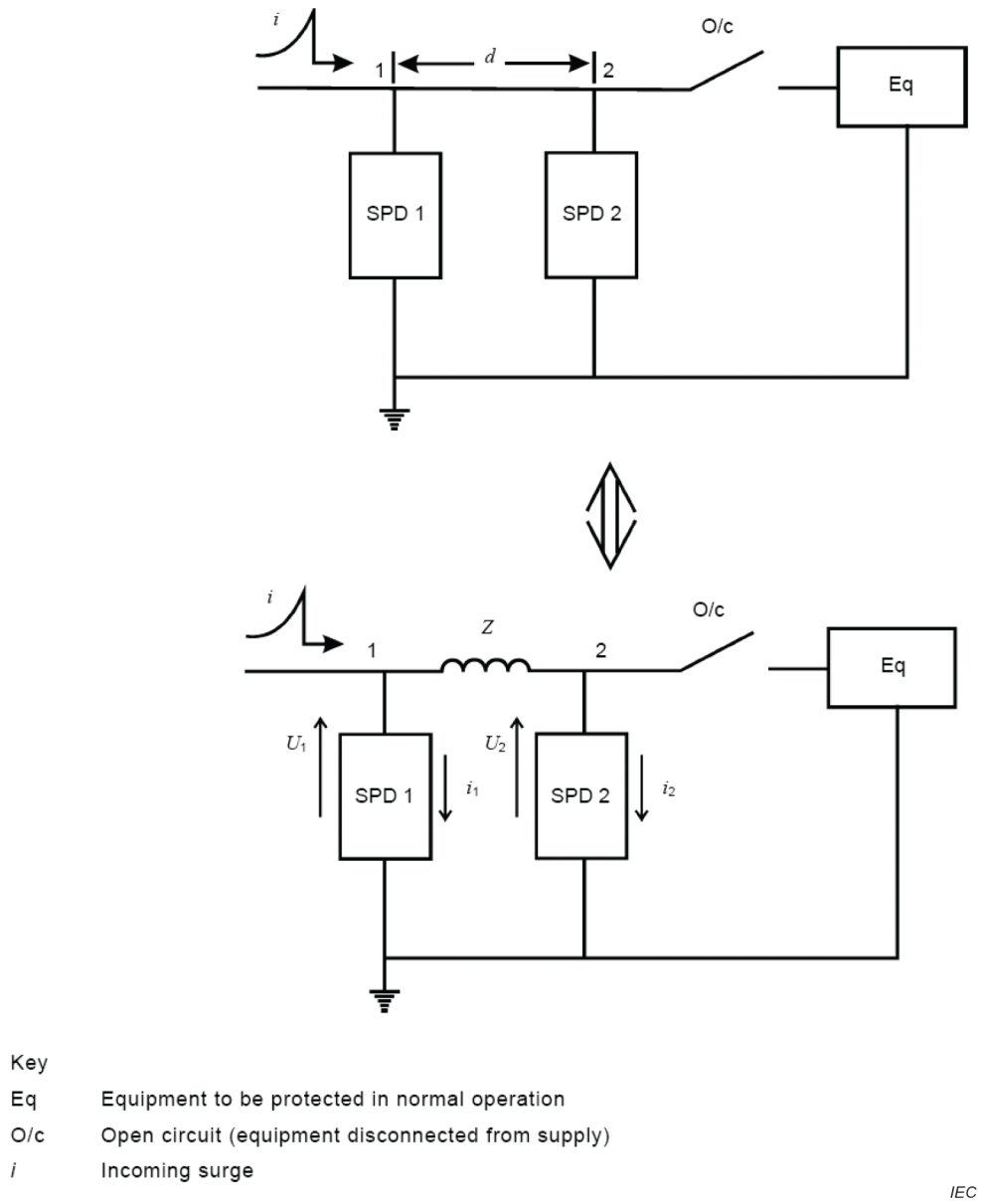


Figure F.5 – SPDs arrangement for the coordination test

The connecting leads are disregarded and shall be as short as possible and shall be similarly arranged for both SPDs. The external disconnectors, if any, are not considered in this coordination test.

When Z represents a physical impedance, the inductance of the line may be ignored due to its low value compared to Z. Z is then represented in a schematic way as in Figure F.5 for both cases.

When Z represents the inductance of a length of cable between the two SPDs, the forward and return conductors have to be fixed following the manufacturer, installer or user declaration. If no specific arrangement, the forward and return conductors shall not be twisted, at a distance of not more than 10 mm and shall avoid creating a loop.

The test shall be made on three sets of samples which have not been subjected previously to any tests.

Type of SPD coordination possibilities shall be tested under coordination procedure:

- Type 1 SPD coordinated with Type 2 SPD;
- Type 1 SPD coordinated with Type 3 SPD;
- Type 2 SPD coordinated with Type 2 SPD;
- Type 2 SPD coordinated with Type 3 SPD.

During the test, SPD's system is energized at U_c with a short circuit current high enough to detect a failure of one of the SPDs under test (minimum 5 A). A current protection can be used in power supply branch, but not in surge current branch. If SPD 1 and SPD 2 are multi-mode SPDs for example with terminals for phase, neutral and ground (PE), all modes have to be tested L-N, N-PE and L-PE. In this case the remaining terminal(s) needs to be interconnected between SPD 1 and SPD 2.

When the heading SPD is tested as class I, its declared I_{imp} shall be used for coordination procedure. If I_{max} is declared, for the 8/20 current impulses the peak value shall be I_{imp} or I_{max} whichever is greater.

When the heading SPD is tested as class II, its declared I_n shall be used for coordination procedure. If I_{max} is declared, I_{max} shall be used for coordination procedure.

The coordination test procedure may be performed with 8/20 current impulses exceeding the discharge parameters of the downstream SPD only.

Positive current impulses shall be applied while the SPDs are energized to U_C at 60° after zero crossing in the positive voltage wave. The interval between the impulses shall be long enough to allow the SPDs to cool down to ambient temperature.

Test procedure is summarized in Table F.4, depending on the heading SPD Type.

Table F.4 – Test procedure for coordination

Heading SPD (SPD 1)	Downstream SPD (SPD 2)	Test impulses
SPD tested class I	SPD tested class II or III	with 8/20 current impulses having a peak value equal to 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 and 1 time I_{imp} or I_{max} if declared, whichever is greater of the heading SPD and with 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 and 1 time I_{imp} of the heading SPD
SPD tested class II	SPD tested class II or III	with 0,1, 0,25, 0,5, 0,75, and 1 time I_n or I_{max} if declared, whichever is greater of the heading SPD

The coordination test may be performed with 8/20 current impulses exceeding the discharge parameters of the downstream SPD only.

F.3.4.3 Pass criteria

The SPD has passed the test if any follow current is self-extinguished and thermal stability is achieved after each impulse of the coordinated SPD test. Both the voltage and current records, together with a visual inspection, shall show no indication of puncture or flashover of the samples. Mechanical damage shall not occur during these tests.

The measured residual voltage of the SPD2 shall never exceed its declared U_p.

Annex G
(informative)

Examples of application

NOTE This annex presents hypothetical systems for domestic and industrial facilities as well as for a radio tower application in which SPDs are installed. This annex is intended to provide information about the selection of SPDs in limited situations to illustrate the application principles contained in this document. It is not intended to address the unique aspects of the conditions that exist in all facilities or systems.

G.1 Domestic application

MV network: overhead line 10 km.

LV (230/400 V) network: overhead line 1 000 m; underground cable 200 m.

N_G: 2 strikes/km^2/year (see 5.2.2).

Location of the structure to be protected: on a flat area.

Structure of the electric installation: installation protected by an RCD type S at the entrance (withstand 3 kA 8/20, see 7.2.5.3). The short-circuit current capability at the entrance of the installation is 3 kA. There is a main electrical board at the entrance of the house (ground floor) and one subsidiary electrical board on the first floor.

Earthing of the structure to be protected: 50 Ω.

Earthing system of the LV network: TT system. One phase and neutral distributed.

Nature of devices to be protected: electronic washing machine, computer, alarm at the entrance, video tape recorder and TV set, etc.

Due to the risk analysis (see Clause 4) it is probable that there is some interest in using SPDs (high value of N_G, overhead lines both on MV and LV side of the transformer, electronic devices, etc.).

Due to the overhead lines medium lightning currents are expected; nominal discharge current (I_n) ≥ 5 kA 8/20 per wire at the entrance.

At the entrance, an alarm is to be protected (sensitive equipment); U_p ≤ 1,5 kV. This may be achieved by a one-port SPD (see 3.1.21) tested by class II tests with U_p = 1,5 kV.

At the entrance, the short-circuit current capability is 3 kA RMS; short-circuit withstand of the SPD ≥3 kA RMS (see 6.5.4). For this the manufacturer recommends use of a fuse or the short-circuit breaking characteristics of an RCD circuit-breaker (back-up protection). If an RCD type S circuit-breaker is used at the entrance, the continuity of service is not assured for incoming surges in excess of 3 kA 8/20.

No additional protection against indirect contact is needed due to the presence of the RCD. A thermal disconnector is incorporated in the SPD itself (see 7.3.1).

As it is a TT system and in order to avoid too high a stress between phase and neutral: it is recommended that an SPD having three modes of protection be used (phase to neutral, neutral to earth and phase to earth; see 7.1.3).

The other devices to be protected need only protection between phase and neutral as the earth is not connected to them, except the washing machine where the earth is present for safety purposes. In this case, protection between phase and earth and neutral and earth may be necessary.

NOTE Additional protection may be necessary if the TV antenna is earthed.

As the distance between the SPD at the entrance and the other devices, especially on the first floor, is high (10 m and 20 m respectively), other SPDs are necessary close to the devices to be protected (7.2.3). One should be located close to the washing machine and another one close to the video tape recorder and TV set. Another one is connected at the first-floor electrical board but could be connected direct on the computer plug as well (distance is small between this panel and the computer).

The other SPDs should see a lower surge current. Also, I_n = 2 kA class II tests is sufficient. U_p = 0,8 kV is then proposed in the manufacturer's catalogue.

The distance of 20 m is sufficient to provide decoupling between the SPD located at the entrance and the first-floor one. But the 10 m between the entrance SPD and the other ground-floor SPDs is not sufficient to provide adequate decoupling due to the low value of U_p = 0,8 kV (see 7.2.7). It is then better to choose another SPD with U_p = 1,5 kV, for example, for the other ground-floor SPDs.

For these SPDs, the short-circuit current at their location is low and the manufacturer has incorporated the necessary disconnectors (thermal and short-circuit). See Figure G.1.

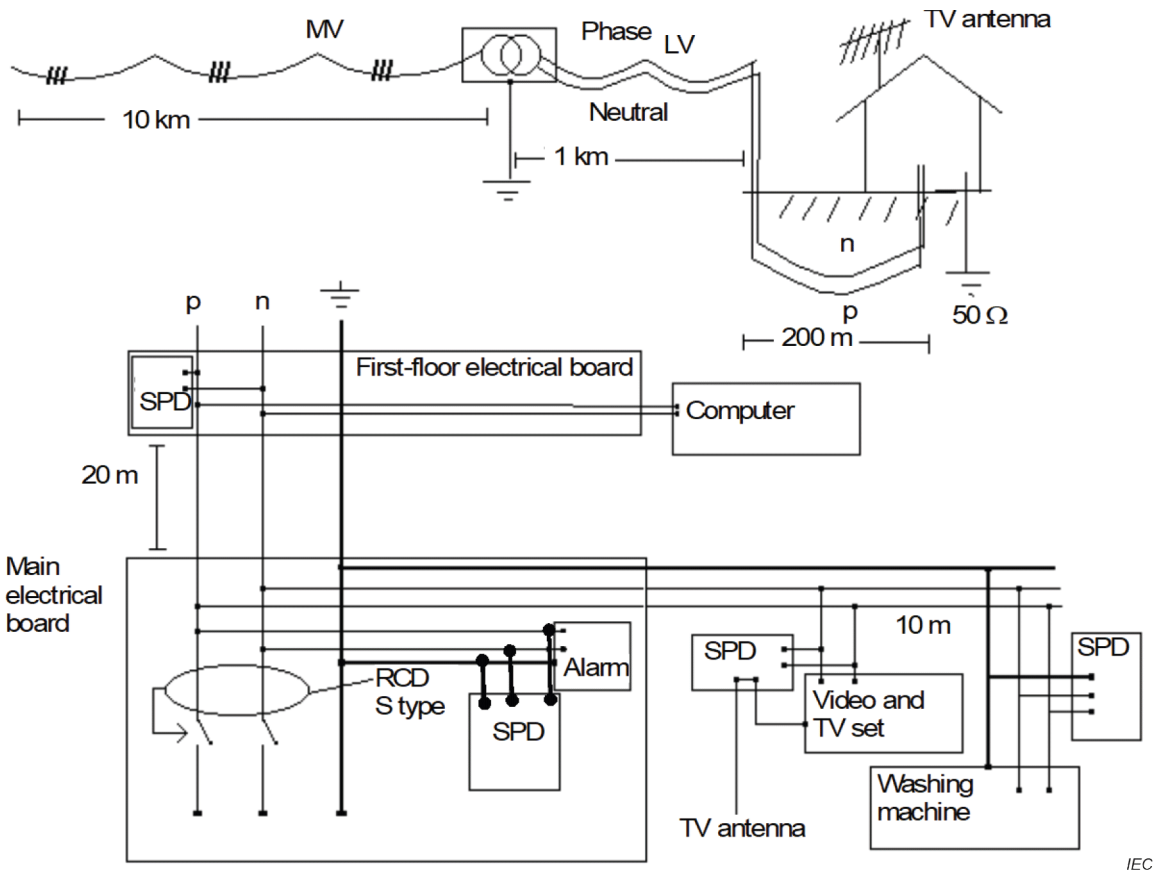


Figure G.1 – Domestic installation

G.2 Industrial application

MV network: overhead line 10 km

LV (230/400 V) network: underground cable 2 runs of 100 m

N_G = 0,5 strikes/km^2/ year (See 5.2.2)

Location of the structure to be protected: on a flat area

Structure of the electrical installation:

MV/LV transformer inside the main building (MB)

LV TN-C power distribution system feeding a three-phase main distribution board MDB at the Main Building MB. A TN-C system supplies three phase power to a separate buildings B1, and a TN-C-S system supplies three phase power to building B2. Both B1 and B2 are located some 100 m from building MB.

Equipment to be protected:

Main building MB – power supply (MV/LV transformer) industrial manufacturing plant including air conditioning plant, factory lighting, industrial motor controllers, variable speed drives and computer numerically controlled (CNC) lathes.

Building B1 – general office equipment including, photocopiers, facsimiles, local area computer network, telephone switchboard (PABX) located close to DB1.

Building B2 – process and control equipment including, programmable logic controllers (PLC) for plant management, supervisory control and data acquisition (SCADA) system, weight bridge equipment, monitors, in most cases located some 50 m away from DB2.

Earthing of the structures: earthing for buildings MB is measured to be 11 Ω and local earth for buildings B1 and B2 are 49 Ω and 51 Ω respectively each given a total earthing system resistance of approximately 7 Ω when connected by the TNC PE conductor. There is an Equipotential Bonding bar EB, EB1 and EB2 in each of buildings MB, B1 and B2 respectively.

Risk Analysis (see Clause 4): The facility is reasonably unexposed to direct strike lightning influence but the MV/LV transformer itself may need to be protected on the MV side using MV arrestors (because of the use of MV overhead line with an inherently high exposure). Surge currents can still flow through the local earthing system due to transformer's earth potential rise, and LV SPDs are necessary at the LV side of the transformer as well as at the entrances to buildings B1 and B2.

Protection philosophy: A risk analysis would typically classify the need for continuous operations of such an industrial facility to be of a 'critical nature'. As such, distributed surge protection should be used throughout the facility to provide primary point-of-entry protection at the main distribution board MDB, as well as at the separate distribution boards DB1 and DB2 in each of buildings B1 and B2.

Main Building – SPDs are connected inside the main distribution board between each phase and the main equipotential bonding bar EB. These LV SPDs should be tested in accordance with test Class II. For example, a nominal discharge current I_n of 10 kA (same rating as the MV arrester) with a voltage protective level $U_{p1} \leq$ 1,2 kV, may be used in this location to ensure coordination with the additional SPDs used downstream, see below.

The short circuit withstand (and the follow current interrupting rating in case of switching SPD) of the SPDs needs to be coordinated with the prospective short circuit current at the MDB. This can be achieved using disconnectors which may either be external series connected over-current devices specified by the manufacturer (such as fuses, circuit breakers etc.), or internal to the SPD.

There are various types of equipment inside the building with different voltage withstand capability including sensitive equipment (rated impulse voltage U_W = 1,5 kV according to IEC 60664-1). The equipment is located 30 m away from the SPD installed at the facility entrance. This could then result in oscillations (see 7.1.4).

In such a case, the voltage level of the equipment may be a maximum of 2* U_{p1}, U_{p1} being the protective level of the entrance SPD. In this example, which describes a worst case scenario U_{p1} should be lower than 1,5 kV*0,8/2 (i.e. 600 V), according to 7.1.4. Due to possible TOVs such a low protection level may increase the probability of failure of this SPD and one may prefer to select an entrance SPD having a higher U_p (less sensitive to TOVs) for example U_{p1} = 2,5 kV. In such a case an additional SPD with U_{p2} ≤ 1 200 V (0,8* U_W), is required in front of the equipment (Eq). The division by 2 is no longer necessary due to the close proximity to the sensitive equipment.

If an SPD of a lower U_{p1} is used (U_{p1} ≤ 600 V), the second SPD is not necessary. This process addresses the voltage withstand U_W of the equipment (insulation coordination).

Lower voltage protection level U_p (either U_{p2} if two SPDs are used or U_{p1} if a single SPD is used) may be necessary to avoid malfunction of equipment (see Note to 7.1.4.5, consideration of impulse immunity).

The lead length connecting SPD1 to the EB doesn't meet criteria from 7.1.4.4. For that reason, an additional conductor between SPD1 and PEN is used. The lead length connecting SPD2 to PEN meets criteria from 7.1.4.4 so no additional conductor is used.

Protection of data and control circuit is based on IEC 61643-22.

Building 1 – Given that the distance of B1 from the MB is 100 m, test Class II tested SPDs (SPD3) should be connected between each phase and the equipotential bonding bar. Assume that a nominal discharge current I_n of 5 kA and a voltage protective level U_p ≤ 1 kV is used in this location (≤ 1 kV is needed due to sensitive equipment installed in B1. As the building is small and the equipment is located close to DB1 there is no need to take care of voltage doubling effect, see 7.1.4). This address rated impulse voltage U_W of the equipment (insulation coordination). Lower voltage protection level U_p may be necessary to avoid malfunction of equipment.

The lead length connecting SPD3 to the EB1 meets criteria from 7.1.4.4 so no additional conductor is used.

Protection of data and control circuit is based on IEC 61643-22.

Building 2 – As with B1, B2 is located some 100 m from the MB and SPDs (SPD4) should be connected between each phase and the PE conductor/bar PEN conductor/bar. These LV SPDs should be tested in accordance with test Class II. Assume that a nominal discharge current I_n of 5 kA and a voltage protective level U_p ≤ 1,2 kV is used in this location.

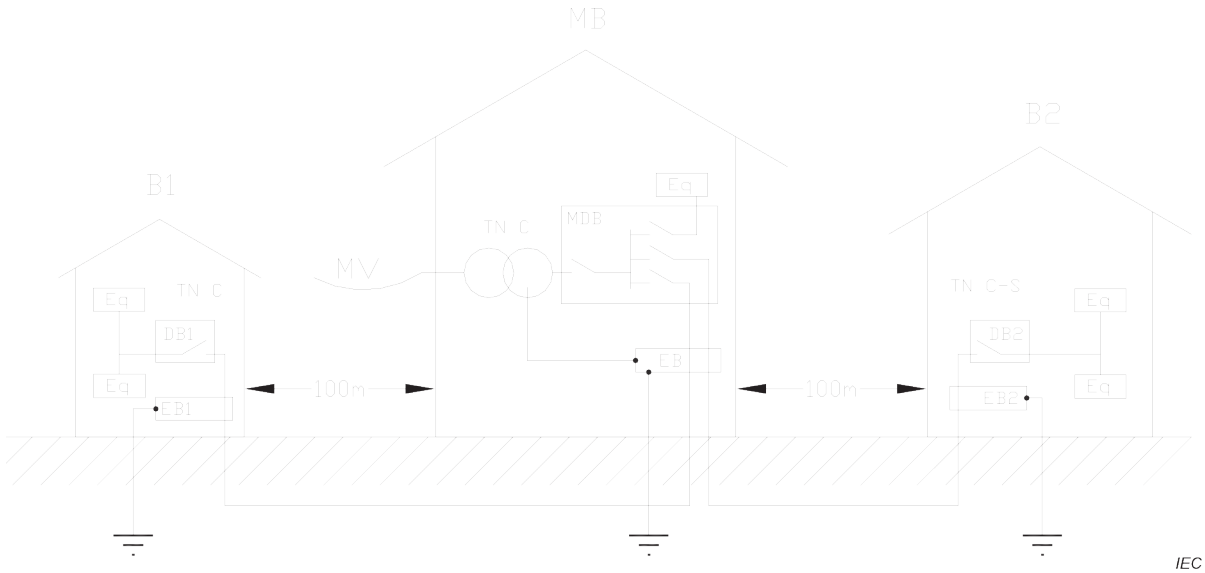
There are various types of equipment inside the building with different voltage withstand including sensitive equipment (rated impulse voltage U_W = 1,5 kV according to IEC 60664-1). The equipment is located 50 m away from the entrance SPD. This could result in oscillations (see 7.1.4). In such a worst case scenario the voltage level at the equipment will be a maximum of 2* U_{p1}, U_{p1} being the protective level of the entrance SPD. According to 7.1.4.5 U_{p1} should be lower than 1,5 kV*0,8/2 (i.e. 600 V). Consideration on TOV applies as in Building 1. The entrance SPD (SPD4) may have a U_{p1} as high as 1,2 kV. In such a case an additional SPD (SPD5) with U_{p2} lower or equal to 1,2 kV (0,8* U_W), is necessary in front of the equipment Eq. If a lower U_{p1} is used (U_{p1} ≤ 600 V) the second SPD is not necessary. This process addresses the rated impulse voltage U_W of the equipment (insulation coordination). Lower voltage protection level U_p (either U_{p2} if two SPDs are used or U_{p1} if a single SPD is used) may be necessary to avoid malfunction of equipment (see Note to 7.1.4.5).

If an additional SPD is needed close to the portable equipment (SPD5) it should provide protection between each phase and neutral and between neutral and PE. This is required to cover the risk of a potential rise in the neutral conductor, resulting from the equipment being 50 m away from the neutral-PE bond in DB2 – see Figure G.3.

The lead length connecting SPD4 to EB2 and the lead length connecting SPD5 neutral to PE meet criteria from 7.1.4.4so no additional conductors are used.

Protection of data and control circuit is based on IEC 61643-22.

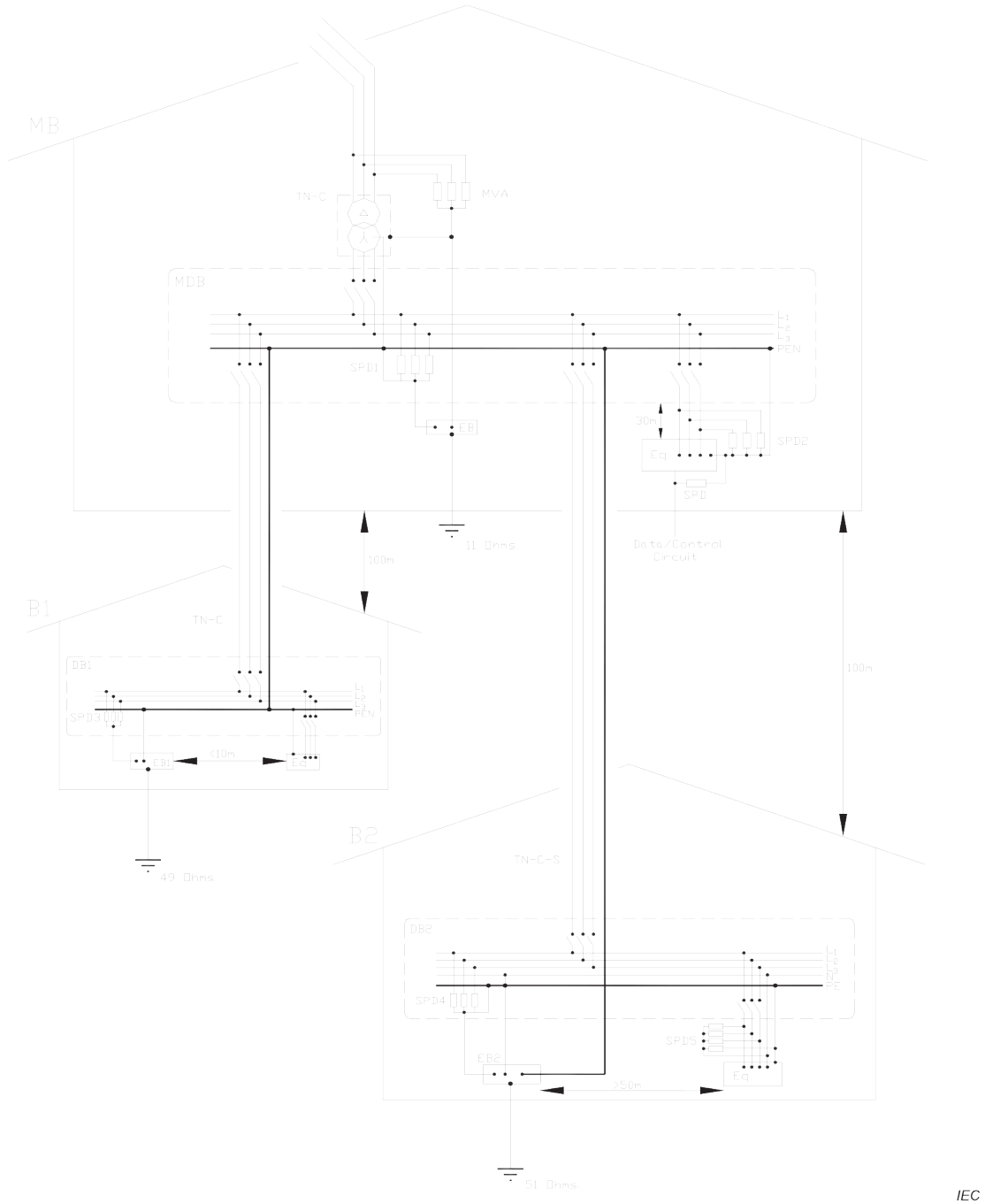
See Figure G.2 and Figure G.3.



Key

B1, B2	Building 1, 2
MB	Main building
EB	Equipotential bonding bar
MDB	main distribution board
DB	distribution board
Eq	Load equipment

Figure G.2 – Industrial installation



Key

B1, B2	Building 1, 2
MB	Main building
EB	Equipotential bonding bar
MDB	Main distribution board
Eq	Load equipment
PB	Panel board
MVA	Medium voltage surge arrester

Figure G.3 – Circuitry of industrial installation

G.3 Presence of a lightning protection system

Radio tower equipped with a LPS

MV network:	overhead line 10 km
LV network:	overhead line 500 m
N_G:	6 strikes/km^2/year
Location of the structure to be protected:	on the top of a hill
Structure of the electric installation:	the neutral is grounded at the bottom of the hill

Equipment grounded to the local protective earth

Earthing of the structure to be protected:	10 Ω
Earthing of the MV/LV transformer:	10 Ω
Earthing system of the LV network:	TT system; one phase and neutral distributed
Nature of devices to be protected:	electronic equipment

Due to the critical nature of the installation (risk analysis, see Clause 4) it is necessary to use SPDs tested according to test class I. SPDs are connected between phase and the local earth, between neutral and the local earth and between phase and neutral. As calculation for sharing of current has not been carried out, these SPDs should be tested according to test class I and have a current capability of 25 kA as they will have to discharge a significant portion of the direct lightning current striking the tower (See Annex D). Another SPD with the same current ratings may be used at the opposite side of the overhead line to protect the transformer. The protective level of the SPD close to the sensitive equipment should be lower or equal to 1,5 kV for example (lower values may be necessary to cover impulse immunity) and the SPD close to the transformer may have a protective level of up to 6 kV (typical transformer insulation withstand based on insulation coordination).

It may also be necessary to use an SPD on the MV side of the transformer. This is addressed in IEC 60099-5.

See Figure G.4.

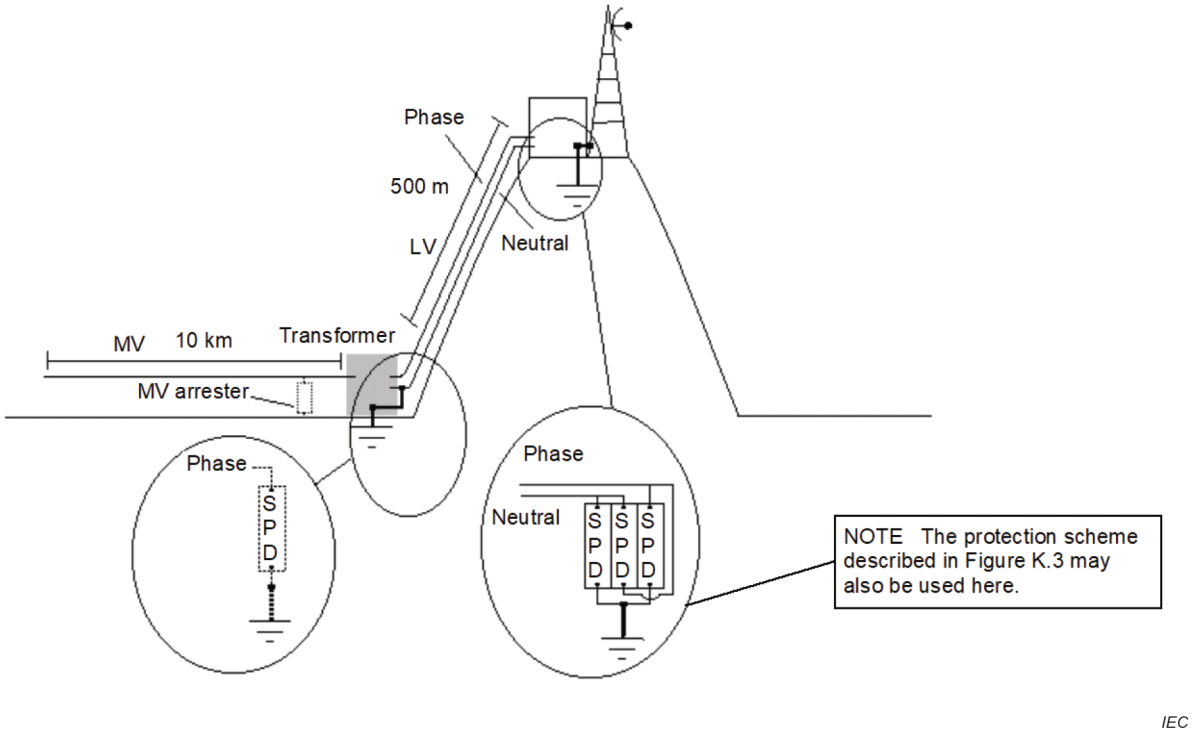


Figure G.4 – Example for a LPS

G.4 Wind Turbines

G.4.1 General

There are three types of wind turbines in wind power systems, including Double-Feed Induction Generator (DFIG), Direct-driven Generators and Semi Direct-driven Generators. At present, DFIG is most widely applied in wind farms.

NOTE DFIG is also called Doubly-Fed Induction Generator.

Energy conversion using high frequency switching introduces a special set of problems for SPDs. One example is DFIG wind turbine converter circuit.

G.4.2 Transient overvoltages in the DFIG converter circuit

DFIG consists of induction generators, converters and power grid. Figure G.5 shows that the power can flow between the generator rotor and the power grid.

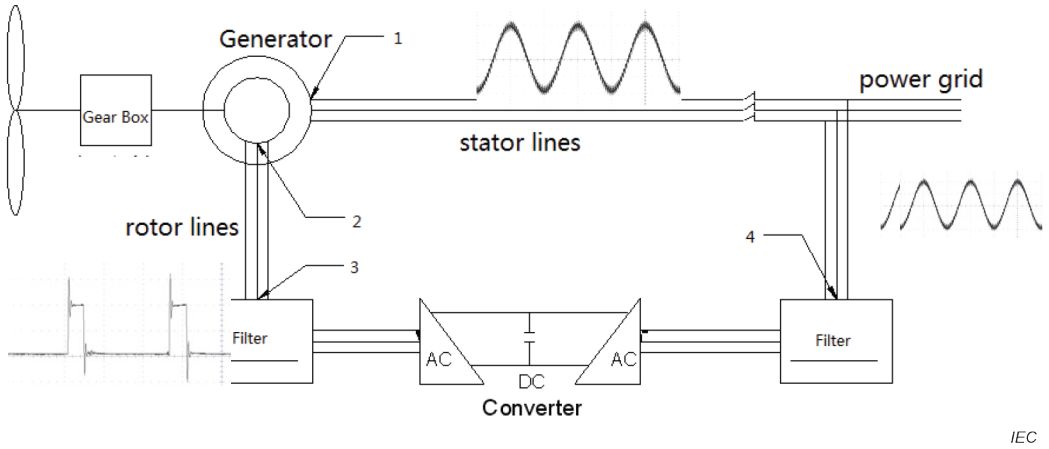
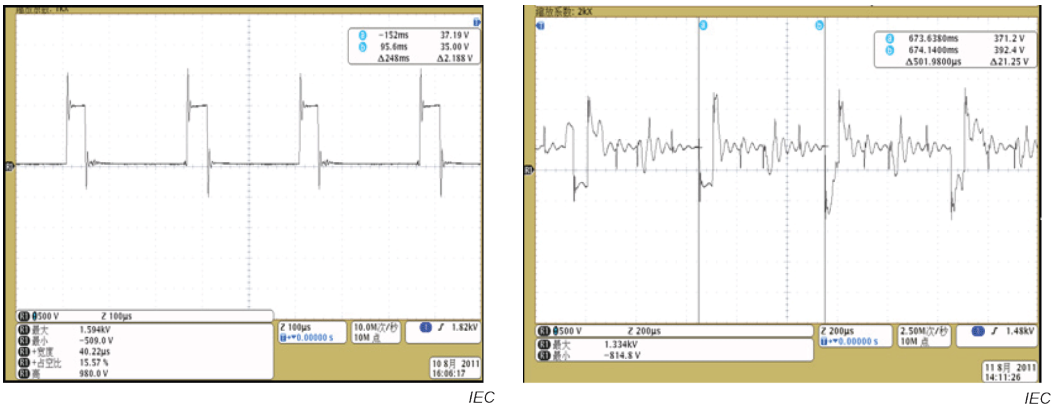


Figure G.5 – Configuration of a DFIG wind turbine

IGBTs are widely used as the switching components in converters. The switching frequency of converters over 1 MW is usually several kHz. For example, a 1,5 MW converter has a switching frequency of 2 kHz. The DC voltage at the rotor circuit is usually as high as 1 050 V. Modulation of IGBT generates repetitive transients with high peak value and very steep rise time on the output PWM voltage, as Figure G.6 shows. This peak value and steep rise time ($\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$) may have negative impact on the insulation of generator and converter, as well as on the SPD installed between them.



a) L-L **b) L-PE**

Figure G.6 – PWM voltage between the generator and the converter at the rotor circuit

The stator circuit and the rotor circuit of DFIG have different characteristics:

- the stator circuit is directly connected to the power grid at the same AC frequency as the power grid.
- the rotor circuit is connected to the power grid through a converter. It generates the PWM voltage, which consists of rectangular waves with repetitive transient voltage of high peak value and $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$.

G.4.3 Transmission effect of the transient voltage due to a long cable

In practice, converters are usually installed separately from the generator, as Figure G.7 shows. Generators are usually installed in the nacelle on the top of the tower. Converters are usually installed at the foot of the tower. Generators and converters are connected with long cables from nacelle to the foot the tower.

Since the generator and the converter are installed at an appreciable distance and connected with cables of about 100 m, the PWM wave transmitting along the cables causes reflection at the generator. It will make the peak value of PWM wave and du/dt at the generator side higher than those at the converter side. According to an investigation in 2011 in China, the peak value of the PWM voltage and du/dt at point 2 and 3 in Figure G.5 are listed in Table G.1.

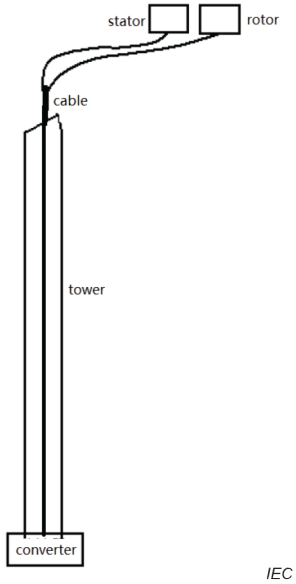


Figure G.7 – position of converter and generator

Table G.1 – Peak value of PWM voltage and du/dt at two terminals based on investigation in 2011 in China

	Peak value of U (L-L) (kV)	**Peak value of du (L-L)/dt** (V/µs)	**Peak value of U (L-PE)** (kV)
Point 2	1,70	970	2,0
Point 3	1,54	852	1,96

In Table G.1, peak value of the PWM phase-to-phase voltage at the generator side (Point 2) is higher than that at the convertor side (Point 3) by over 10 %. The du/dt is higher by about 14 %. This difference is due to the transmission refection effect along the cable. Then the insulation of the generator will be more stressed, as well as the SPDs installed at the generator side.

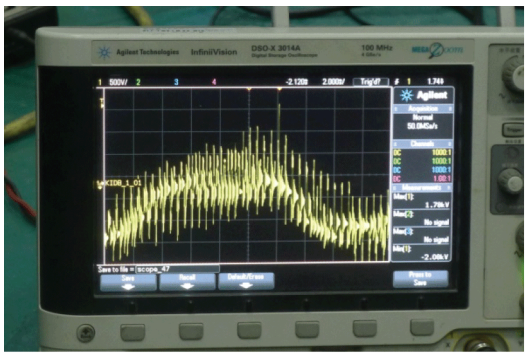
G.4.4 Voltage coordination between SPD and equipment in wind turbine systems

A 2.5 MW direct-drive turbine converter was tested in a Laboratory. Several SPDs with MOV of U_c = 750 V and V_V = 1 450 V were originally installed between L-PE at the generator side. But their internal disconnectors operated after turning on the converter. Then the L-PE voltage at the generator side of the converter was observed and some spikes were observed as high as 2 kV, as Figure G.8 b) shows. From Figure G.8 b), it is noted that the V_V of the SPD is much lower than the peak value of spikes. In this situation, the SPD will be damaged, and the leakage current will cause MOV heating. This caused the internal disconnector to operate. Installing an SPD rated at U_c = 1 000V, the problem was solved.

NOTE The capacitance of the SPD is also considered when the SPD is connected between L and PE due to leakage current.

IEC

a)



IEC

b)

Figure G.8 – A converter tested in laboratory and its L-PE voltage waveform

Table G.2 is copied from CLC/TR 50539-22 and describes similar situation.

Table G.2 – Example of characteristics of the generator alternator excitation circuit and associated SPD

Maximum operating voltage of the system, L-L	750 Vrms (±10 %), 0….200 Hz
Repetitive transients superimposed on the voltages L-Earth	1,7 kV
Repetitive transients superimposed on the operating voltages L-L	2,95 kV
du/dt of repetitive transients superimposed on the voltages	1,4 kV/µs
Converter switching frequency	2 000 Hz
SPD main characteristics	
U_c	Should be selected so as to sustain the stress of repetitive transients superimposed on the operating voltages
Operating frequency	Should be selected taking into account to the switching frequency of the converter
I_{imp}, (T1) per mode of protection	1…5 kA
I_n, (T2) per mode of protection	15 kA
Short circuit current I_{SCCR}	< 20 kA, 50-60 Hz
Standards to comply with	IEC 61643-11

Similar characteristics may also apply to inverters.

Table G.3 – Comparison between the wind turbine system and low-voltage distribution system

No	Factor	low-voltage distribution system	DFIG electrical system		comment
			Stator circuit	Rotor circuit	
1	waveform	sinusoidal AC	sinusoidal AC	PWM	
2	frequency	50 Hz	50 Hz	Switching frequency : ≤3 kHz Basic frequency : ≤20 Hz	
3	earthing system	TN、TT、IT	IT	IT	
4	power system	1-phase system 3-phases system	3-phases system	3-phases system	
5	short-circuit current	according to the capacity of distribution transformer	according to the capacity of generator and step-up transformer	undetermined	
6	TOV	TOV in TT and IT system caused by faults in the high (medium) voltage system	——	——	step-up transformer is equipotential-bonded with wind turbines.
		TOVs cause by faults or disturbances in the low voltage in TN, TT or IT system	——	——	
7	peak value of voltage	$\sqrt{2}U_N$ ($U_N = 230/400$)	$\sqrt{2}U_N$ ($U_N = 400/690$)	square wave, rising steepness≤ 1,5 kV/μs, peak value ≤ 1,7 kV (L-PE) peak value ≤ 2,95 kV (L-L)	According to CLC/TR 50539-22

G.4.5 Possible solutions for the case described in CLC/TR 50539-22

There are basically two solutions:

Either to use SPDs with higher U_c.

V_V of MOV should be larger than or at least equal to the peak value of transient. Usually, there is a relation between V_V/U_c≈1,6. Then, it can be inferred that:

- U_c of the SPD between L-PE should be not less than 1,06 kV in order to sustain the transient up to 1,7 kV. Consequently, U_p of the SPD would usually reach 4 kV.
- U_c of the SPD between L-L should be not less than 1,85 kV in order to sustain the transient up to 2,95 kV. Consequently, U_p of the SPD would usually reach 6 kV.

Due to the voltage drop at leads and external disconnectors, the voltage stress on the insulation of converter and generator will be very severe. This should be considered or tested in order to achieve successful insulation coordination.

Or to use specifically designed SPDs able to withstand this stress.

NOTE There are cases that such solutions are extrapolated to other cases.

Annex H
(informative)

Risk assessment method and examples of application

H.1 General

IEC 62305-2 is a well-established method to establish the lightning risk on structure and connected services. A simplified risk analysis method based on IEC 62305-2 and limited to surges conducted by the power lines is described in IEC 60364-4-44. It is presented below. Other methods can be established for other applications. A proposed methodology is also presented below.

H.2 Simplified method proposed for low voltage risk assessment as described in IEC 60364-4-44

H.2.1 Overvoltage control

The IEC 62305 series are be applied where the consequence caused by overvoltage affects installation with

a) structure with risk of explosion,

b) structures where the damage may also involve surrounding structures or the environment (e.g. chemical or radioactive emissions),

Protection against transient overvoltage shall be provided where the consequence caused by overvoltage affects:

c) care of human life, e.g. safety services, medical care facilities,

d) public services and cultural heritage, e.g. loss of public services, IT centres, museums,

e) commercial or industrial activity, e.g. hotels, banks, industries, commercial markets, farms.

For all other cases, a risk assessment shall be performed in order to determine if protection against transient overvoltages is beneficial. If a risk assessment is not performed, the electrical installation shall be provided with protection against transient overvoltages. However, this protection may not be required for single dwelling units according to local electrical rules.

Protection against switching overvoltages should be considered in the case of equipment likely to produce switching overvoltages or disturbances exceeding the values according to the overvoltage category of the installation e.g. where a LV generator supplies the installation or where inductive or capacitive loads (e.g. motors, transformers, capacitor banks, etc.), storage units or high current loads are installed.

H.2.2 Simplified risk assessment method

Calculated Risk level (CRL) is used to determine if protection against transient overvoltages of atmospheric origin is required:

If CRL ≥ 1 000, no protection against transient overvoltages of atmospheric origin is needed;

If CRL < 1 000, protection against transient overvoltages of atmospheric origin is required.

The value of CRL shall be calculated according Table H.1.

Table H.1 – Calculation of CRL

Environment	CRL
Rural & suburban environment	(85 × F) /(L_P × N_g)
Urban environment	(850 × F) /(L_P × N_g)

Where

– The value of coefficient F shall be taken equal to 1 for all installations. However, National Committees may adjust the value of coefficient F from 1 to 3 for dwellings.

– N_G, is the lightning ground flash density (flash per km^2 per year) relevant to the location of the power line and connected structure;

– The risk assessment length L_P is calculated as below:

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH};$$

With (see Figure H.1)

L_{PAL}: length (km) of low-voltage overhead line;

L_{PCL}: length (km) of low-voltage underground cable;

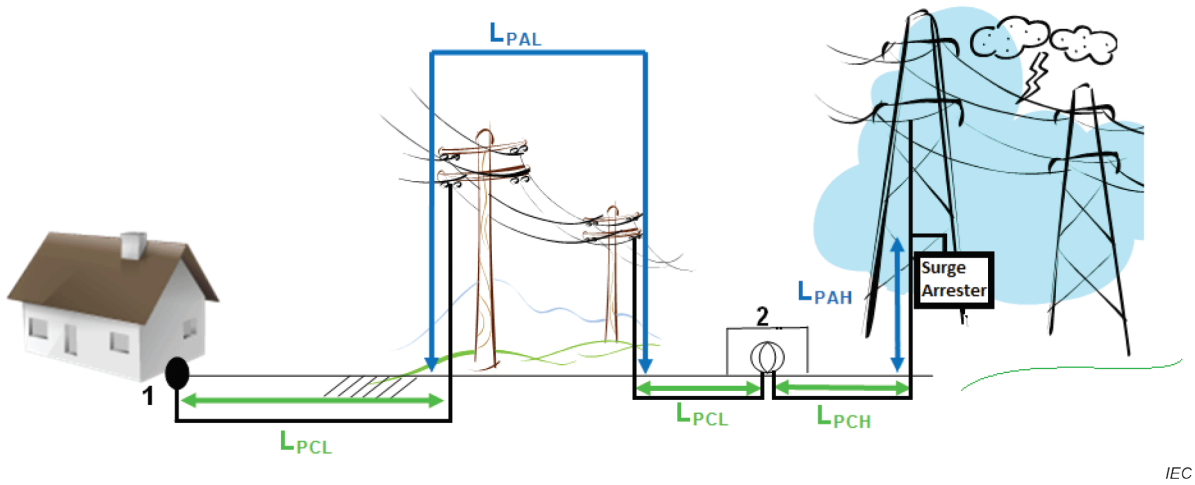
L_{PAH}: length (km) of high-voltage overhead line;

L_{PCH}: length (km) of high-voltage underground cable.

The total length (L_{PAL} + L_{PCL} + L_{PAH} + L_{PCH}) is limited to one kilometer or by the distance from the first overvoltage protective device (SPD or Surge Arrester) installed in the power network to the entrance of the installation whichever is the smaller.

If the distribution networks lengths are totally or partially unknown then L_{PAL} shall be taken equal to the remaining distance to reach a total length of 1 km.

For example, if only the distance of the underground cable is known (e.g. 100 m), L_{PAL} shall be considered to be 900 m long.



Key:

1: Origin of the installation

2: LV / HV transformer

Figure H.1 – Example of the individual sections of a power line

When a SPD is not required due to a low risk of atmospheric origin, protection against switching surges may still be needed (see 5.2.3). See Figure H.1 above.

H.2.3 Example 1 – Building in rural environment

N_G = 1, F = 1

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= (2 \times 0{,}4) + (0{,}4 \times 0{,}6)$$
$$= 1{,}04$$

where

L_{PAL} is the length (km) of low-voltage overhead line: 0,4 km;

L_{PAH} is the length (km) of high-voltage overhead line: 0,6 km;

L_{PCL} is the length (km) of low-voltage underground cable= 0;

L_{PCH} is the length (km) of high-voltage underground cable = 0.

CRL = 85 × F / (L_P × N_G) = 85 × 1 / (1,04 × 1) = 81,7

In this case, SPD protection shall be installed.

H.2.4 Example 2 – Building in rural environment powered by HV

N_G = 0,4, F = 1

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= 0{,}2 \times 1$$
$$= 0{,}2$$

where

L_{PAL} is the length (km) of low-voltage overhead line = 0;

L_{PAH} is the length (km) of high-voltage overhead line = 0;

L_{PCL} is the length (km) of low-voltage underground cable = 0;

L_{PCH} is the length (km) of high-voltage underground cable: 1 km.

CRL = 85 × F / (L_P × N_G) = 85 × 1 / (0,2 × 0,4) = 1 062,5

In this case, SPD protection is not mandatory.

H.2.5 Example 3 – Building in urban environment

N_G = 1, F = 1

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= (2 \times 0{,}4) + (0{,}4 \times 0{,}6)$$
$$= 1{,}04$$

where

L_{PAL} is the length (km) of low-voltage overhead line: 0,4 km;

L_{PAH} is the length (km) of high-voltage overhead line: 0,6 km;

L_{PCL} is the length (km) of low-voltage underground cable = 0;

L_{PCH} is the length (km) of high-voltage underground cable = 0.

CRL = 850 × F / (L_P × N_G) = 850 × 1 / (1 × 1,04) = 817

In this case, SPD protection shall be installed.

H.2.6 Example 4 – Building in urban environment powered by HV

N_G = 0,5, F = 1

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= 1$$

where

L_{PAL} is the length (km) of low-voltage overhead line = 0;

L_{PAH} is the length (km) of high-voltage overhead line = 0;

L_{PCL} is the length (km) of low-voltage underground cable: 1 km;

L_{PCH} is the length (km) of high-voltage underground cable = 0 .

CRL = 850 × F / (L_P × N_G) = 850 × 1 / (1 × 0,5) = 1 700

In this case, SPD is not mandatory.

H.2.7 Example 5 – electric vehicle supply equipment

The situation is an electric vehicle supply equipment EVSE supplied by a HV/LV transformer, see Figure H.2. The length of the HV lines is more than 1 km. There is no surge arrester on the HV side of transformer and no SPD on the LV side. The main cabinet is located inside a supermarket building and the charging station is on the parking lot. There are many pedestals located in a dedicated area of the 25 m × 15 m parking lot. The area is suburban. N_G is equal to 1 and F is also equal to 1.

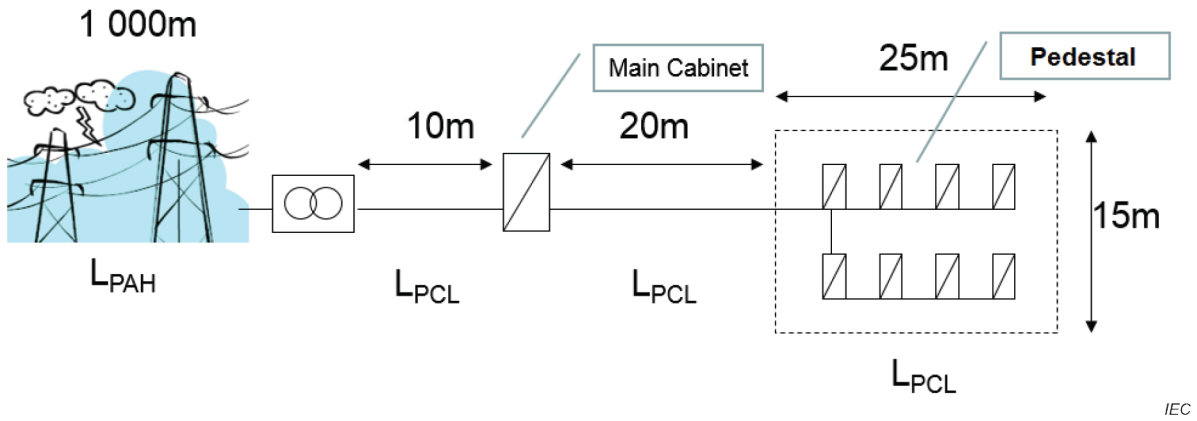


Figure H.2 – Example of electric vehicle supply equipment

N_G = 1, F = 1

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= (2 \times 0{,}07) + (0{,}4 \times 0{,}93)$$
$$= 0.512$$

where

L_{PAL} is the length (km) of low-voltage overhead line: 0,07 km (70 m = 10+20+40 m, 40 m is the maximum length for the more remote pedestal);

L_{PAH} is the length (km) of high-voltage overhead line: 0,93 km (this length is determined by the fact that L_{PAL} + L_{PAH} = 1 km)

L_{PCL} is the length (km) of low-voltage underground cable = 0;

L_{PCH} is the length (km) of high-voltage underground cable = 0.

CRL = 85 × F / (L_P × N_G) = 85 × 1 / (0,512 × 1) = 166

In this case, SPD protection shall be installed at the LV side of the HV/LV transformer or alternatively at the main cabinet. In addition, due to induced surges in the wiring between the cabinet and the pedestals, it is advised to install additional SPDs at the pedestals.

H.2.8 Example 6 – Chemical facility

A HV overheard line 500 m long is distributing power to a chemical facility power station through a 100 m underground HV cable, see Figure H.3. The power station (5 × 5 m h = 3 m) is supplying LV power to an administrative building (10 × 10 m h = 6 m) and to a chemical facility (100 × 20 m, h = 6 m plus a chimney h = 9 m). The area is rural. N_G is equal to 1 and F is also equal to 1.

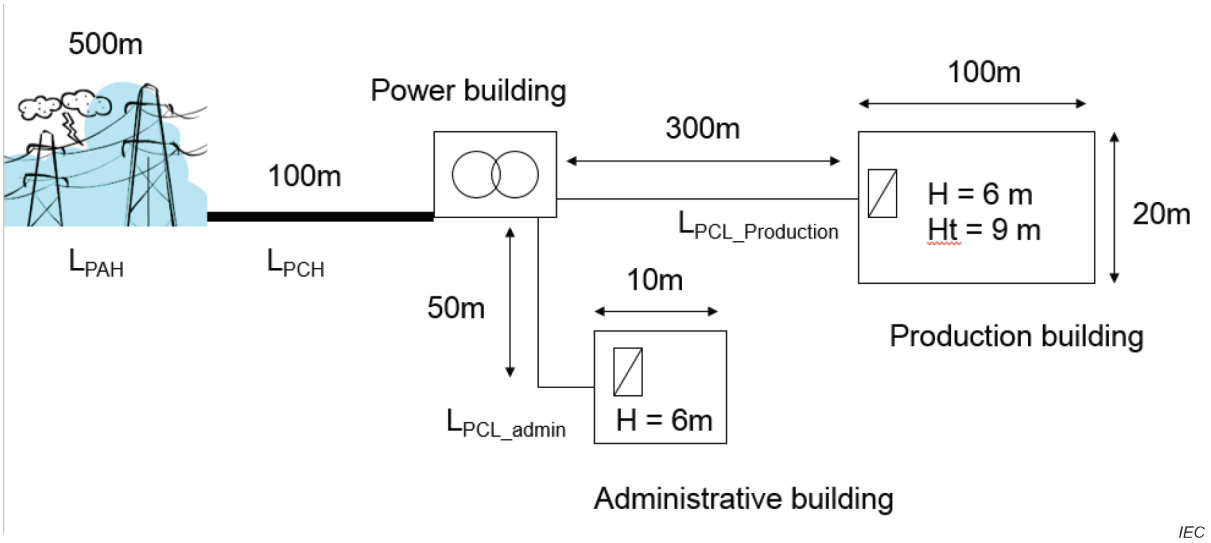


Figure H.3 – Example of chemical facility

As the site is an industrial site, LV SPD should be provided at the LV side of power station to fulfil requirement e) of H.1.1. As the chemical facility (See Figure H.3) may have impact on the environment, IEC 62305-2 should also be used for the chemical facility to fulfil requirement b) of H.1.1. The simplified risk method applies in fact only to the administrative building.

For the benefit of comparison, the simplified version, as well as IEC 62305-2, will be applied for the three structures, see Table H.2. The economic risk (R_4 according to IEC 62305-2) is only calculated. The impact to the environment of the chemical unit is not considered in this example.

Table H.2 – Simplified method

	1	**2**	**3**
	power station	**chemical unit**	**administrative building**
L_{PAL}	0	0	0
L_{PCL}	0	0,3	0,05
L_{PAH}	0,5	0	0
L_{PCH}	0,1	0	0
L_P	0,22	0,3	0,05
N_G	1	1	1
F	1	1	1
Environment	rural	rural	rural
CRL	386	283	1 700
SPD	required	required	not required
Note	SPD is required because industrial activity (case e)	SPD is required because industrial activity (case e and possibly a)	SPD protection against switching or SPD to protect a specific piece of equipment such as UPS, personal computer or telecom equipment, may still be needed

Complete method as per IEC 62305-2 is applied with a tolerable value for R_4 equal to 10^{-3}:

Each structure is assumed to be surrounded by smaller structures. The resistivity of the soil is 400 ohm and the distribution circuitry is made in such a way that big loops are avoided (the PE conductor is routed in the same cable as active conductors). U_W is fixed to 2,5 kV for LV lines and to the maximum value of IEC 62305-2 for HV incoming lines. The risk of fire is average for all structures except the chemical unit where it is high. There is an automatic fire extinguisher system in the chemical unit and other buildings are provided only with a manual firefighting system.

This gives the following values, see Table H.3 (for explanation of component R_B to R_Z refers to IEC 62305-2. R_4 is the sum of all the R_i with i from B to Z):

Table H.3 – IEC 62305-2 method

	1	2	3
	power station	**chemical unit**	**administrative building**
R_B	$1{,}72 \times 10^{(-6)}$	$1{,}10 \times 10^{(-4)}$	$6{,}90 \times 10^{(-6)}$
R_C	$2{,}30 \times 10^{(-6)}$	$3{,}67 \times 10^{(-5)}$	$9{,}20 \times 10^{(-6)}$
R_V	$1{,}99 \times 10^{(-7)}$	$1{,}45 \times 10^{(-7)}$	$1{,}29 \times 10^{(-7)}$
R_M	$1{,}20 \times 10^{(-4)}$	$1{,}87 \times 10^{(-4)}$	$9{,}22 \times 10^{(-6)}$
R_W	$1{,}60 \times 10^{(-4)}$	$6{,}23 \times 10^{(-5)}$	$1{,}23 \times 10^{(-5)}$
R_Z	$2{,}40 \times 10^{(-3)}$	$1{,}80 \times 10^{(-3)}$	$3{,}00 \times 10^{(-4)}$
R_4	$2{,}68 \times 10^{(-3)}$	$2{,}20 \times 10^{(-3)}$	$3{,}38 \times 10^{(-4)}$
N_G	1	1	1
Environment	rural	rural	rural
SPD	required	required	not required

In spite of being based on different parameters, in this particular case, the complete method and the simplified method are consistent for the economic risk. However, applying the complete method for the human and environment risk or for the loss of service may lead to different results and especially may lead to implement an LPS and therefore different types of SPDs and possibly additional SPDs.

H.3 Factors to be considered during risk assessment

H.3.1 Environmental

Lightning incidence and severity

N_g is the annual ground flash density, which is the number of strikes/km^2/year (see 5.2.2 and I.1.1.1)

- Direct strike to the building lightning protective system (LPS) or the electric supply and communication lines
- Resistive or inductive coupling

Risk assessment requires consideration of all types of direct and indirect modes of lightning induced energy, including entry via the LPS, incoming power lines, metallic telephone lines, data cables, radio-frequency cables, wave guides, and through non-electrical conductors such as water pipes. Fibre-optic cables are in most cases immune provided they do not have (a) metallic conductor(s) which penetrates the protected area.

Power-switching incidence and severity

Electronic equipment near to, or on the same circuit as power-switching equipment, such as motor controllers may suffer damage or degradation due to load-created transients. Additionally, transients may be generated due to either power utility switching, system faults or internal disturbances at the load.

Exposure and coupling with LPS of the surrounding buildings

Damage can occur through transient coupling from lightning currents carried in the LPS of nearby buildings or facilities, including earth potential rise associated with dissipation of the currents. Such energy distribution usually occurs through power utility cabling and is not directly controllable by the user. The energy dissipated is in relation to the magnitude of the various earth resistances in the local network.

Location of facility or building

- Topography
- Shielding by neighboring structures and trees

Facilities on the top or sides of tall hills or mountains are more susceptible to direct lightning strikes than similar facilities in valleys and areas of lower natural exposure. Similarly, installations with tall communications towers are likely to have an increased risk of lightning attachment. Small and low-rise facilities may be shielded by neighboring taller objects from direct strikes. However, such shielding does not influence energy ingress via cables entering the facility.

H.3.2 Equipment and facilities

Equipment impulse withstand category and immunity level

Manufacturers may design electrical and electronic equipment to various impulse voltage withstand levels. The lower the level, the higher the risk. Unless advised otherwise by a manufacturer, it may be best to assume that no specific immunity has been built in to their equipment. Correctly designed protection attempts to maximize energy diversion at cable points of entry and minimizes onward transmission to equipment.

Earthing systems

- Earth resistance and impedance
- Layout and proximity
- Links to other earthing systems

The most important thing is to get earth equipotential bonding by galvanic or SPD bonding.

Separated earthing systems shall be considered with care.

Power system layout

- Overhead
- Underground
- Or both

Although buried LV power cables offer lower risk than overhead power lines, direct lightning strikes in the vicinity of buried cables can cause substantial overvoltages, especially in high-resistivity soils. The designer needs to consider the length of buried cable, whether it is overhead for some distance away from the site, and whether the MV power utility network is overhead. For both LV and MV power lines, the aggregate length and height of lines are relevant parameters. Longer and higher lines have a greater risk of lightning attachment and hence a greater risk of transmitting the lightning energy into a facility or building.

H.3.3 Economics and service interruption

Service degradation or loss of service

Disruption and damage cause operational difficulties to business. Service degradation may have a qualitative element that is addition to direct financial losses. For example, where extensive automation or computerization is involved reversion to manual operation may be virtually impossible.

Loss of operations

This covers the real-time expense of service unavailability of equipment, computers, communications, and information technology systems and associated losses of operational revenues and/or business productivity. Critical systems such as emergency services, certain central information systems may have very high direct and indirect expenses associated with loss of operations.

Commercial enterprises lose direct revenue through downtime. Expected time to repair and restore operations will depend upon the availability of staff, spares, procedures, and information.

Repair or replacement of equipment or facilities

This is the expense of physical damage, including equipment replacement and direct and indirect expenses of reinstallation. Gradual degradation of components in equipment may also occur through repeated small magnitude pulses which cause seemingly random faults. Such events may not be associated immediately or directly with a lightning storm or switching event at the time of failure. Increased expenses of routine or preventative maintenance may be experienced due to such cumulative effects.

Emergency services

Damage to equipment or injury to people may necessitate use of emergency services such as fire, ambulance, police, etc. which have an expense to a firm, person, or community. Breakdown of fire alarm systems and emergency services telecommunications decreases the efficiency of such services. Emergency services will normally demand protection to a high level.

H.3.4 Safety

Personnel safety is a key issue for designers and installers. Occupational health and safety rules relevant to each country need be observed.

If safety risks to people exist from dielectric breakdown then use of SPDs should be considered.

H.3.5 Cost of protection

- Design of installation
- Material and devices
- Installation of SPDs

Cost of protection includes SPDs, engineering design and supervision, and electrical installation.

Annex I
(informative)

System stresses

NOTE This Annex expands upon the text of Clause 5 of this standard. Where the information relates to a specific subclause, this is identified as [xxx] below.

I.1 Lightning overvoltages and currents [5.2.2]

I.1.1 Aspects of the power distribution system that affect the need for an SPD

I.1.1.1 General

Clause 443 of IEC 60364-4-44:2007 indicates that SPDs may not be needed according to the risk analysis and if there is no risk of surges due to internal switching (see Clause H.1).

These guidelines are based on certain assumptions about the average installation. If factors specific to the installation being considered are unusual, there may be a greater need for surge protection. Some of these factors are considered in I.1.1.2 and I.1.1.3.

Risk analysis, based on the probability of incoming surges and the economic balance between protection and consequences, should be performed.

I.1.1.2 Lightning activity

The most useful figure to use in determining the risk of lightning stressing an installation is the local ground flash density, N_G.

The lightning ground flash density N_G is the number of lightning flashes per km^2 per year. In many areas of the world this value can be derived from data provided by Lightning Location Systems (LLS) complying with IEC 62858:2015. In areas without ground-based lightning location systems, maps of N_G may be used.

In areas without ground-based lightning location systems or maps of N_G, refer to IEC 62305-2.

I.1.1.3 Exposure of installation

Even where the supply is provided by an underground cable, this cable may not be sufficient to protect the installation, especially in the case of a direct or nearby lightning strike which is not considered in Clause 443 of IEC 60364-4-44:2007. This is why the supply by an underground cable cannot be used, on its own, to determine the need for an SPD.

I.1.2 Sharing of surge current within a structure

See IEC 62305-1 and IEC 62305-4 for more information.

NOTE 1 The lightning impulse current combines two key parameters. The first is the fast rise time which is useful for determining the voltage value due to inductive effects. The second is the long duration which essentially refers to the energy in the stroke. High-frequency effects are not present in this later period, allowing ohmic resistance to be used for calculation of current distribution.

For SPD installations in a structure equipped with an LPS, it is sufficient to make calculations using earthing DC resistance values (for example, earthing of the building and power distribution system, pipes, etc.), to determine the stress to SPDs.

Where an individual evaluation (by calculation, for example) is not possible, it can be assumed that 50 % of the total lightning current (I) enters the earth termination of the LPS of the structure considered. The other 50 % of current (I_s) is distributed among the services entering the structure, such as external conductive parts, electrical power and communications lines, etc. The value of the current flowing in each service (I_i) can be estimated by using $I_i = I_s / n$, where n is the number of services.

For evaluating the current in individual conductors, called I_v, in unshielded cable, the cable current I_i is divided by the number of conductors m, $I_v = I_i/m$.

In the case of shielded cable, both ends shall be bonded to earth directly or via an SPD. In this case, the main part of the cable lightning current will flow in the shield (typically 50 %) and a lower part of the current will flow through the inner conductors. In all cases SPDs should be installed as close as possible to the screen bonding point.

NOTE 2 The SPD's preferred value of I_{imp} or I_{max} corresponds to I_v.

Direct lightning to overhead lines may be considered in a similar way.

I.2 Switching overvoltages [5.2.3]

For more information on stresses caused by switching surges, refer to Clause C.3.

I.3 Temporary overvoltages U_{TOV} [5.2.4]

The temporary overvoltage generated by faults in the LV system can be defined by two factors k_1 and k_2:

- k_1 is the ratio of the maximum voltage to the nominal system voltage. k_1 is normally in the range of 1,05 to 1,1. This covers normal regulation of the voltage level.

$$U_{cs} = k_1 \times U_0$$

- k_2 is the maximum magnitude of the power system overvoltage which occurs above the U_{cs} of the power system. The voltage on the unfaulted phase can vary from about 1,25 to a theoretical value of √3 for a fault on a three-phase low-voltage system.

NOTE 1 In single-phase, three-wire (split-phase) systems k_2 can be as high as 2.

The total temporary overvoltage can be expressed as:

$$U_{TOV(LV)} = k_1 \times k_2 \times U_0 = k_2 \times U_{cs}$$

Temporary overvoltages are usually caused by events such as faults on the low-voltage distribution supply system, capacitor switching and motor stopping and starting. These overvoltages are of a short duration. Those caused by faults on the three-phase supply system exist for a period of time of less than 0,05 s up to a maximum of 5 s. Single-phase motor starting, with a poor neutral connection, can cause excessive overvoltages for a period of time typically up to 5 s. Capacitor switching and voltage regulation should not produce overvoltages with a duration of longer than 5 s. Therefore, the temporary overvoltage time period is selected in this document as 0,05 s to 5 s.

NOTE 3 In some networks it is necessary to consider a short-term (lower than 5 s) temporary overvoltage of U_0 + 1 200 V (see IEC 60364-4-44) due to a fault in the high-voltage system ($U_{TOV(HV)}$). In the event, such high values of voltage leads to a failure of the SPD, appropriate testing is performed to ensure that this failure does not create any hazard for personnel or equipment or to the facility. This value of U_0 + 1 200 V is the maximum value of temporary overvoltage for a maximum duration of 5 s. Depending on the type of earthing system of the low-voltage installation and of the high-voltage system, this value can exist or not (see Annex E). In addition, temporary overvoltages having a duration longer than 5 s are defined in IEC 60364-4-44 and may also lead to a failure due to this longer duration.

In this standard, TOVs generated by faults in the LV system are designated as $U_{\mathrm{TOV(LV)}}$ and those generated by faults in the HV system as $U_{\mathrm{TOV(HV)}}$.

On the basis of the formula given above, it is possible, in theory, to draw a curve of voltage versus time of the U_{TOV} in the network. In practice the actual values of U_{TOV} in the network, in particular at the place of installation of SPDs, are not always known. It is rather difficult in such cases to draw the above-mentioned curve as only a few typical points are known.

In general, only standardized maximum values are known and the curve is then reduced to some points. Time values of particular interest for SPD selection are 200 ms and 5 s.

See Figure 14 for the maximum standardized values of U_{TOV}.

Annex J
(informative)

Application of SPDs

NOTE This annex expands upon the text of Clause 7 of this document. Where the information relates to a specific subclause, this is identified as [xxx] below.

J.1 Location and protection given by SPDs [7.1]

J.1.1 Possible modes of protection and installation [7.1.3]

Figure J.1 to Figure J.5 show alternative earthing options.

NOTE 1 The best practice is to use both options to maintain both low protection level and minimal stress on the installation, provided that the connections between the PE connection and the common earthing point of the SPDs are kept as short as possible.

An acceptable installation should address the following five steps.

NOTE 2 The following steps are primarily valid for fixed SPDs connected between line or neutral and earth. Other SPDs may require other rules.

a) Determine the path of the discharge current.

b) Identify the wires which cause an additional voltage drop on the equipment terminals (Figure J.6a) and Figure J.6b)).

NOTE 3 In Figure J.6, U_{res} is the residual voltage for SPDs tested according to class I and II tests or more in most cases the limiting voltage.

c) Arrange the routing of the conductors of each piece of equipment to avoid unnecessary induction loops, see Figure J.6c), Figure J.6d) and Figure J.7. If it is not possible to have a single earthing point, two SPDs are necessary as in Figure J.6d).

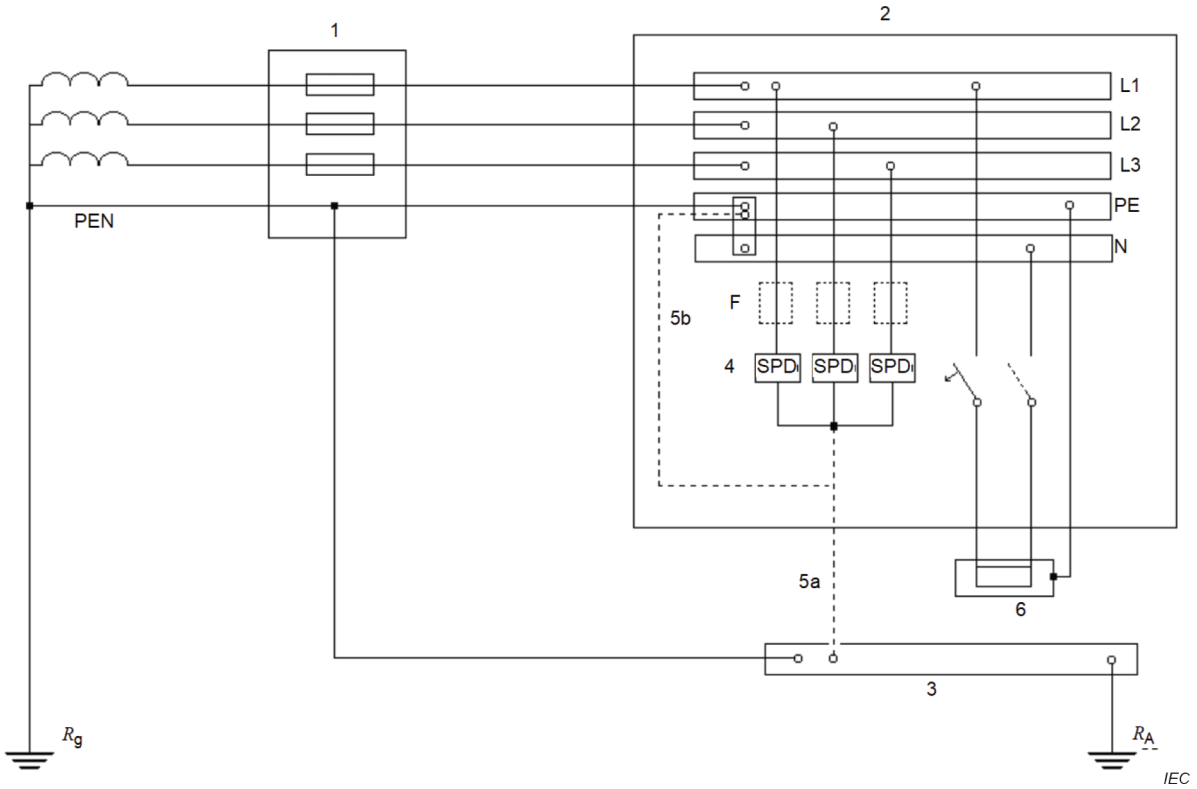
d) Establish equipotential bonding between the equipment and the SPDs.

e) Select the SPD in accordance with the coordination requirements.

Measures should be taken to limit inductive coupling between unprotected and protected parts of the installation. The mutual inductance can be reduced by separation of the inducing source and the victim circuits, limitation of loop areas and selection of the angle of the loops (see Figure J.7). When a current-carrying wire is part of the loop area, the induced voltage can be reduced by routing this wire close to the cable (see Figure J.7a)).

In general, it is better to separate protected wires from those which are not protected. Measures should be taken to avoid cross coupling of transients between power and signalling cables (see Figure J.7b)).

See Figure J.7 for some examples of acceptable SPD installation regarding EMC aspects.



Key

1 Origin of the installation

2 Distribution board

3 Main earthing terminal or bar

4 Surge protective devices

5 Earthing connection of surge protective devices, either location 5a or 5b

6 Equipment to be protected

F Protective device indicated by the manufacturer of the SPD (for example, fuse, circuit-breaker, RCD)

R_A Earthing electrode (earthing resistance) of the installation

R_g Earthing electrode (earthing resistance) of the supply system

Figure J.1 – Installation of surge protective devices in TN-systems

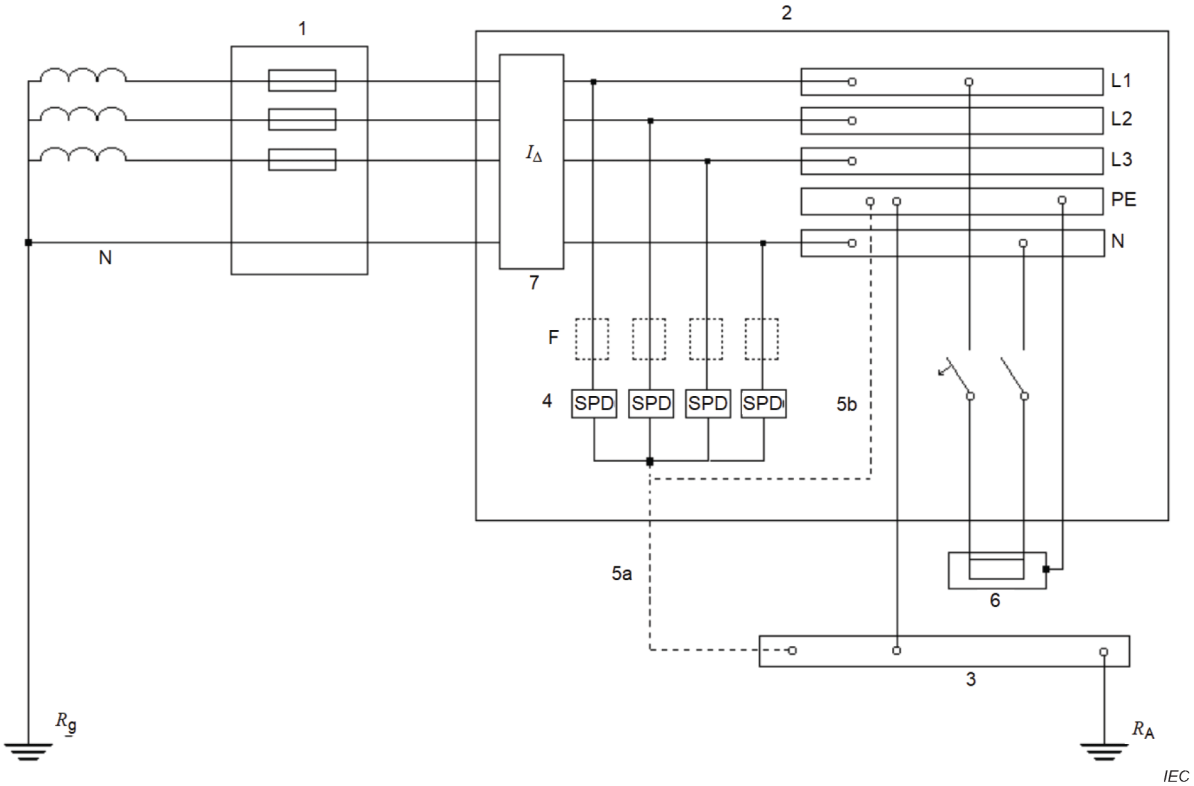


Figure J.2a – Connection Type 1

Key

1 Origin of the installation

2 Distribution board

3 Main earthing terminal or bar

4 Surge protective devices

5 Earthing connection of surge protective devices, either location 5a or 5b

6 Equipment to be protected

7 Residual current protective device (RCD)

F Protective device indicated by the manufacturer of the SPD (for example, fuse, circuit-breaker, RCD)

R_A Earthing electrode (earthing resistance) of the installation

R_g Earthing electrode (earthing resistance) of the supply system

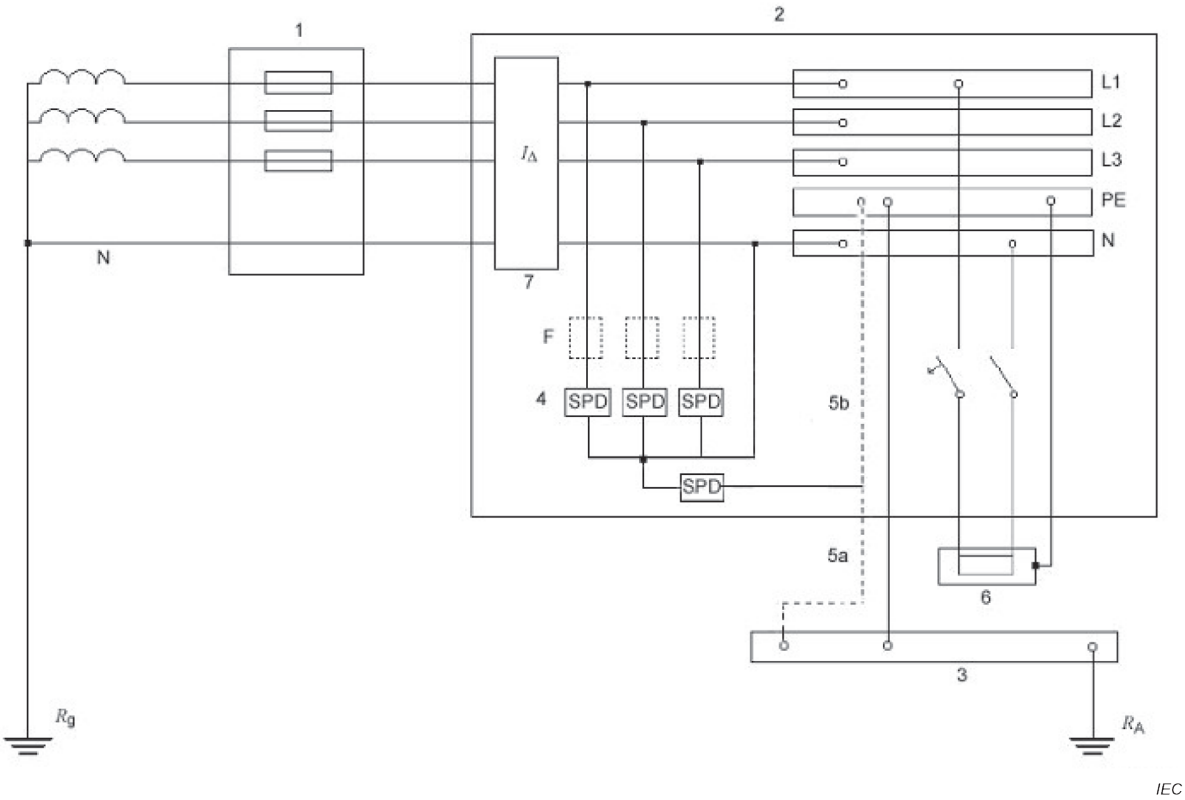


Figure J.2b – Connection Type 2 (CT2)

Key

1 Origin of the installation

2 Distribution board

3 Main earthing terminal or bar

4 Surge protective devices

5 Earthing connection of surge protective devices, either location 5a or 5b

6 Equipment to be protected

7 Residual current protective device (RCD)

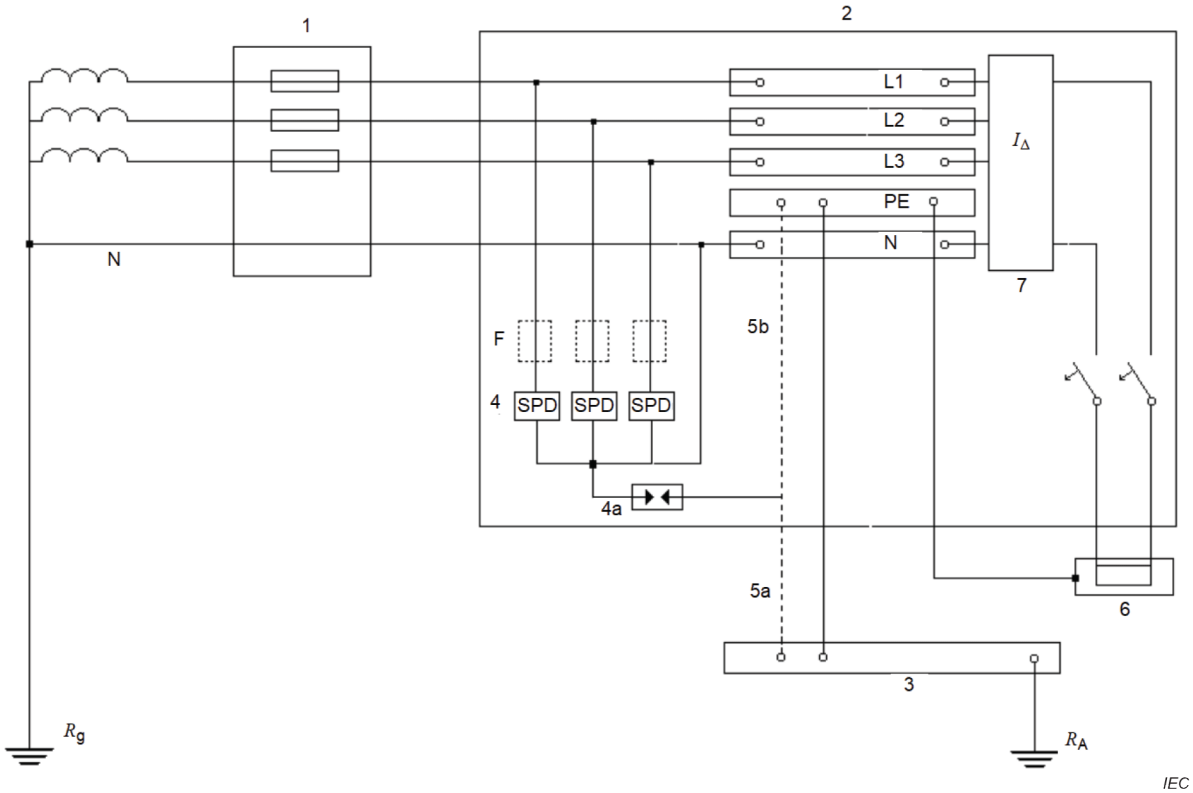
F Protective device indicated by the manufacturer of the SPD (for example, fuse, circuit-breaker, RCD)

R_A Earthing electrode (earthing resistance) of the installation

R_g Earthing electrode (earthing resistance) of the supply system

Figure J.2 – Installation of surge protective devices in TT-systems (SPD downstream of the RCD)

NOTE SPD with Connection Type (CT1) cannot be used upstream of the RCD.



Key

1 Origin of the installation

2 Distribution board

3 Main earthing terminal or bar

4 Surge protective devices

4a Surge protective device in accordance with IEC 60364-5-53, Subclause 2.3.2 or spark gap

5 Earthing connection of surge protective devices, either location 5a or 5b

6 Equipment to be protected

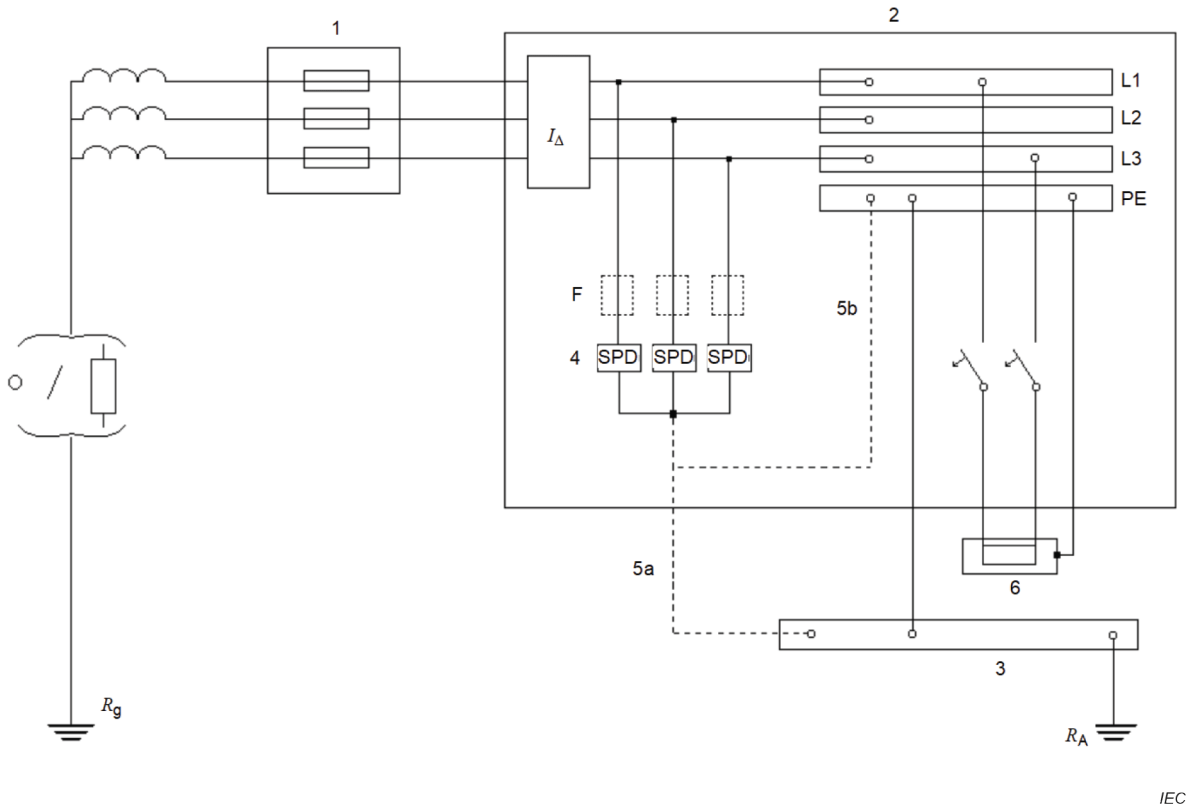
7 Residual current protective device (RCD)

F Protective device indicated by the manufacturer of the SPD (for example, fuse, circuit-breaker, RCD)

R_A Earthing electrode (earthing resistance) of the installation

R_g Earthing electrode (earthing resistance) of the supply system

Figure J.3 – Installation of surge protective devices in TT-systems (SPD upstream of the RCD)



Key

1 Origin of the installation

2 Distribution board

3 Main earthing terminal or bar

4 Surge protective devices

5 Earthing connection of surge protective devices, either location 5a or 5b

6 Equipment to be protected

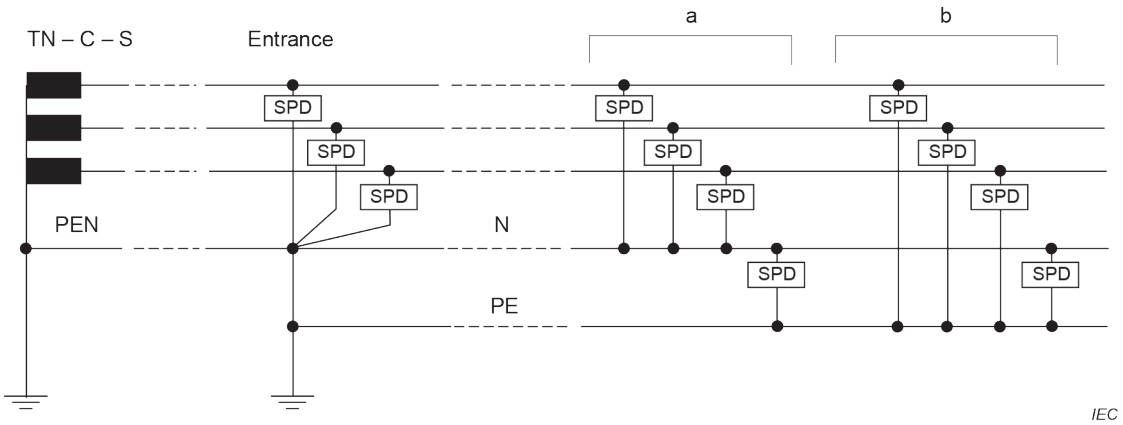
F Protective device indicated by the manufacturer of the SPD (for example, fuse, circuit-breaker, RCD)

R_A Earthing electrode (earthing resistance) of the installation

R_g Earthing electrode (earthing resistance) of the supply system

O / Open circuit or resistance

Figure J.4 – Installation of surge protective devices in IT-systems without distributed neutral



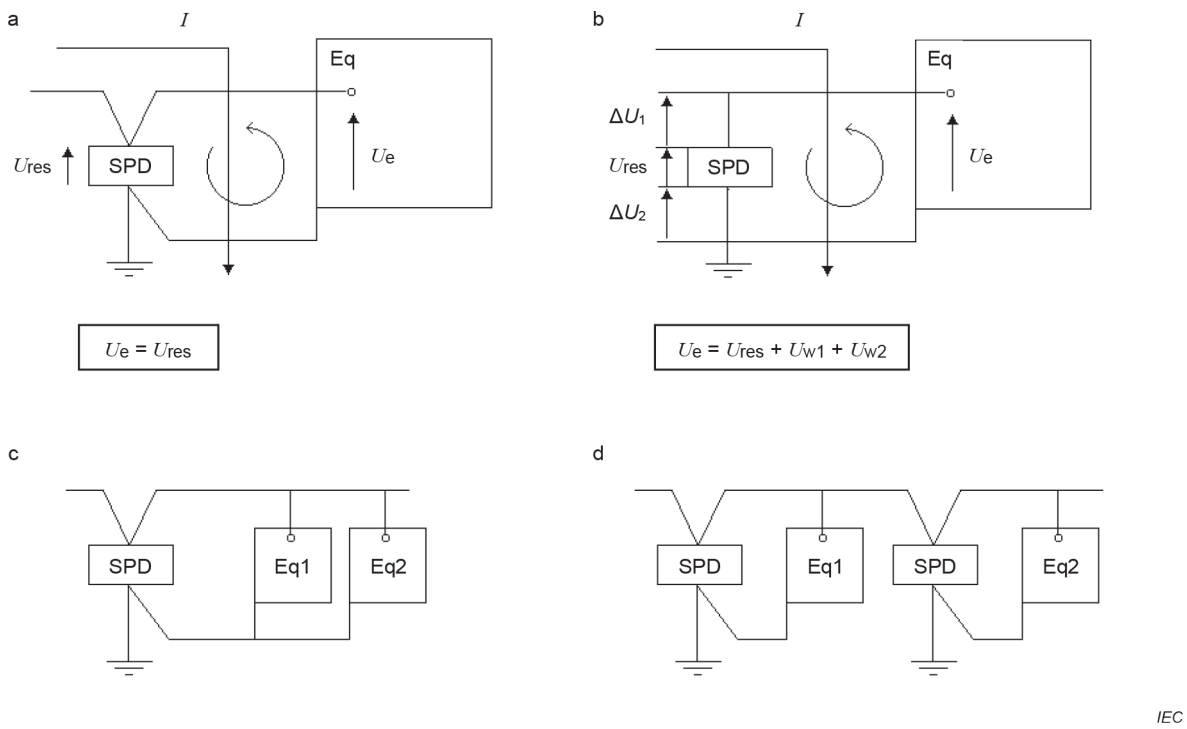
Key

Possible connection for additional SPDs if distance between equipment and entrance of installation is large (see 7.1.4):

a SPDs connected L-N and N-PE

b SPDs connected L-PE and N-PE

Figure J.5 – Typical installation of SPD at the entrance of the installation in case of a TN C-S system



Key

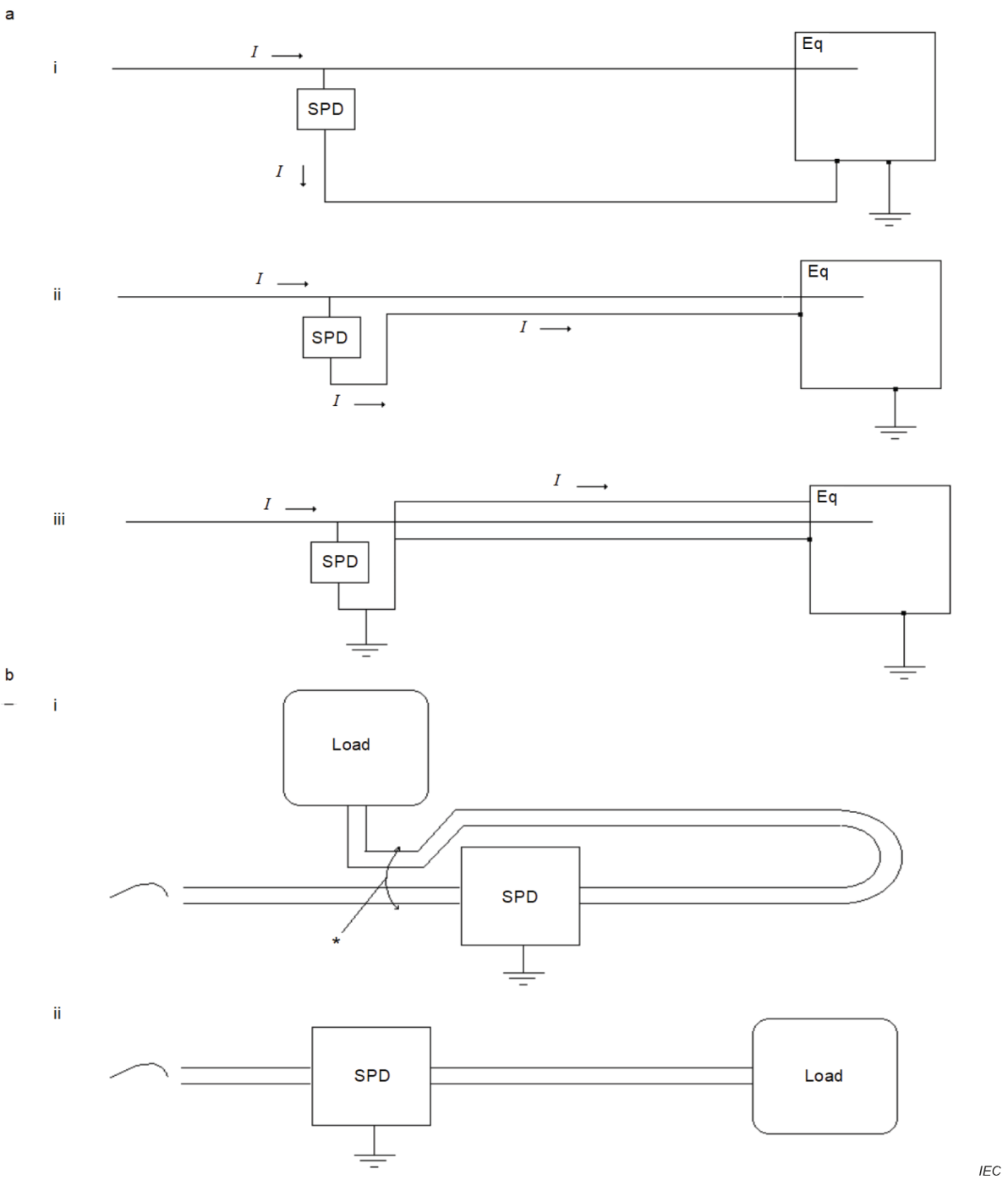
Eq equipment

Configurations a, c and d are acceptable

Configuration b is acceptable if ΔU_1 and ΔU_2 are low enough

NOTE The current I flows through the SPD, and the magnetic field due to the flow of this current enters the loop formed by the leads to the equipment terminals. This has the effect of adding an induced voltage to the SPD's residual voltage. This combined voltage appears across the equipment terminals.

Figure J.6 – General way of installing one-port SPDs



Key

a Electromagnetic coupling

i Bad practice – large loop area results in high $d\phi/dt$ caused by dI/dt

ii Better practice – small loop area results in lower $d\phi/dt$

iii Best practice – cable shield results in $d\phi/dt \approx 0$ inside the shield

b Inductive coupling

i Bad installation – inductive coupling will occur at point marked *

ii Good installation – cables upstream and downstream of the SPD are well separated

Figure J.7 – Examples of acceptable and unacceptable SPD installations regarding EMC aspects

J.1.2 Influence of the oscillation phenomena on the protective distance [7.1.4.2]

In general, it is not sufficient to use an SPD close to the equipment to be protected. It is much better to install the SPD at the entrance of the installation for EMC reasons (it is better to divert the current at the entrance in order to avoid electromagnetic disturbances due to the surge currents) and to protect the installation (to avoid flashover between conductors, etc.). If necessary, another SPD close to the equipment shall be installed if the equipment is not within the protective distance of the SPD installed at the entrance. Coordination studies are then necessary (see 7.2.7).

The reason for the need for additional surge protection is the possibility that oscillations or travelling waves caused by the surge impulse may result in higher than expected voltages at the equipment that is to be protected. Figure J.8 gives an example of a physical and electrical representation of such a system.

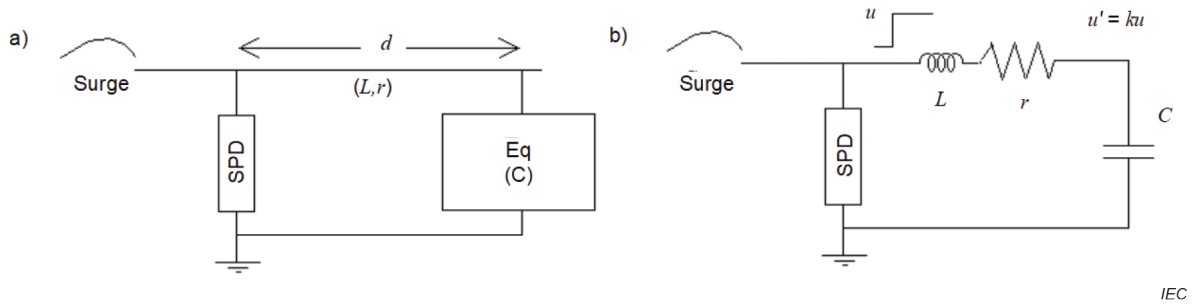


Figure J.8 – Physical and electrical representations of a system where equipment being protected is separated from the SPD giving protection

The voltage experienced at the equipment will depend on the frequency of the surge and the length of the conductors. Depending on the value of r, oscillations between L and C can increase the voltage at the equipment terminals u' up to ku. The value of k depends on many parameters. Where equipment presents a high impedance load, in practice, k is less than 2.

The circuit given in Figure J.9 corresponds to a surge source generating a 5 kA 8/20 impulse being applied to a Metal oxide varistors (MOV) SPD, which is separated from equipment with a load capacitance of 5 nF. This circuit was simulated, producing the response given in Figure J.10. This shows how the voltage at the terminals of the equipment being protected can reach double the voltage at the SPD terminals.

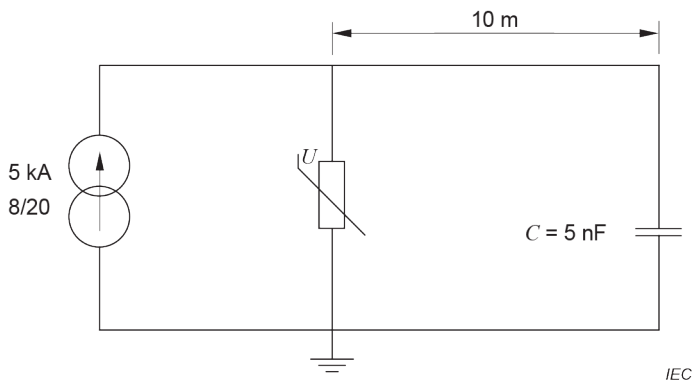
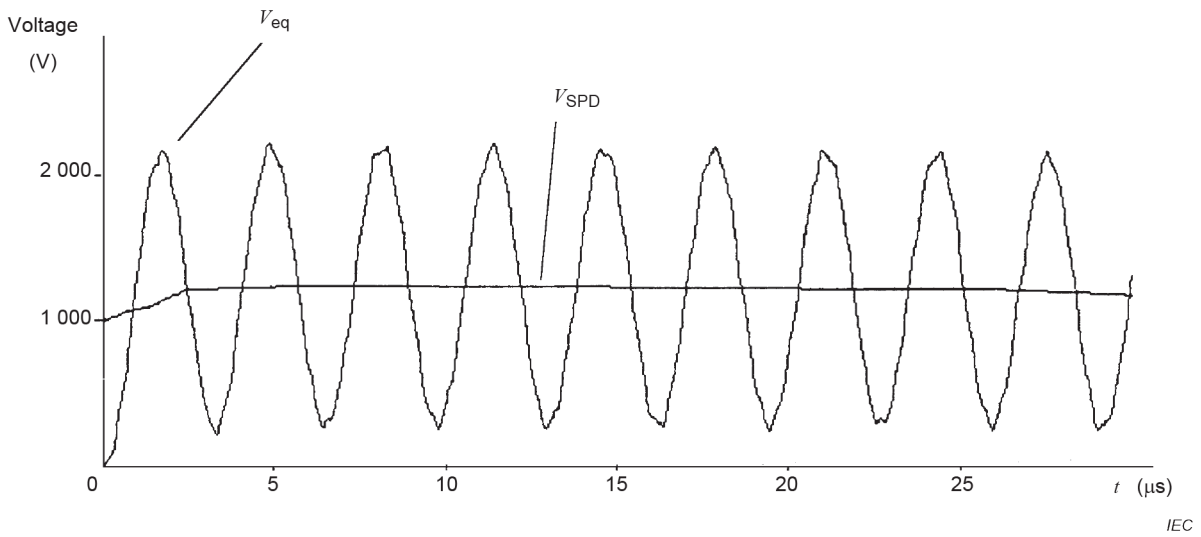


Figure J.9 – Possible oscillation between a Metal oxide varistors (MOV) SPD and the equipment to be protected



Key

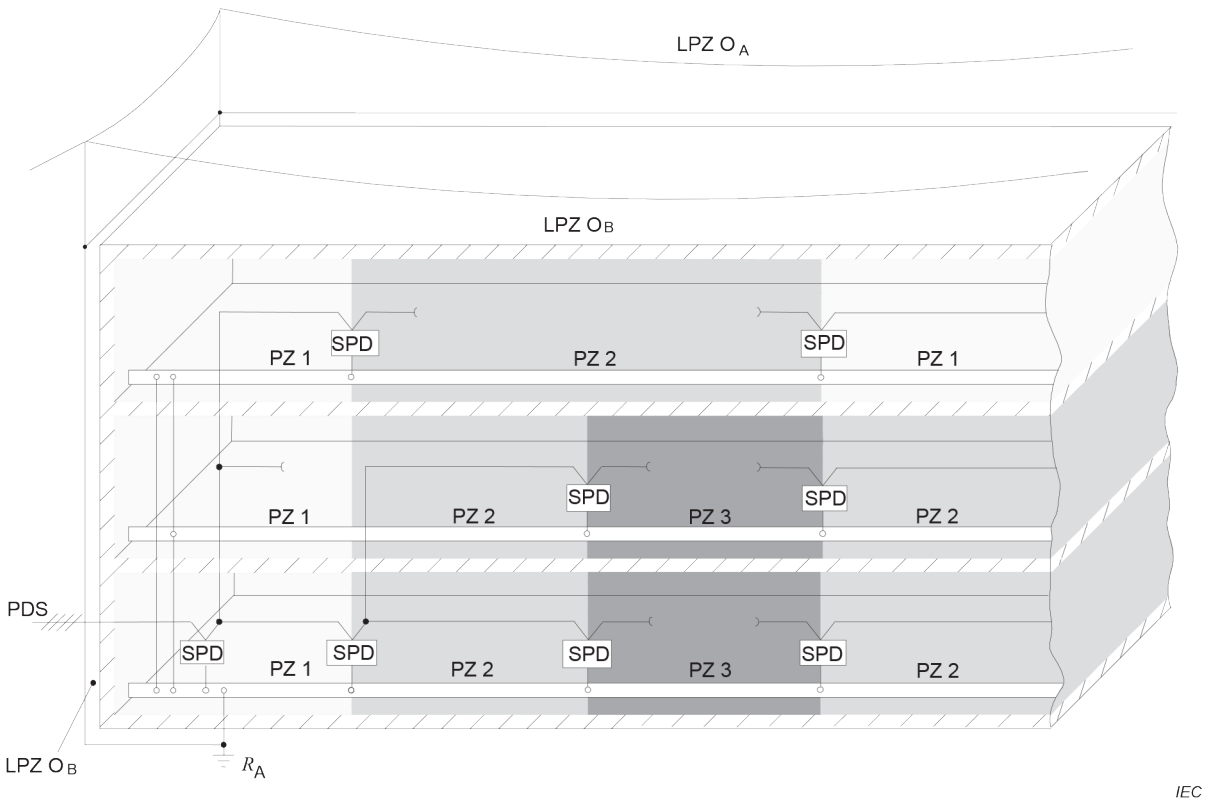
V_{SPD} Voltage at the SPD

V_{eq} Voltage at the equipment terminals

Figure J.10 – Example of voltage doubling

J.1.3 Protection zone concept [7.1.4.6]

An example of the subdivision of the building power distribution system into protection zones and allocation of the surge protective devices is shown in Figure J.11 according to IEC 62305-4 for a direct lightning strike.



Key

LPZ Lightning protection zone

PDS Power distribution system

SPD Surge protective device

Figure J.11 – Subdivision of a building into protection zones

The Lightning Protection Zones (LPZ) are defined as follows.

- Lightning Protection Zone 0_A (LPZ 0_A ,IEC 62305-4)

  Zone where items are subject to direct lightning strokes and therefore may have to carry up to the full lightning current. The unattenuated electromagnetic field occurs here.

- Lightning Protection Zone 0_B (LPZ 0_B, IEC 62305-4)

  Zone where items are not subject to direct lightning strokes but the unattenuated electromagnetic field occurs. Conducted unattenuated lightning currents and switching surges occur.

- Lightning Protection Zone 1 (LPZ 1)

  Zone where items are subject to partial direct lightning strokes. The conducted impulse lightning currents and/or switching surges are reduced compared with LPZ 0_A or LPZ 0_B.

- Lightning Protection Zone 2 (LPZ 2)

  Remnants of lightning impulse currents and/or switching surges are reduced compared with LPZ 1.

- Lightning Protection Zone 3 (LPZ 3)

  Surges, caused by oscillation effects, magnetic field couplings and internal switching surges are reduced compared with LPZ 2.

The conducted threatening parameters are reduced by installing surge protective devices at the LPZ boundaries. Coordination between these SPDs should be done in accordance with 7.2.7. The performance parameters of these devices are suited to the con-ducted threatening parameters at the place of their installation (see 7.2.2 and 7.1.1).

NOTE If, according to IEC 62305-4, Class I tested SPDs should be used, they should be installed at the LPZ 0_B boundary with LPZ 1.

Each time an SPD according to 7.1.4 is installed a new LPZ is created.

J.2 Selection of SPDs

J.2.1 Selection of U_c [7.2.2.1]

For most SPDs, a temporary overvoltage having a duration of more than 5 s shall be considered as a permanent stress. Therefore, U_c shall be chosen to take into account normal conditions and the fault conditions (temporary overvoltages) which last longer than 5 s.

a) Normal conditions

1) Between phase and neutral

The SPD U_c between phase and neutral should be equal to or higher than U_{cs} (i.e. in general 1,10 times U_0: 10 % for voltage regulation or 1,15 if we consider 5 % for margin due to possible degradation of the SPD and other abnormal system conditions).

2) Between phases

The SPD U_c between phases should be equal to or higher than U_{cs} (i.e. in general 1,10 times U_0 multiplied by √3).

NOTE 1 In some instances, depending upon the voltage regulation limits (for example in very large buildings where the regulation is defined at the meter only), there are cases that U_{cs} exceed the general limits given above (10 % and 10 % × √3 respectively).

In some cases, the voltage regulation is tighter (for example 5 %). In this case lower values may be sufficient (for example U_c may be higher than 1,05 times U_0 (respectively 1,05 × √3 × U_0)).

3) Between phases and earth or neutral and earth:

- For TT and TN systems the SPD U_c between phase and earth or neutral and earth shall be equal to or higher than U_{cs} (in general 1,10 times U_0).
- For IT systems see abnormal conditions below.

NOTE 2 If the service is supplied from a transformer with a centre tap on one of the transformer secondaries, there are two values for U_c. One value of U_c is 1,0 times U_{cs} and the other is (√ 3)/2 × U_{cs}.

The presence of harmonics can increase the peak value of the service voltage, therefore it may be necessary to increase the value of U_c compared to what should be the selection of U_c without these harmonics.

b) Abnormal conditions (fault conditions):

Sometimes it may be necessary to take account of specific fault conditions in the choice of U_c for SPDs connected between phase and earth. This is done in order to avoid the destruction of too many SPDs when a fault occurs in the system. In the case of an IT system it is essential to take care of such fault conditions.

Under earth fault conditions for TT and TN systems, the voltage between phase and earth may exceed U_{cs}. This is due to fault conditions on either the high voltage system or the low-voltage system and depends upon the earthing as to the maximum magnitude of the voltage. For additional information on this topic see 5.2.4.2. The choice of U_c then depends on the actual value of voltage given by such fault conditions. It is not possible to use a value of U_c high enough to ensure that no fault in the system causes damage to the SPDs, as the protective level will then be poor. In general, an appropriate value, independent of system topology, is to have U_c higher than 1,5 × U_0.

Under earth fault conditions for IT systems, the voltage between phase and earth in most cases has a magnitude of $\sqrt{3} \times U_0$. Such faults on the low-voltage system may have a duration long enough to be considered as a permanent condition.

In this case, it is highly recommended to have U_c higher than the phase-to-phase voltage.

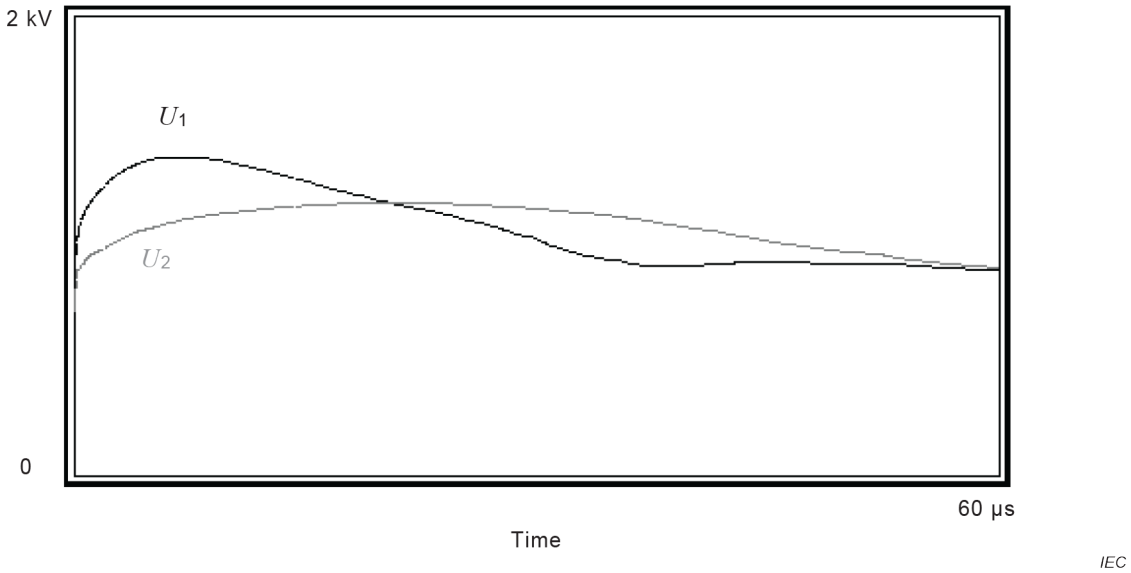
Examples of the relationship between the SPD's U_c and the nominal voltage of the power system are given in Annex B.

J.2.2 Coordination problems [7.3.7.2]

In order to better explain the problem, Figure J.12 shows a typical example of the energy coordination of two Metal oxide varistors (MOV) separated by an inductance. SPD2 has a lower U_p value and a lower I_n value. Due to the inductance effect on the front of the surge most of the current flows through SPD1 and the current in SPD2 will gradually increase with a time constant given by the inductance and the characteristic of SPD2. In this way, more and more of the total current will flow through SPD2 over time.

Figure J.12 shows the total current, the currents through SPD1 and SPD2 and the voltages across SPD1 and SPD2.

- This maximum energy withstand (E_{max}) is defined in this application guide as the maximum energy that the SPD is able to withstand with no degradation. It can be obtained from test results (energy measured in the operating duty test at I_{imp} for class I tests or I_n for class II tests) or calculated taking into account manufacturer's information as I_n (class II tests) or I_{imp} (class I tests) or U_{max}.

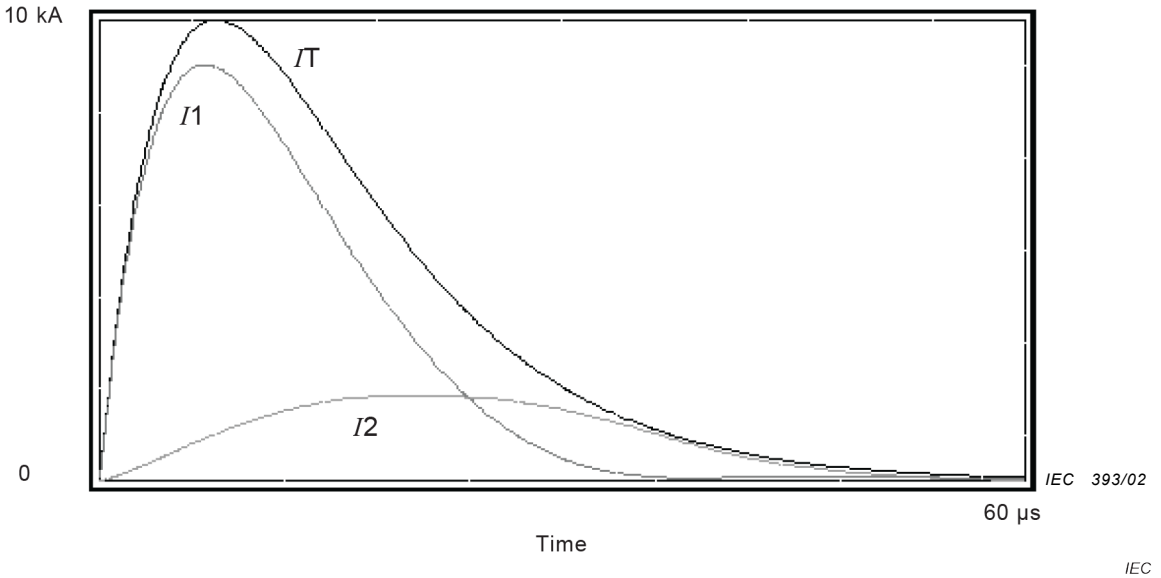


Key

U_1 residual voltage at front SPD terminals

U_2 residual voltage at second SPD terminals

a) – Residual voltage on varistors



Key

I_T Total current

I_1 Current in front SPD

I_2 Current in second SPD

b) – Sharing of current between two varistors

Figure J.12 – Coordination of two Metal oxide varistors (MOV)

The cabling with distance d between the two SPDs, corresponding to an impedance Z may be used as a decoupling element.

- In the case of limiting SPDs, this decoupling impedance is in general only effective for short waveshapes (for example 8/20). With long waveshapes (for example 10/350) this natural decoupling impedance created by the cabling is rarely sufficient. Additional decoupling components may be necessary to provide adequate coordination.
- Where the front SPD is of the switching type, two other characteristics have to be taken into account:
  - It is possible to have a blindspot, which means that for a current lower than I_{imp} the voltage at the terminals of the gap may be so low that the gap does not sparkover and hence is not able to protect the second SPD. It is important that the sparkover of the gap occurs at the front of the surge.
  - For a long front time, the decoupling element may be less effective than for 8/20 or 10/350 waves. Such long front times are presently being considered by the IEC.

In general it is necessary to deal with coordination for two types of surges:

- coordination with long waveshape surges (such as used for class I tests)
- coordination with short waveshape surges (such as used for class II tests)

NOTE It is emphasized that the maximum energy withstand of the two coordinated SPDs is at least equal to the lower energy withstand value of the two SPDs. When a new SPD (SPD2) is connected to a system already containing an SPD (SPD1), proper coordination is achieved.

J.2.3 Practical cases [7.2.7.2]

In an installation, the coordination is always more complicated to study than in the simple example shown above. In effect,

- the presence of lead length or of additional devices such as disconnectors may add an inductance into the scheme. Sharing of current between many SPDs may also need to be studied ==> the actual installation scheme is needed;
- the tolerances on the characteristics of the components used in SPDs may lead to uncertainty of the actual value of the residual voltage at any particular current. In addition, the value which is usually obtained from the manufacturer is the protective level U_p which takes into account a margin such that the actual voltage may in reality be 25 % lower than indicated;
- the energy withstand E_{max} of the SPD may be different for long and short waves. In general, such a value is just given for one class of tests (class I —> long waves and class II —> short waves). Sometimes, this energy withstand is not given and needs to be calculated.

J.3 Simple calculation of I_{imp} for a class I SPD in case of a building protected by a LPS

In case of a LPS being fitted to the building hosting the electrical installation, there is a need to recall the rules given in IEC 62305 series to calculate the sharing of current and thus the current withstand I_{imp} of the SPD located at the entrance.

According to the IEC 62305 series, there is a need to use an equipotential SPD at the entrance of the installation as soon as an LPS is present on the building. This SPD is tested with Class I tests and is defined mainly by a 10/350 withstand I_{imp}.

Depending of the lightning protection level (LPL) of the LPS, this value ranging from I to IV, the current can be calculated by the following formula in the simple case where there is only one power line fitted and all other lines and conduits are not existing or ignored (most severe case).

In practice the above method assumes that only one service enters the facility. In general there may be more services that carry portion of the lightning current away from the facility (such as metal pipes) and this will lead to lower values for I_{imp}. In tables below values for I_{imp} are maximum values. For further information on lightning current sharing refer to IEC 62305-1.

In such a case, the maximum current linked to the LPL of the LPS is divided equally by the number of conductors in the line and divided by two (as 50 % of current is assumed to flow in the earthing system).

Thus, the impulse current I_{imp} that the SPD shall withstand for each mode of protection, can be easily calculated with the following formula:

$$I_{imp} = \text{Maximum current corresponding to LPL} / (2\ n)$$

This leads to the following Tables for I_{imp} for both CT1 and CT2 connection schemes when such a scheme is available. In case of old installations or where the electrical contractor is unaware of the installation detail, the worst case has to be assumed (LPL I).

Table J.1 is for the most usual LV power systems. However, these values directly depend on LV systems configurations which may be very specific in some countries. Table J.2 gives an example for additional usual LV power systems in Japan for cases of LV systems following Table J.4.

Table J.1 – Determination of the value of I_{imp}

			LV system (single phase and three phase systems)									
LPL	**Maximum current corres-ponding to LPL**	**No. of conductors (n)**	TT			TN-C	TN-S			IT without neutral	IT with neutral	
			Connection Type				Connection Type			Connection Type		
			CT1	CT2			CT1	CT2		CT1	CT2	
			L-PE N-PE	L-N	N-PE	L-PEN	L-PE N-PE	L-N	N-PE	L-PE	L-N	N-PE
I or un-known[a]	200 kA		I_{imp} [kA]									
		5	NA	NA	NA	NA	20	20	80	NA	NA	NA
		4	25,0	25,0	100,0	25,0	NA	NA	NA	NA	25,0	100,0
		3	NA	NA	NA	NA	33,3	33,3	66,7	33,3	NA	NA
		2	50,0	50,0	100,0	50,0	NA	NA	NA	NA	50	100,0
II	150 kA		I_{imp} [kA]									
		5	NA	NA	NA	NA	20	20	80	NA	NA	NA
		4	18,8	18,8	75,0	18,8	NA	NA	NA	NA	18,8	75,0
		3	NA	NA	NA	NA	25,0	25,0	50,0	25,0	NA	NA
		2	37,5	37,5	75,0	37,5	NA	NA	NA	NA	37,5	75,0
III or IV	100 kA		I_{imp} [kA]									
		5	NA	NA	NA	NA	10,0	10,0	40,0	NA	NA	NA
		4	12,5	12,5	50,0	12,5	NA	NA	NA	NA	12,5	50,0
		3	NA	NA	NA	NA	16,7	16,7	33,3	16,7	NA	NA
		2	25,0	25,0	50,0	25,0	NA	NA	NA	NA	25,0	50,0

[a] When the LPL value is not known, the worst case shall be assumed.

Key

LPL lightning protection level (level of risk)

n number of conductors of the electrical network. For TN systems (TN-C and TN-S), n also includes the PE (PEN) conductor through which the same current flows as for live conductors.

n = 5 for three phase + N networks such as TN-S systems

n = 4 for three phase + N networks such as TT, TN-C and IT systems

n = 3 for single phase + N networks such as TN-S or three phase IT systems without distributed neutral

le phase + N network such as TT, TN-C and IT systems

CT1, CT2 connection modes of the SPD according to IEC 61643-12 (according to IEC 60364-5-534,

CT1 corresponds to connection types A and B while CT2 corresponds to connection type C).

For IT systems protected by SPDs in CT2 mode, the follow current interrupting rating of SPDs connected between the neutral and the PE conductors shall be the same as for SPDs connected between phase and neutral. It shall be equal to or higher than the expected line to neutral short circuit current at the point of installation (IEC 60364-5-534)

Table J.2 – Determination of the value of I_{imp} for additional systems used in Japan

			LV TT systems		
			Connection Type		
			CT1	CT2	
LPL	Maximum current correspon ding to LPL	No. of conductors (n)	L-PE N-PE (if N is distributed)	L-N	N-PE
I or un-known[a]	200 kA		I_{imp} [kA]		
		3 (three phase Y midpoint grounded without distributed neutral)	33,3	NA	NA
		3 (single phase – split phase and three phase corner grounded DELTA with distributed neutral)	33,3	33,3	100,0
		2 (single phase – split phase without distributed neutral)	50	-	-
II	150 kA		I_{imp} [kA]		
		3 (three phase Y midpoint grounded without distributed neutral)	25,0	NA	NA
		3 (single phase – split phase and three phase corner grounded DELTA with distributed neutral)	25,0	25,0	75,0
		2 (single phase – split phase without distributed neutral)	37,5	-	-
III or IV	100 kA		I_{imp} [kA]		
		3 (three phase Y midpoint grounded without distributed neutral)	16,7	NA	NA
		3 (single phase – split phase and three phase corner grounded DELTA with distributed neutral)	16,7	16,7	50,0
		2 (single phase – split phase without distributed neutral)	25	-	-

[a] When the LPL value is not known, the worst case shall be assumed.

Key

LPL lightning protection level (level of risk)

n number of conductors of the electrical network.

n = 3 for three phase TT system Y-configuration (midpoint grounded) without distributed neutral.

n = 3 for single phase (two conductors) + N networks such as split phase systems or three phase corner grounded DELTA systems, where the grounded phase wire may defined as a neutral wire.

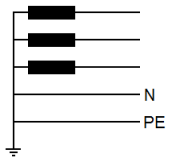
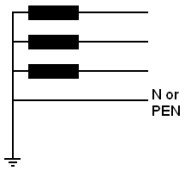
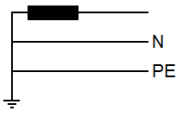
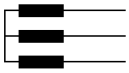
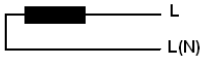
n = 2 for single phase (two conductors) such as split phase systems without distributed neutral wire.

CT1, CT2 connection modes of the SPD according to IEC 61643-12 (according to IEC 60364-5-534,

CT1 corresponds to connection types A and B while CT2 correspond to connection type C).

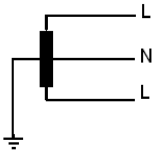
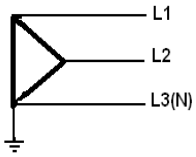
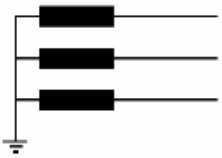
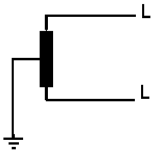
Most usual principles of TT, TN- and IT- LV power systems are given in Table J.3.

Table J.3 – number of conductors related to usual structure of power supply

No. of conductors (n)	TT or TN-C system	TN-S system	IT system with distributed neutral	IT system without distributed neutral
5	-	Three phase	-	-
				
4	Three phase	-	Three phase	-
				
3	-	Single phase	-	Three phase
				
2	Single phase	-	Single phase	
				

Additional LV power systems are used in Japan.

Table J.4 – number of conductors related to additional systems used in Japan

No. of conductors (n)	Additional TT system with distributed neutral		TT system without distributed neutral
3	(Single phase) Split phase	Three phase – corner grounded DELTA	Three phase – Y midpoint grounded
			
2	-		(Single phase) Split phase
			

Annex K
(informative)

Immunity vs. rated impulse voltage withstand

It should be noted that in spite of IEC 60664-1 describing how to obtain U_W, it may difficult in practice to obtain U_W value for every type of equipment within an installation.

Technical committees shall specify the overvoltage category as based on the following general explanations:

– Equipment of overvoltage category IV is for use at the origin of the installation.

NOTE 1 Examples of such equipment are electricity meters and primary overcurrent protection equipment.

– Equipment of overvoltage category III is equipment in fixed installations in cases where a high level of reliability of the equipment is needed.

NOTE 2 Examples of such equipment are switches in the fixed installation and equipment for industrial use with permanent connection to the fixed installation.

– Equipment of overvoltage category II is energy-consuming equipment to be supplied from the fixed installation.

NOTE 3 Examples of such equipment are appliances, portable tools and other household and similar loads.

If such equipment is subjected to special requirements with regard to reliability and availability, overvoltage category III applies.

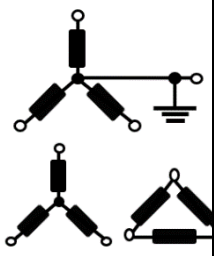
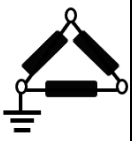
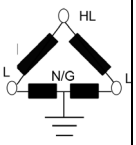
NOTE 4 The voltage protection level of SPDs should be selected so as not to exceed the rated impulse voltages given in Table K.1 for each overvoltage category.

– Equipment of overvoltage category I is equipment for connection to circuits in which measures are taken to limit transient overvoltages to an appropriately low level.

These measures shall ensure that the transient overvoltages that could occur are sufficiently limited so that their peak value does not exceed the relevant rated impulse voltage, see Table K.1.

NOTE 5 Examples of such equipment are those containing electronic circuits protected to this level.

Table K.1 – Typical rated impulse voltages (derived from IEC 60664-1)

Voltage line to neutral or line to line (for phase or corner grounded systems) derived from nominal voltages AC up to and including [6]	**Nominal voltages presently used in the world Nominal voltage of the supply system based on IEC 60038 [4]**					**Rated impulse voltage [1]** V			
	Three-phase systems unearthed [6] or with earthed neutral (starpoint), e.g. 	Three-phase systems phase earthed (corner grounded) 	Three-phase systems phase earthed (High Leg Delta) 	Single phase-two-wire systems earthed or unearthed AC	Single phase-three-wire systems (split phase) earthed AC	**Overvoltage category[5]**			
V	V	V	V	V	V	**I**	**II**	**III**	**IV**
50	-	-	-	12,5; 24; 25; 30; 42; 48	30 – 60 [7]	**330**	**500**	**800**	**1 500**
100	66/115	66	-	60	_	**500**	**800**	**1 500**	**2 500**
150	120/208 [2] 127/220	115, 120, 127	-	100 [3]; 110, 120[2]	100 – 200 [3] [7], 110 – 220 [7], 120 – 240 [2] [7]	**800**	**1 500**	**2 500**	**4 000**
300	220/380, 230/400, 240/415, 260/440, 277/480 [2]	200 [3], 220, 230, 240, 260, 277 [2]	120/208/ 240 [10]	220	220 – 440 [7]	**1 500**	**2 500**	**4 000**	**6 000**
600	347/600 [2], 380/660, 400/690, 415/720, 480/830	347, 380, 400, 415, 440, 480, 500, 557, 600	240/415/ 480 [10]	480	480 – 960 [7]	**2 500**	**4 000**	**6 000**	**8 000**
1000	-	660, 690, 720, 830, 1000	-	>601 ≤ 1 250 [9]	>601 ≤ 2 500 [8] [9]	**4 000**	**6 000**	**8 000**	**12 000**
1500	-	-	-	>1 250 ≤ 1 500 [9]	> 1 250 ≤ 3 000 [8] [9]	**6 000**	**8 000**	**10 000**	**15 000**

1) Equipment with this **rated impulse withstand voltage** can be used in installations in accordance with IEC 60364-4-44.

2) Practice in United states of America and in Canada.

3) Practice in Japan.

4) The / mark indicates a four-wire three phase distribution system. The lower value is the voltage line-to-neutral, while the higher value is the voltage line-to-line. Where only one value is indicated, it refers to three-wire, three-phase systems and specifies the value line-to-line.

5) See the text above the table for explanation of the **overvoltage categories**.

6) In three phase IT-systems this is the nominal voltage between phase and either a distributed neutral or undistributed starpoint, or an imaginary starpoint in delta systems: For most systems, this voltage is equivalent to the phase to phase voltage divided by √3 (see IEC 62477-1:2012).

   The voltages provided in this column apply only for the selection of the corresponding overvoltage category, and are not applicable for insulation design based on other parameters than the overvoltage category (e.g. for creepage distances to earth or to touchable surfaces the phase-to phase voltage must be considered under first fault conditions in three phase IT-systems).

7) The – mark separate the voltage line to mid-point from the voltage phase to phase.

8) First value is minimum value for voltage line to mid-point and second value is maximum from the voltage phase to phase.

9) As there are no nominal system voltages defined in IEC 60038 above 1 000 V a voltage range is provided here.

10) The / mark indicates the voltage of the high-leg delta three phase distribution system. The voltages shown above areL-N/HL-N/L-L voltages.

IEC 61000-4-5 describes the tests to determine the immunity from voltage and current surges for electronic equipment and systems. The equipment or system to be tested is regarded as a black box and the results of the tests are judged by the following criteria:

1) Normal performance.
2) Temporary loss of function or temporary degradation of performance not requiring an operator.
3) Temporary loss of function or temporary degradation requiring an operator.
4) Loss of function with permanent damage to equipment (which means failing the test).

Whereas the tests of IEC 61000-4-5 investigate the full range of possible effects of comparatively low current surges on electronic equipment and systems, including permanent damage and destruction of equipment and systems, there are other related test standards which are not so much concerned with temporary loss of function, but more with actual damage or destruction of equipment. IEC 60664-1 is concerned with insulation coordination for equipment within low voltage systems. It measures line to line and line to ground but doesn’t measure the output characteristic of the equipment during this test. IEC 61643-11 is a test standard for surge protective devices connected to low-voltage power systems. In addition, both of these standards are concerned with the effect of temporary overvoltage on equipment. IEC 61000-4-5 and other standard in the IEC 61000 series do not consider the effect of temporary overvoltages on equipment or systems.

Permanent damage is hardly ever acceptable, since it results in system downtime and expense of repair or replacement. This type of failure is usually due to inadequate or no surge protection, which allows high voltages and excessive surge currents into the circuitry of the equipment, causing disruption of operation, component failures, permanent insulation breakdown and hazards of fire, smoke or electrical shock. It is also undesirable, however, to experience any loss of function or degradation of equipment or system, particularly if the equipment or system is critical and must remain operational during surge activity.

For the tests described in IEC 61000-4-5, the magnitude of the applied voltage test level (installation class) and the resultant surge current will have a direct effect on the response of the equipment. Simply stated, the higher the voltage level of a surge, the higher the likelihood of loss of function or degradation, unless the equipment has been designed to provide an appropriate surge immunity.

To test surge protective devices (SPDs) used on low voltage power systems, IEC 61643-11, test class III, specifies a combination wave generator with a fictive impedance of 2 Ω, which produces an 8/20 short circuit current waveshape and a 1,2/50 open circuit voltage waveshape. IEC 61000-4-5 uses the same combination wave generator for the surge immunity test for powered equipment and systems but with different coupling elements and also sometimes an additional series impedance. In addition, there is a longer test waveform used for transients generated within a facility, it is 10/700 from ITU-T. The meaning of voltage test level (installation class) of this standard and the peak open circuit voltage U_{oc} of IEC 61643-11 are equivalent. This voltage determines the peak short circuit current value at the generator terminals. Due to differences in the test methods test results may not be directly comparable.

Surge immunity of equipment or systems may be achieved by built-in surge protective components (SPC) or surge protective devices, or external SPDs. One of the most important selection criteria for SPDs is the voltage protection level, U_p, defined and described in IEC 61643-11. This parameter should be coordinated with the withstand voltage of the equipment U_W according to IEC 60664-1 and is the maximum voltage to be expected across the terminals of the SPD during the tests in specific conditions. U_p is only used in this standard for coordination with the withstand voltage of the equipment U_W. The value of the voltage protection level at a comparable stress should also be below the voltage immunity level at this comparable stress of the equipment tested to IEC 61000-4-5 but this is not addressed at the present time, especially because waveshapes are not always comparable between the two standards.

In general, surge immunity levels of equipment according to IEC 61000-4-5 are lower than insulation rated impulse voltage withstand levels according to IEC 60664-1, however care should be taken regarding the effects of temporary overvoltages according to IEC 60364-4-44 on an SPD (or built-in surge protective component) having an excessively low protection level. It is quite possible to choose an SPD that will protect equipment from failure, remain operational during surge activity and withstand most temporary overvoltage conditions.

Susceptibility (immunity) levels are given in Table K.2.

Unless stated, the susceptibility level (U_i) of equipment is assumed to be 1 kV line to line and 2 kV line to ground.

Table K.2 – Selection of immunity test levels depending on the installation conditions

Installation class	Test levels (kV)											
	AC power supply and a.c. I/O directly connected to the mains network Coupling mode		AC power supply and a.c. I/O not directly connected to the mains network Coupling mode		DC power supply and d.c. I/O directly connected thereto Coupling mode		Unsymmetrical operated [4,6] circuits/lines Coupling mode		Symmetrical operated [4,6] circuits/lines Coupling mode		Shielded I/O and communication lines[f] Coupling mode	
	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	All lines-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	0,5	NA	NA	NA	NA	NA	0,5	NA	0,5	NA	NA
2	0,5	1,0	NA	NA	NA	NA	0,5	1,0	NA	1,0	NA	0,5
3	1,0	2,0	1,0[e]	2,0[b e]	1,0[e]	2,0[b e]	1,0[c]	2,0[b c]	NA	2,0[b c]	NA	2,0[c]
4	2,0	4,0[b]	2,0[e]	4,0[b e]	2,0[e]	4,0[b e]	2,0[c]	4,0[b c]	NA	2,0[b c]	NA	4,0[c]
5	[a]	[a]	2,0	4,0[b]	2,0	4,0[b]	2,0	4,0[b]	NA	4,0[b]	NA	4,0[c]

[a] Depends on the class of the local power supply system.

[b] Normally tested with primary protection.

[c] The test level may be lowered by one level if the cable length is shorter or equal to 10 m.

[d] No test is advised at data connections intended for cables shorter than 10 m.

[e] If protection is specified upstream from the EUT, the test level should correspond to the protection level when the protection is not in place.

[f] High speed communications lines could be included under unsymmetrical, symmetrical, shielded I/O and/or communications lines.

Additional considerations on immunity levels for general equipment:

According to IEC 61000-3-15 and IEC 61000-2-14, it is recommended that rated impulse voltage is 5 times higher than nominal voltage between live conductors to avoid malfunctions.

The surge immunity level is lower than impulse withstand level, see Table K.3.

Table K.3 – Immunity level for AC input

Nominal voltage of equipment	Required surge immunity voltage of equipment kV	Relevant test level in IEC 61000-4-5 (example)	
		voltage	current
120/240	0,6/1,2	0.5 kV (level 1)	0,25 kA
230/400 277/480	1,2/2,0 1,4/2,4	1.0 (level 2) 2.0 (level 3)	0.5 kA 1.0 kA
400/690	2,0/3,5	4.0 (level 4)	2.0 kA

Additional protection for surge immunity may be needed in sensitive equipment such as a computer or high processing unit. This equipment uses a low value of dc power from a Switch Mode Power Supply (SMPS). Although the input circuit of SMPS has strong impulse voltage withstand, output voltage of SMPS can vary by surge. Therefore, the additional protection method may be needed in output dc circuit of SMPS such as a small specific ABD or thyristor. During the immunity test, output dc voltage shall be measured in advance to apply appropriate element for protection.

Immunity according to IEC 61000-4-5 and IEC 60050-161:1990, 161-01-20 is the ability of a device, equipment or system to perform without degradation in the presence of an electromagnetic disturbance.

As noted above, it is possible to select an SPD based on its parameters, which will achieve protection of the equipment against over-voltages. This ensures that the equipment is protected against flash-overs between the active conductors and ground (i.e. insulation coordination). This is achieved by selecting the SPD based on its protection level U_p in relation to the equipment's rated impulse withstand voltage U_W, as described in Subclause 7.1.4.5.

NOTE These principles are also addressed in standards such as IEC 62305-4, IEC 60664-1 and the IEC 60364 series.

The above measures do not necessarily ensure complete immunity of the equipment since the SPD selection cannot be based simply on matching its parameters to the immunity of the equipment. As an example, equipment having an immunity of 2 kV according to IEC 61000-4-5, will not necessarily be immune from damage, or malfunction, from higher stresses, even when protected by an SPD having a protection level U_p of less than 2 kV.

Coordination of the SPD with the equipment in terms of immunity depends on a variety of parameters including:

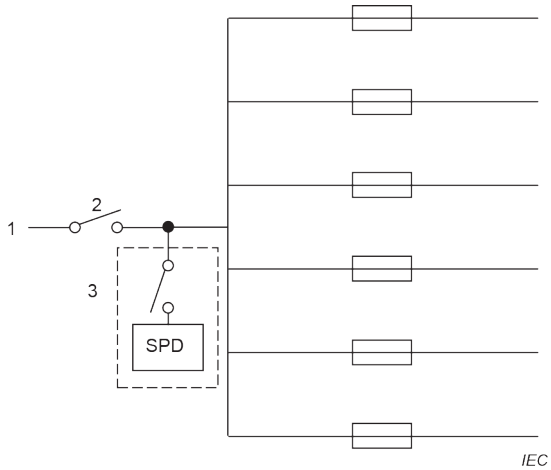
– SPD type (switching, limiting, combination) and its characteristics
– any SPC (type and characteristics) within the equipment
– any overcurrent protection within the equipment
– any capacitor / filtering components within the equipment
– impedance and resistance of the interconnecting conductor between the SPD and equipment
– the stress imposed (current, frequency, waveshape etc.)

Very often these parameters are not known, or not well defined. This means that although the SPD will in many cases protect the equipment in terms of immunity (based on selection according to the rated impulse withstand voltage of the equipment), to ensure complete immunity of the system against LEMP, additional evaluation is needed by means of testing or simulation at a system level, see Annex O.

Annex L
(informative)

Examples of SPD installation in power distribution boards in some countries

Figure L.1 to Figure L.5 depict typical installation of SPDs in power distribution boards for some countries. As already discussed in this standard it is important to ensure that lead lengths are minimized and that short-circuit withstand rating of the SPD is coordinated with the prospective short-circuit current I_{sc} at the panel location.



Key

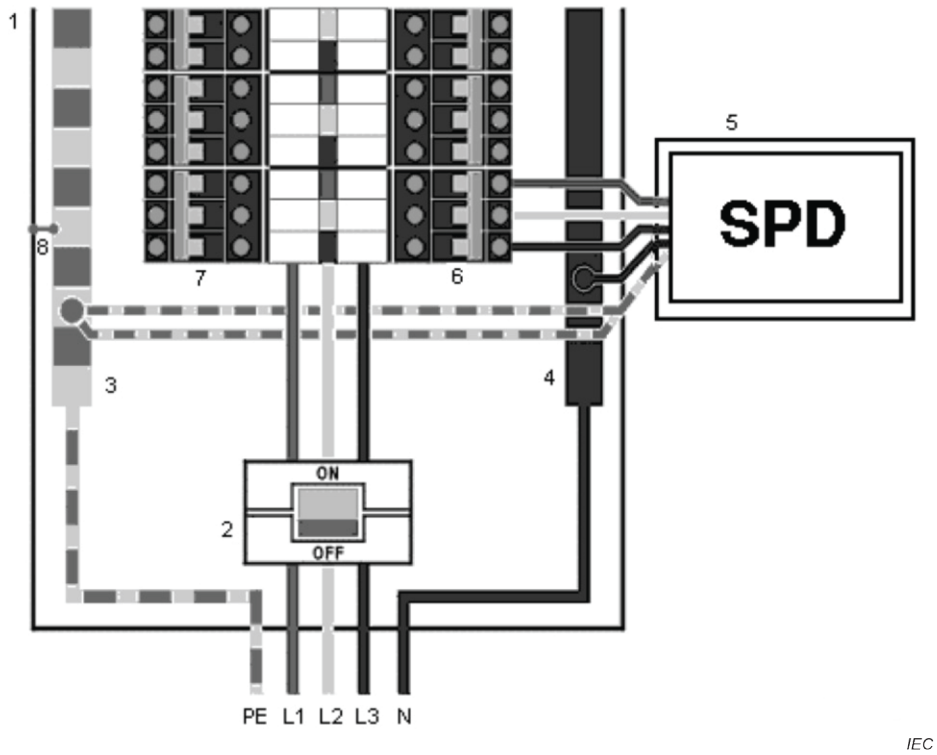
1 Incoming supply

2 Main switch (called isolator in some countries)

3 SPD and its disconnector (could be installed within SPD enclosure)

Figure L.1 – A wiring diagram of an SPD connected on the load side of the main incoming isolator via a separate isolator (which could be included in the SPD enclosure)

This use of such a disconnector for the SPD is good practice as it allows the unit to be disconnected without disconnection of the main isolator, as the SPD would need to be disconnected for dielectric withstand testing (called flash testing in some countries) of the installation for example.



Key

1 Distribution board

2 Main switch (main isolator or main circuit breaker (MCB))

3 Main earthing terminal

4 Neutral terminal

5 Enclosure for SPD

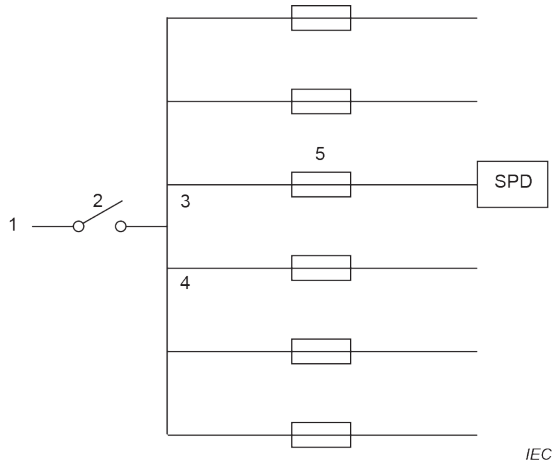
6 First downstream fuse block

7 Alternative first downstream fuse block

8 Cross bond to distribution board chassis

Figure L.2 – SPD connected to the nearest available outgoing MCB to the incoming supply (TNS installation typically seen in the UK)

The MCB also provides a convenient means to fuse the SPD and provide a means of isolation. As there is insufficient room within the distribution panel the SPD is mounted in a separate enclosure for electrical safety. This enclosure is mounted directly alongside the distribution panel to ensure the connecting leads are kept short. A supplementary earth bond is made to further minimize volt drop on the connecting leads.



Key

1 Incoming supply

2 Main switch (main isolator or main circuit breaker (MCB))

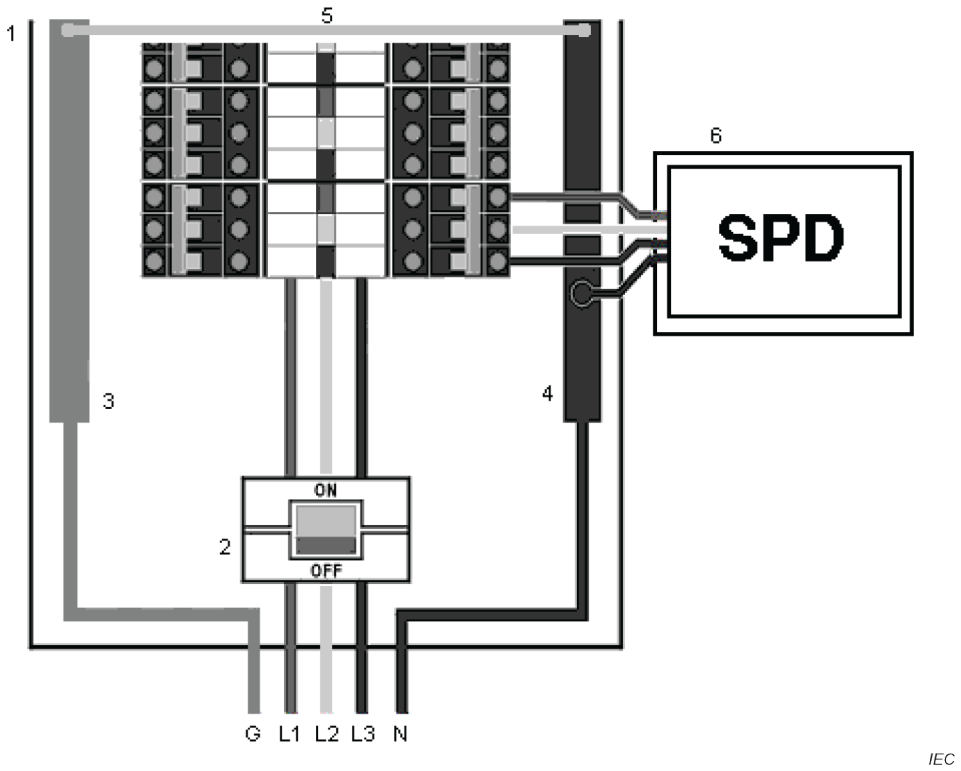
3 First downstream fuse block

4 Alternative downstream fuse block

5 Fuse (or MCB)

Figure L.3 – A single line-wiring diagram of an SPD connected in shunt on the first outgoing way of the distribution panel via a fuse (or MCB)

The use of a suitable fuse (or MCB) is convenient for the installation of the SPD and promotes good practice as it allows the unit to be disconnected without disconnection of the main isolator, as the SPD would need to be disconnected for flash testing of the installation for example. The fuse size is chosen accordingly so as not to de-rate the SPDs surge current handling capability and allow coordination with the incoming supply fuse.



Key

1 Main distribution board

2 Main circuit breaker

3 Main grounding bar

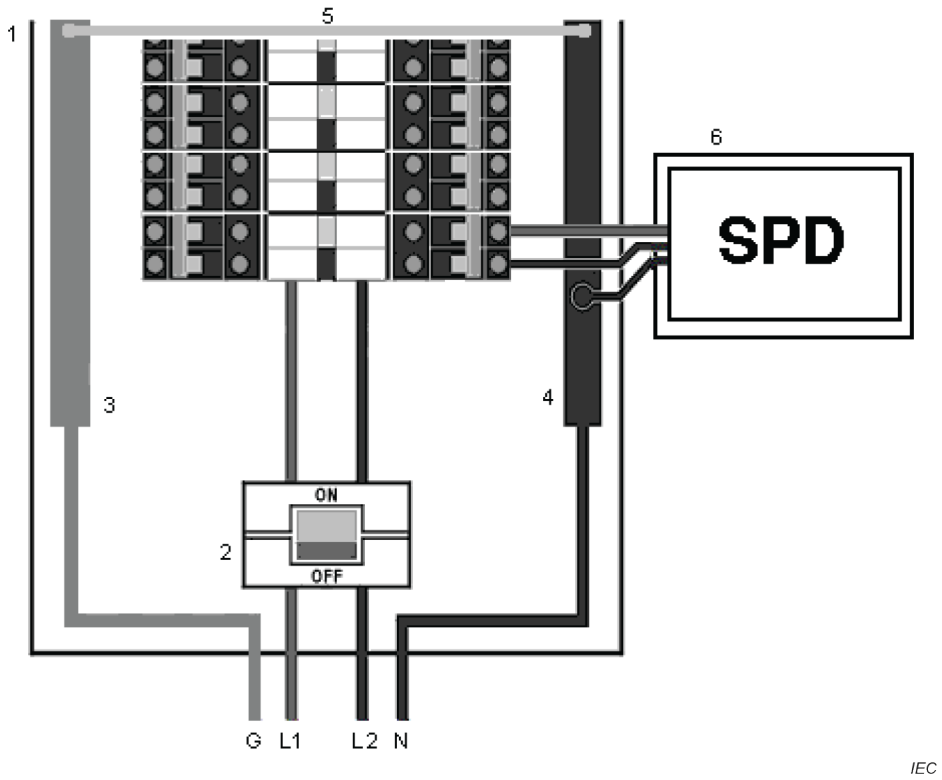
4 Neutral bar

5 G-N bond

6 Enclosure of SPD

Figure L.4 – SPD connected to the nearest available circuit breaker on the incoming supply (US three phase 4W + G, TN-C-S installation)

The load side of the MCB also provides a convenient point to connect the SPD via current limiting fuses. This arrangement also provides a means of isolation during maintenance. As there is insufficient room within the distribution panel, the SPD is mounted in a separate enclosure for electrical safety. This enclosure is mounted directly alongside the distribution panel to ensure the connecting leads are kept as short as possible.



Key

1 Main distribution board

2 Main circuit breaker

3 Main grounding bar

4 Neutral bar

5 G-N bond

6 Enclosure of SPD

Figure L.5 – SPD connected to the nearest available circuit breaker on the incoming supply (US single (split) phase 3W + G, 120/240 V system – typical for residential and small office applications)

The load side of the MCB also provides a convenient point to connect the SPD via current limiting fuses. This arrangement also provides a means of isolation during maintenance. As there is insufficient room within the distribution panel, the SPD is mounted in a separate enclosure for electrical safety. This enclosure is mounted directly alongside the distribution panel to ensure the connecting leads are kept as short as possible.

NOTE In the USA it is required by the National Electric Code (NEC) that the SPD's short circuit current rating defined by NEC is coordinated with the prospective fault current at the point of installation.

Annex M
(informative)

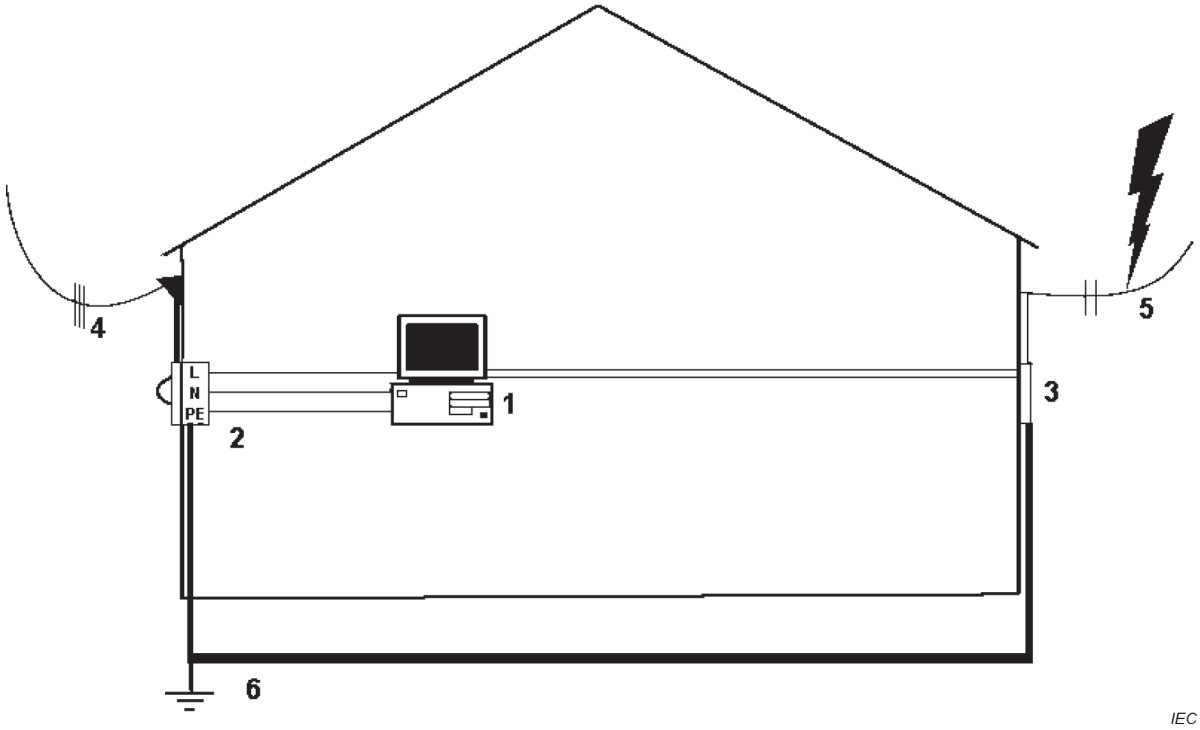
Coordination when equipment has both signaling and power terminals

To describe the problem which can occur when two ports of an equipment are protected by SPDs which are not coordinated, the example of a personal computer (PC) equipped with a modem will be used.

A typical system might be assembled from uncoordinated subsystems and these could be at risk because of uncoordinated surge protection. Although each of the power and communications systems might include protection against surges, the surge current flowing between surge protective systems can cause a potential difference across the power and communication ports of the PC. Depending on the nature of the PC/modem and their immunity levels this difference in potential may result in damage to the PC/modem or cause upset in the operation of this equipment.

This first example shows how this problem can occur. The example is based on a power and telecommunication system.

In Figure M.1 a PC is equipped with a modem that is powered from a branch circuit by a three-wire cord that includes an earthing conductor. The earthing conductor establishes the steady-state potential reference of the chassis at the power panel. The telecommunication port of the modem is connected to a metallic telephone outlet at its location. This outlet is wired to a telecommunication interface termination. This panel is usually located at the entrance to the building and includes telecom SPDs.



Key

1 Computer with modem or similar electronic device having separate ports for power and telecommunications.

2 Main distribution board, including circuit-breakers and power SPD

3 Telecommunication interface termination including telecommunication SPD

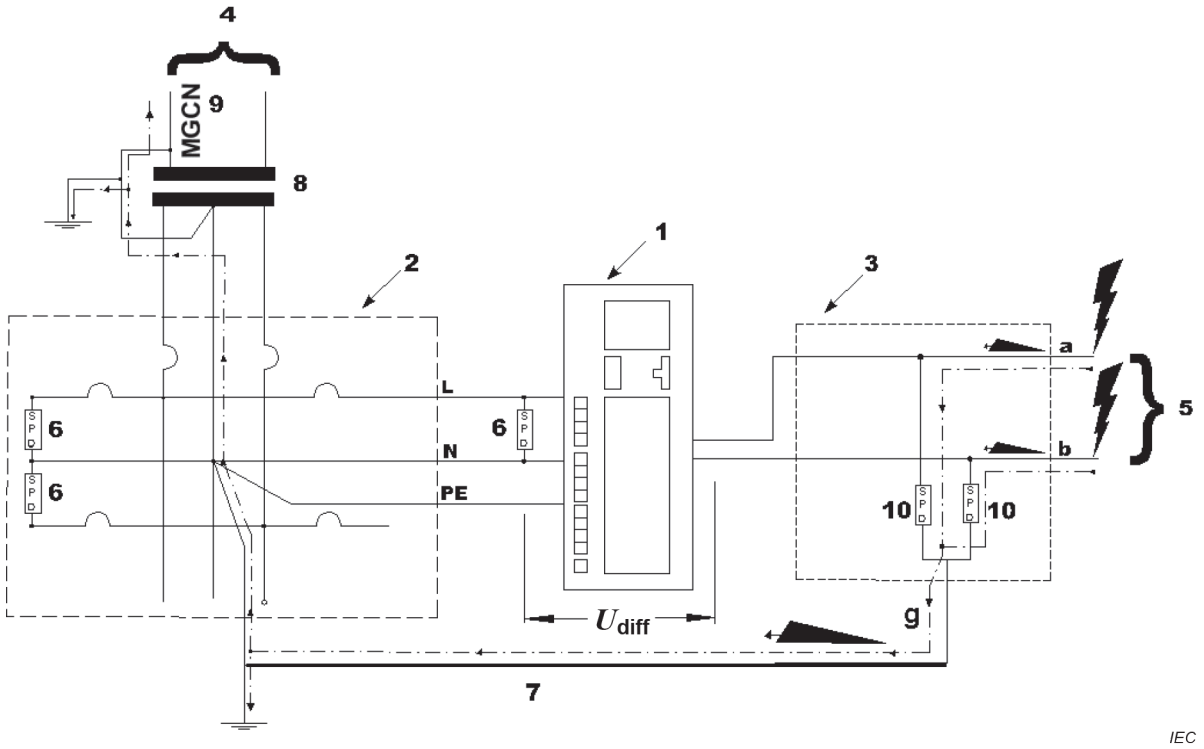
4 Single phase, 3 wire power line

5 Overhead telecommunication line

6 Equipotential bonding system

Figure M.1 – Example of a PC with modem in a US power and communication system

To demonstrate the effect of uncoordinated surge protection and the benefit of a proposed solution, measurements were conducted in a full-scale replica of a house wiring system, including power, telephone, and an equipotential bonding system as indicated in Figure M.2. The telephone wires were routed in a typical manner, at some distance from the equipotential bonding system.



Key

1 Computer with modem or similar electronic device having separate ports for power and telecommunications

2 Main distribution board, including circuit-breakers and power SPD

3 Telecommunications SPD

4 Single-phase, 3 wire power line

5 Overhead telecommunication line

6 Power SPD (based on varistors)

7 Equipotential bonding system

8 Distribution transformer

9 MGCN: multi-grounded common neutral

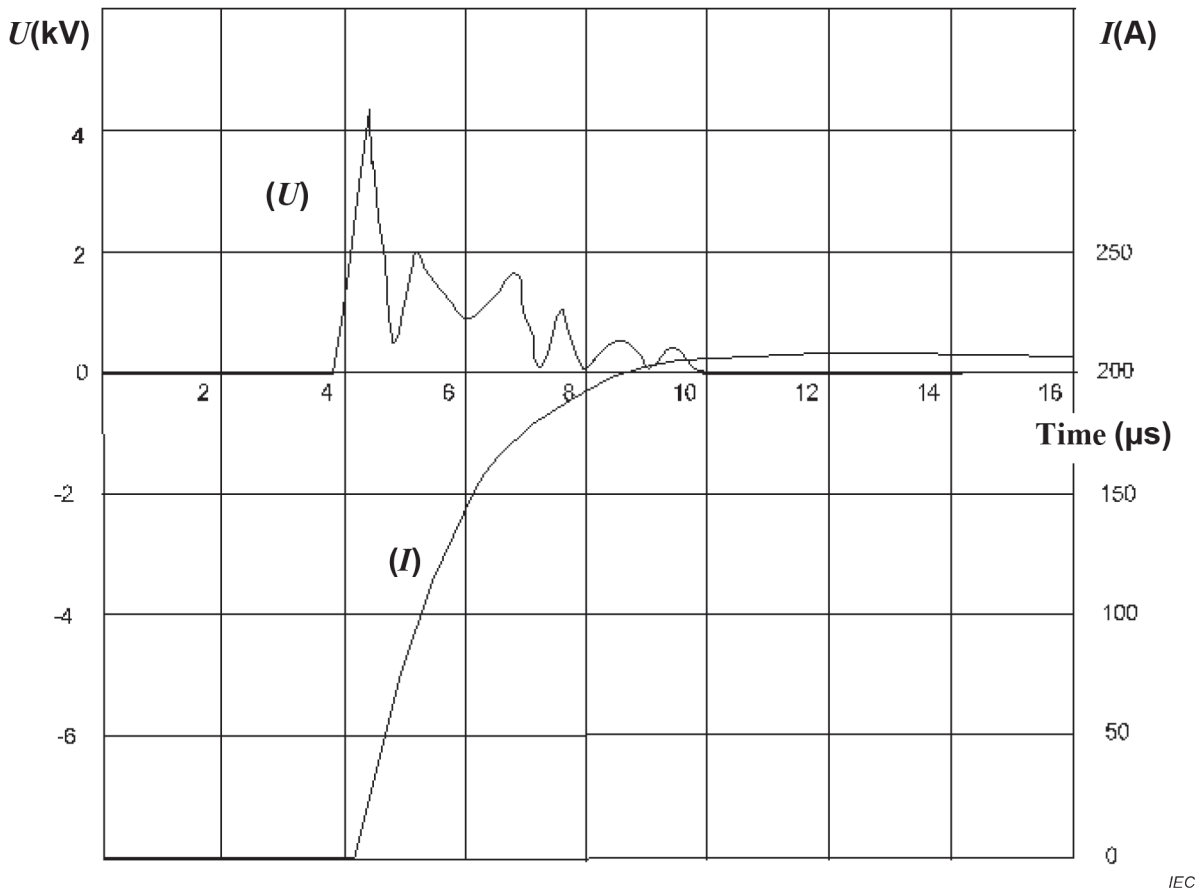
10 Telecommunications SPD (based on GDT)

Figure M.2 – Schematic of circuit of Figure M.1 used for experimental test

Figure M.2 exhibits how a surge occurring on the telecommunication circuit can result in a voltage (potential difference) U_{diff} across the PC due to the operation of the gas discharge tubes in the telecom interface panel**.** As can be seen when the telecom interface panel gas discharge tubes operate, a surge current flows in the equipotential system resulting in a potential difference between the telecommunication port and the power port of the PC. This is due to the surge current "I_{surge}" flowing in the water pipe through its inductance 'L". The voltage drop across the pipe is expressed by the equation $U = R \times I_{surge} + L\mathrm{d}I_{surge}/\mathrm{d}t$, where $\mathrm{d}I_{surge}/\mathrm{d}t$ is the time rate of change of the current flowing in the water pipe. The factor L is the inductance of the water pipe and earth cable between the telecom interface panel and equipotential system.

Figure M.3 shows the recording obtained when injecting upstream from the telecom interface panel a surge such as specified by telephone industry standards. For a rate of change in the surge current of 75 A/µs, a peak of 4,3 kV was found to be induced in the loop. This voltage would appear between the two ports of a PC (But of course none was for the experiment. The loop remained open to allow the measurement and not needlessly put a PC in jeopardy in the experiment.)

NOTE 8/20 is not the only standard pulse used in the telecom industry. ITU uses 10/700 voltage impulse with a 5/300 current impulse. IEC 61643-21 as well uses many different waveshapes.



Key

I Current impinging on the telecom SPD: 50 A/division – d*i*/d*t* = 75 A/µs

U Voltage between telephone port and protective conductor (PE): 2 kV/division – 4,3 kV max

Horizontal sweep: 2 µs/division

Figure M.3 – voltage recorded across reference points for the PC/modem during a surge in the example (voltage and current vs. time in µs)

The second set of examples used to illustrate the problem, is described in Figure M.4. This represents a power supply (TT, phase and neutral) supplying an installation where a telephone line is also connected. For equipotential bonding of the two networks to the local earth, SPDs are installed at the entrance point of these lines. To study this case, a practical case has been simulated, where the two bonding points are different and then separated by an inductance (equivalent to the distance between these two points). Another SPD has also been added on the telecommunication line directly in front of the equipment. The distance L2 is between the GDT and the MOV and the distance L1 is between the bonding point of the telecommunication line and the bonding point of the power line.

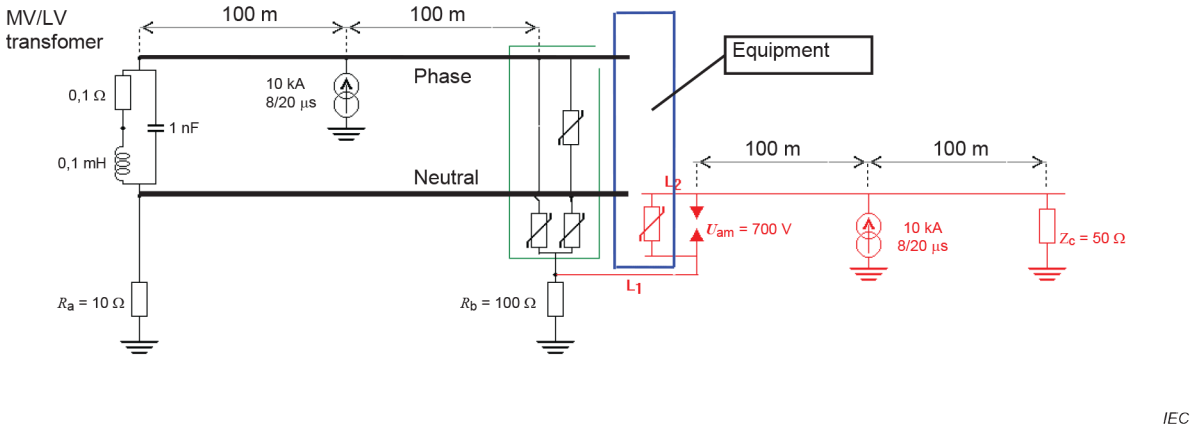


Figure M.4 – Typical TT system used for simulations

The effects of a surge current being applied to the telecommunication circuit of Figure M.2 have also been analyzed by means of a computer simulation and have yielded the same results as the actual test. A high-frequency model of the transformer and propagation effect on the lines (200 m for both lines) has been used. The SPD for power supply is of the varistor type (limiting component) and the SPD for the telecommunication line is a gas discharge tube (switching component).

The resistance of the earthing R_b was a parameter in this study as well as the sparkover voltage of the GDT. The power supply SPD (three modes of protection) has a nominal discharge current of 10 kA and a voltage protection level of 1,5 kV.

The following results are obtained for L1 = L2 = 10 m. The lead length L1 experiences a voltage drop of 12,5 kV when the lightning strikes the power networks and 23 kV when the lightning strikes the telecommunication network. This level is sufficient to create a flashover inside the equipment.

Therefore, even in case of both networks being protected by SPDs and the two networks being bonded to the same earthing system, an internal flashover may still occur.

To be able to generalize these results, simulations were also carried out with some loads on both networks and the results were the same. In addition, simulations with other type of network (TN and IT) and with various surge waveshapes were also performed.

The results are summarized in Table M.1.

Table M.1 – Simulation results

TN system	In case of a 10 kA 8/20 surge coming from the power supply	In case of a 10 kA 8/20 surge coming from the telecommunication line
L1 Voltage drop	12 kV	35 kV
IT system, impedance of the neutral = 1 000 Ω	In case of a 10 kA 8/20 surge coming from the power supply	In case of a 10 kA 8/20 surge coming from the telecommunication line
L1 voltage drop	8 kV	35 kV
TT system	In case of a 10 kA 10/350 surge coming from the power supply	In case of a 10 kA 10/350 surge coming from the telecommunication line
L1 voltage drop	8 kV	23 kV

It can be seen that the results concerning the risk of flashover of the equipment are the same with all types of power supply systems. The withstand of equipment is in most cases in the order of 2,5 kV maximum and so the voltage produced by a mild surge (10 kA only) is well in excess of this surge withstand (from 8 kV to 35 kV).

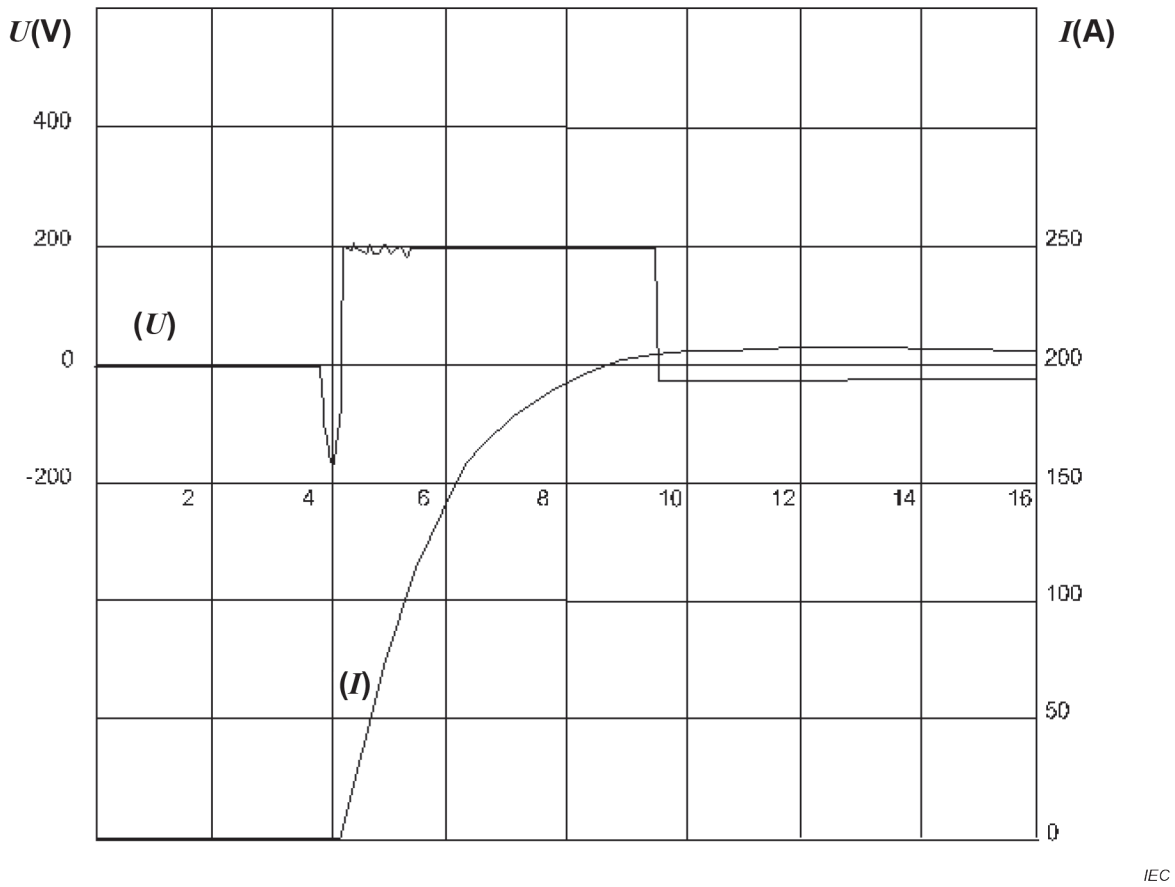
NOTE 10 kA 10/350 is not realistic for a telephone wire. It will fuse at about 2 kA and measurement in the telenetwork shows values more like 100 A. But such a value was used for comparison between power side and telecom side.

POSSIBLE SOLUTIONS

To avoid the above problems there are two possibilities:

– find another routing for the cables for decreasing the size of the loop between the various lines (telecommunication and power lines in the case of the example described above) and so decrease the inductance L. But this is not an easy thing for existing buildings. For new building a single entrance bonding point is of course the best solution.
– install an SPD near the equipment between the terminal of the power system and a common bonding point and do the same between the other system(s) (telecommunication in the example) terminals and this common bonding point. In general, these devices contain power SPDs and telecom SPDs in a single package, sometimes called "multiservice SPDs". Such a combined SPD would contain surge protection for all the connections to the equipment that would be referenced by very short leads to the common bonding point. It is required that this common bonding point is connected to PE. This common bonding point can be the housing of the equipment to be protected, if it is connected to PE.

Figure M.5 shows the effect of such an SPD in the experiment described in Figure M.1. Figure M.5 should be compared to Figure M.3.



Key

I Current impinging on the telecommunication SPD – d*i*/d*t* = 75 A/μs

U Voltage between telephone port and protective conductor (PE): 200 V/division – 200 Vmax

Horizontal sweep: 2 μs/division

Figure M.5 – Voltage and current waveshapes measured during the application of a surge when a multi-service SPD was installed in the circuit of the structure shown in of Figure M.1

Annex N
(informative)

Short circuit backup protection and surge withstand

N.1 General

Surge current is not only supposed to flow through the SPD but also through other devices which are not firstly dedicated for surges. Backup protections and all kind of fault current protection installed upstream are in this situation, therefore unwanted tripping or melting can occur. It is useful to know the withstand capability of these devices to prevent inappropriate use for surge protection.

An additional voltage drop can occur when a surge current is flowing through the backup protection. This voltage drop depends on the kind of device used as backup protection and on its rated current.

In this annex, Clauses N.2, N.3, N.4 and N.5, give clear calculation and information for fuse surge withstand based on type tests performed and experimental data gained by SPDs manufacturers as well as fuse manufacturers. For other overcurrent protective devices (OCPDs) the surge withstand may significantly depend on the type and the design of the device. Some information to compare advantages and disadvantages of different SPD disconnector designs is given in Clause N.6. Devices designed for special purpose might have other characteristics.

When needed, manufacturers should give information for association of SPDs with other devices such as CBs. (MCB, MCCB, RCD etc.). It is recommended to consult the manufacturer's literature.

Clause N.7 provides additional test values for SPD disconnectors used in some countries.

The users are reminded that safety in case of SPD failure and surge withstand may lead to different SPD disconnector selection. The users should always consider this and refer to SPD manufacturer instructions.

N.2 Information single shot 8/20 and 10/350 fuses withstand

To use the I^2t calculation of the impulse waveshape compared to the fuse pre-arcing I^2t (1 ms) provided by the manufacturer is a possible way to estimate the fuse surge withstand for a single shot.

The I^2t of the impulse can be estimated from the crest value of the impulse current and its nominal wave shape by use of the following formulas:

- For wave shape 10/350 (see also 8.1.1 of IEC 61643-11:2011):

$$I^2t\ [\mathrm{A^2s}] = 2{,}5 \times 10^{-4} \times I_{\mathrm{crest}}^2\ [\mathrm{A^2}]$$

- For wave shape 8/20:

$$I^2t\ [\mathrm{A^2s}] = 0{,}14 \times 10^{-4} \times I_{\mathrm{crest}}^2\ [\mathrm{A^2}]$$

NOTE This is based on the nominal impulse waveshape (rise time and time to half value) and does not include allowed maximum test tolerances.

Examples:

- To withstand a single 8/20 impulse current with a magnitude of 9 kA, the backup fuse must have a minimum pre-arcing value greater than:

$$I^2t\ [A^2s] = 0{,}14 \times 10^{-4} \times 9^2 = 1\ 134\ [A^2s]$$

- To withstand a single 10/350 impulse current with a magnitude of 5 kA, the backup fuse must have a minimum pre-arcing value greater than:

$$I^2t\ [A^2s] = 2{,}5 \times 10^{-4} \times 5^2 = 6\ 250\ [A^2s]$$

An unused 100 A gG fuse with a pre-arcing value of 21 200 A^2s can stand a single 8/20 impulse current of:

$$I_{crest}\ [A] = \sqrt{21\ 200/(0{,}14 \times 10^{-4})} = 38\ 914\ [A]$$

Various I^2t values can be found in fuse datasheets depending on the fuse characteristics, dimensions and manufacturers.

N.3 Fuse Influencing factors (reduction) for preconditioning and operating duty test

During the test procedure described in IEC 61643-11, the fuse has to withstand not only a single impulse but a complete sequence of impulses (preconditioning test and operating duty test). These impulses will degrade the fuse and therefore decrease its withstand capability compared to the single impulse withstand (see N.2).

In order to pass the full preconditioning test and operating duty test, experimental data show that a reduction factor from 0,5 to 0,9 has to be applied to the single impulse withstand value.

Three major factors should be considered:

- Ratio between I_n and I_{imp}.

The preconditioning test is performed with 15 impulses at I_n, while the final duty test is performed with 0,1; 0,25; 0.5; 0,75 and 1 times I_{imp}. If the crest value of I_n is lower compared to I_{imp}, the degradation caused by the preconditioning test can be ignored compared to the I_{imp} stress. On the contrary, if the crest value of I_n is close to or even higher compared to I_{imp}, the stress caused by the preconditioning test is not to be ignored.

- Absolute value compared to the single impulse fuse withstand.

When the I_n or I_{imp} values are close to the maximum impulse crest value the fuse can stand, it will degrade with each impulse applied, whereas if they are far below that maximum impulse crest value, the effect can be ignored.

- Tolerance of fuse I^2t values

Fuse manufacturers in most cases provide a tolerance for their device in accordance with the fuse standard. This tolerance is not linked to the real surge withstand capability and cannot be used calculations.

N.4 Operating duty withstand of fuses based on experimental data and confirmed by calculations based on the parameters and limits specified by the IEC 60269 series

Examples of ratio between single shot withstand and full preconditioning/operating duty test is shown in Table N.1.

Table N.1 – Examples of ratio between single shot withstand and full preconditioning/operating duty test

Withstand capabilities of gG fuse-links towards operating and additional duty tests					
Rated current of fuse link (A)	Minimum prearcing I²t (Table 113, IEC 60269-2))	Evaluated minimum Adiabatic I²t (A²s)	Safety coefficient (on the value of current)	Maximum I_n (kA) (8/20 µsec)	Maximum I_{Imp} (kA) (10/350 µsec)
8	40	24	0,85	1,2	0,3
10	68	41		1,5	0,3
12	130	78		2,1	0,5
16	291	175		3,1	0,7
20	640	384		4,6	1,0
25	1 210	726		6,4	1,4
32	2 500	1 750		9,9	2,2
40	4 000	2 800		12,5	2,8
50	5 750	4 025		15	3,4
63	9 000	6 300		19	4,2
80	13 700	10 960		25	5,6
100	21 200	19 080		33	7,3
125	36 000	32 400		42	9,6
160	64 000	57 600		57	13
200	104 000	93 600		72	16
224	139 000	125 100		83	19
250	185 000	166 500		96	22
315	302 000	271 800		123	28
400	557 000	445 600		157	35
500	900 000	720 000		200	45
630	1 600 000	1 280 000		267	60

Explanations to the data provided in Table N.1:

Column 2 These minimum pre-arcing I^2t values are extracted from IEC 60269-2, table 113. They refer to a pre-arcing time of 4 ms and have originally been established as reference value by SC32B.

Column 3 These values are calculated based on material constants and the shape of the fuse strip. They refer to a melting time of approximately 3 ms and are confirmed by experience.

Column 4 This is a safety coefficient to take into account different fuse dimensions.

Columns 5+6 These values are based on calculation from column 3 and confirmed by experimental data from operating duty tests.

The values contained in Table N.1 should be applicable for all kinds of gG fuse links, irrespective of their dimensions, but are not applicable to other fuse characteristics.

Of course, they can serve for estimations based on comparative calculations.

Other fuse characteristics need to be checked separately by applying the complete operating duty test procedure as described in IEC 61643-11.

NOTE Most of the experimental data used as a basis for Table N.1 and the corresponding calculations for 10/350 impulse currents are based on NH fuses. However, some tests performed on a few cylindrical fuses have confirmed the above mentioned withstand capabilities for that fuse dimension.

N.5 Behaviour of external disconnector technologies

The following behaviour for CBs and Fuses (see Table N.2) are based on investigation from the last 3 years and provide short overview on the present situation. It need to be considered that the following summary is linked to present breaker and fuse technology and size (tests were made at 230/400 V) and if these change in the future, it may also have a significant influence on the results presented.

Table N.2 – Behaviour of external disconnector technologies

Rated current (in A)	0-80	80-...
Surge current withstand (8/20)	In general breakers show significant higher withstand than fuses (2 times greater)	In general breakers still show higher withstand than fuses (30 % to 50 % more)
Lightning current withstand (10/350)	No real statement possible this is not linked to rated current of CBs but more to their technology and may be significantly lower or higher than for fuses	
Voltage Drop (VD) adding to the residual voltage without operation when the disconnector is in the SPD branch	In general, breaker shows higher voltage drop compared to fuses. The difference decreases with increasing rating current up to no difference	In general, breaker shows equivalent and even lower voltage drop compared to fuses. The difference increases with increasing rating current
Voltage Drop (VD) adding to the residual voltage with operation* when the disconnector is in the SPD branch	For fuses the voltage drop during arcing is higher than the arcing voltage drop of CBs, but the time behaviour of circuit breaker depends on the use of voltage-limiting or voltage-switching SPDs and the amplitude of the follow current.	
* This can happen when the disconnector has a smaller rating than the maximum disconnector rating given by the manufacturer in its data sheet		

All components upstream of the SPD may influence the surge withstand of the installation and their surge withstand should be known

N.6 Additional requirement and test values for SPD external disconnectors used in some countries

Some countries provide additional requirement and test values for SPD external disconnectors.

Japan's standards provide requirements for SPD fusing disconnectors (SFD).

NOTE 1 JEITA RC4501: SPD disconnectors for low-voltage surge protective devices performance requirements and test methods for SPD fusing disconnector (SFD) in Japan.

NOTE 2 JEITA RC4502: SPD disconnectors for low-voltage surge protective devices selection and application principles for SPD fusing disconnector (SFD) in Japan.

A Chinese energy industry standard and a Chinese telecommunication industry standard have provided requirements and test method for SPD specific disconnector (SSD).

NOTE 3 NB/T 42150-2018: Specific protective devices for low-voltage surge protective devices in Chinese, YD/T XXXXX: The external circuit breaker for surge protective devices used in telecommunication stations/sites (under publishing)

Basically, these requirements of SFD and SSD are:

a) Large surge-withstand capability. (see Table N.3)

b) Lower voltage drop induced by surge current.

c) Low rated current with time-current characteristics for overcurrent coordination with upstream OCPD and safety disconnect in case of SPD failure (see Figure N.1).

d) Time-current characteristics for overcurrent coordination with upstream OCPD. (see Figure N.2)

Table N.3 – Examples of electrical ratings for SFD

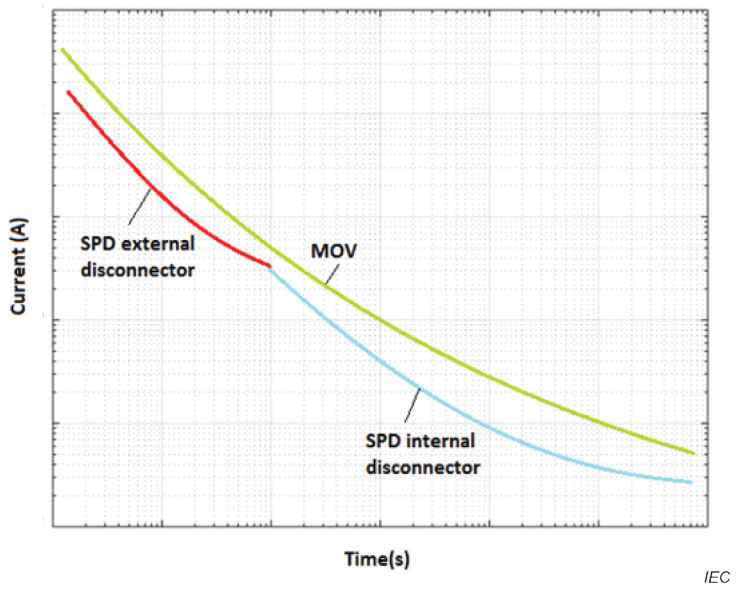
Rated current	Surge withstand capability	Surge wave shape	Breaking capacity
30 A	20 kA: 15 times	8/20	AC 250 V 100 kA
28 A	15 kA: 15 times		
23 A	10 kA: 15 times		

Table N.4 – Examples of tripping current for SSD

Minimal tripping current	Surge withstand capability	Surge wave shape	Breaking capacity
3A	25 kA: 1 time	10/350	AC 250, 100 kA
3A	60 kA:15 times	8/20	AC 250, 100 kA
3A	10 kA: 15 times	8/20	AC 250, 25 kA

Figure N.1 shows an example of time-current characteristics of SPD internal disconnector and external disconnectors (SFD or SSD) as well as the time-current failure (burning) curve of the MOV inside SPD. For operation coordination between MOV inside SPD and SPD internal and external disconnectors (SFD or SSD), it is necessary to confirm that:

- The characteristic curve of external disconnectors shall intersect with that of internal disconnectors to cover the whole range of failure current.
- The characteristic curves of both internal and external disconnectors shall be at lower-left of the failure (burning) curve of MOV to interrupt the circuit before MOV fails (burns).

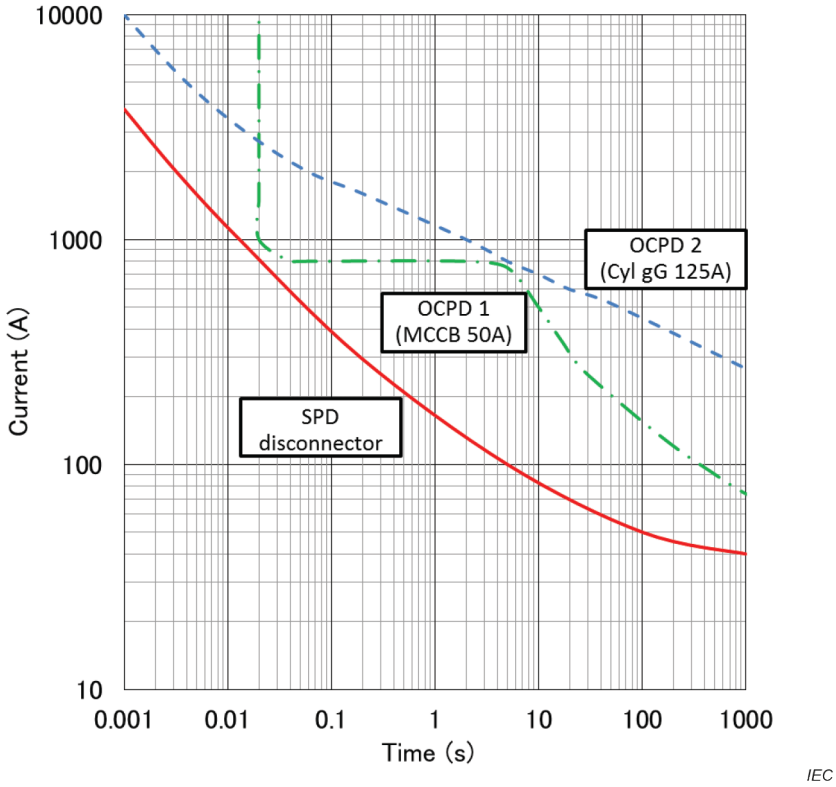


Key

Green Curve	Current-time failure (burning) curve of MOV
Red Curve	Current-time characteristic curve of SPD external disconnector
Blue Curve	Current-time characteristic curve of SPD internal disconnector

Figure N.1 – Schematic diagram for coordination of SPD internal and external disconnectors with MOV

Figure N.2 shows an example of time-current characteristics of OCPD and SPD disconnector. If 50A MCCB or 125A gG fuse are installed as an OCPD as shown in Figure 18, SPD disconnector should operate faster than OCPD, that is, time-current characteristic of SPD disconnector should be at lower-left of that of OCPD.



Key

Green Curve	Current-time curve of 50A MCCB
Red Curve	Current-time characteristic curve of 125A Cyl Gg fuse
Blue Curve	Current-time characteristic curve of SPD external disconnector

Figure N.2 – Example of time-current characteristics of SPD disconnectors

Annex O
(informative)

Practical methods for testing system level immunity under lightning discharge conditions

O.1 General

The following testing methods can be used to evaluate overall system immunity level.

O.2 SPD discharge current test under normal service conditions

a) Prior to the system level immunity test:

   The immunity of the equipment to be protected should be determined. For equipment connected to power lines, IEC 60664-1 and IEC 61643-12 are used, and for equipment connected to telecom lines IEC 61643-22, ITU-T K.20 K.21 and K.45 are used.

   The protection provided by the SPDs should be determined using test procedures described in the test and performance standards IEC 61643-11 or IEC 61643-21.

b) The equipment to be protected should be tested with the SPDs installed per the manufacturer's instructions. The equipment should be energized at its nominal supply voltage and stressed with the nominal discharge current parameters rated for the SPD. Where applicable, additional circuits, such as communication lines, sensors, motors should be connected.

c) Figure O.1 provides an example of a circuit used to perform discharge current tests under normal service conditions.

O.3 Induction test due to lightning currents

a) Impulse currents should be injected into a metallic mounting plate in order to examine the behaviour of the complete system due to electromagnetic fields generated by the simulated lightning discharge.

b) The system under test must be installed as realistically as possible. This simulated installation should include the equipment being protected; the installed SPDs and the real length and type of the interconnection lines.

c) The resulting induced impulse currents within the cabling of the complete system shall be monitored.

d) The characteristic and applicable values of the primary lightning current discharge should be as given in IEC 62305-1:2010, Table C.3.

e) Figure O.2 provides an example of an induction test when class II SPDs are installed on the power and control systems.

O.4 Recommended test classification of system level immunity test (following IEC 61000-4-5)

This standard defines the following pass criteria:

a) Normal performance within limits specified by the manufacturers

b) Temporary loss of function or degradation of performance which ceases after the disturbance ceases and from which the equipment under test recovers its normal performance without operator intervention

c) Temporary loss of function or degradation of performance, the correction of which requires operator intervention

d) Loss of function or degradation of performance which is not recoverable owing to damage to hardware or software or loss of data.

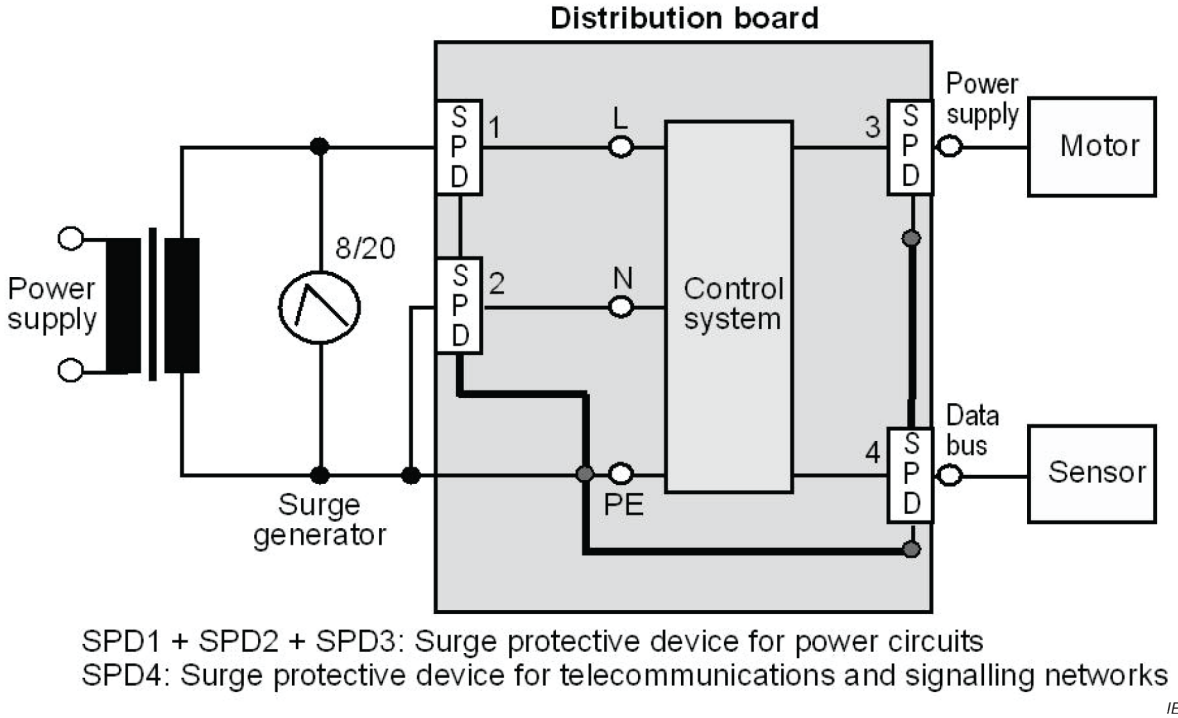


Figure O.1 – Example of a circuit used to perform discharge current tests under normal service conditions

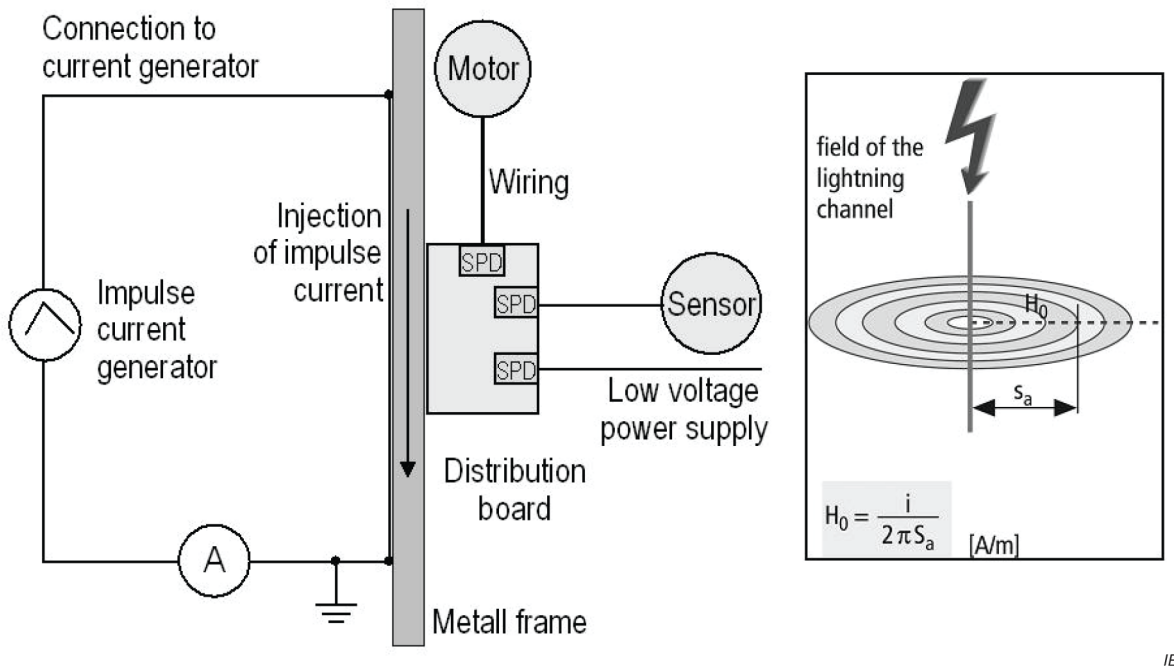


Figure O.2 – Example circuit of an induction test due to lightning currents

Annex P
(informative)

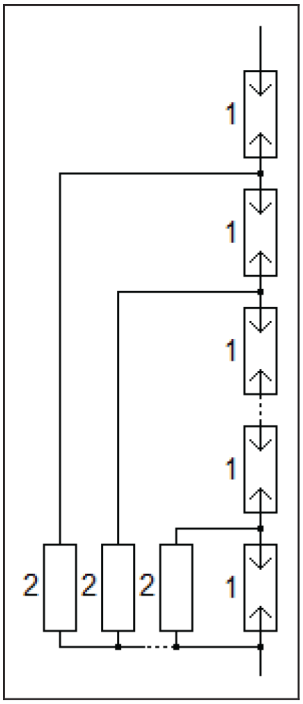
Guide for testing SPDs containing multiple components

P.1 General

This Annex provides guidance on which current paths are to be tested for several examples of SPDs containing multiple components. The SPDs may have to be modified to allow this selective testing. The sample preparation requirements were developed based on the principle component arrangements mostly used within SPDs. Nowadays more and more complex SPD-circuitries appear in the market and questions arise on how to correctly apply these sample preparation requirements according to the original intentions. As this document only refers to non-linear components, but does not consider if such components may take a significant fraction of the surge current or what could happen if such component fails, further guidance is needed. Such guidance is very difficult to provide in a general way as new circuit designs appear every now and then. Therefore, the following examples shall guide the manufacturers and test engineers to take the most appropriate decision for sample preparation.

P.2 Example of a multiple spark gaps in series with ohmic/capacitive trigger control

Example of multiple spark gaps in series with ohmic/capacitive trigger control is shown in Figure P.1.



Key

1 spark gaps

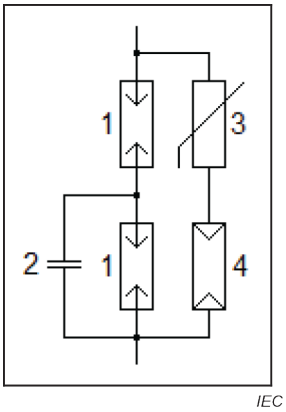
2 resistive or capacitive trigger control

Figure P.1 – Example of multiple spark gaps in series with ohmic/capacitive trigger control

The series-connected spark gaps are the only current path to be tested. The ohmic or capacitive voltage divider/trigger control circuitry does not constitute a separate current path in the meaning of this document because it contains neither a non-linear component, nor does it conduct a significant fraction of current.

P.3 Example of 2 spark gaps in series with capacitive trigger control and with a parallel connected series connection of GDT + MOV(s)

Example of 2 spark gaps in series with capacitive trigger control and with a parallel connected series connection of GDT + MOV(s) is shown in Figure P.2.



Key

1 spark gaps

2 resistive or capacitive trigger control

3 MOV(s)

4 GDT

Figure P.2 – 2 spark gaps in series with capacitive trigger control

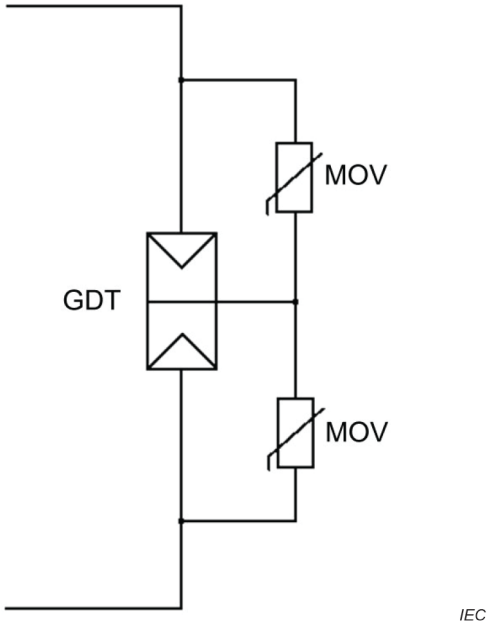
The 2 spark gaps connected in series constitute the main current path which needs to be considered for testing.

The parallel current path through the series connection of GDT and MOV(s) needs to be considered for separate testing, as the fraction of current passing through that series connection of GDT and MOV(s) is difficult, if not impossible to determine and no limit for such current fraction is provided by this document.

The capacitive trigger control circuitry does not constitute a separate current path in the meaning of this document because it contains neither a non-linear component, nor does it take a significant fraction of current.

P.4 Example of a 3-electrode GDT with parallel MOV bypass/trigger control

Example of a 3-electrode GDT with parallel MOV bypass/trigger control is shown in Figure P.3.



Key

GDT GDT with 3 electrodes

MOV "high energy" bypass

Figure P.3 – 3-electrode GDT with parallel MOV bypass/trigger control

The 3-electrode GDT constitutes one current path which needs to be considered for testing.

The parallel current path through the series connection of MOVs needs to be considered for separate testing, as the significant fraction of current can be expected through that series connected MOVs until the GDT operates.

P.5 Example of a 4-electrode gap with GDT + MOV trigger control

Example of a 4-electrode gap with GDT + MOV trigger control is shown in Figure P.4.

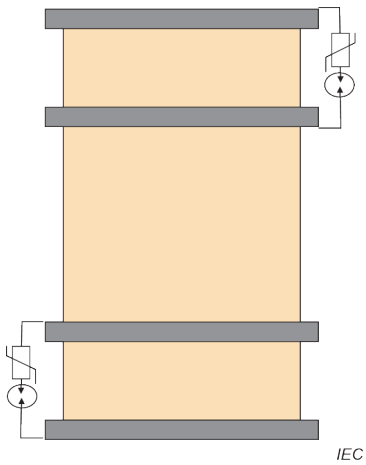


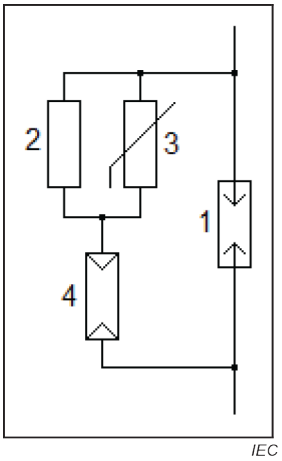
Figure P.4 – 4-electrode spark gap with GDT + MOV trigger control

The 4-electrode spark gap constitutes the main current path which needs to be considered for testing.

The fractional parallel current path to single sections of this 4-electrode gap through the series connected GDT and MOV, although containing non-linear components, need not be considered for separate testing, as they do not constitute a parallel current path to the main component being the 4-electrode gap.

P.6 Example of a Spark Gap in parallel with a series-connected GDT and MOV

Example of a Spark Gap in parallel with a series-connected GDT and MOV is shown in Figure P.5.



Key

1 spark gap

2 resistor

3 MOV

4 GDT

Figure P.5 – Spark Gap in parallel with series-connected GDT and MOV

The GDT constitutes one current path which needs to be considered for testing.

The parallel current path through the series connection of MOV plus GDT needs to be considered for separate testing, as the significant fraction of current can be expected through that series connection MOVs.

P.7 Example of a 3-electrode gap with trigger transformer

Example of a 3-electrode spark gap with trigger transformer is shown in Figure P.6.

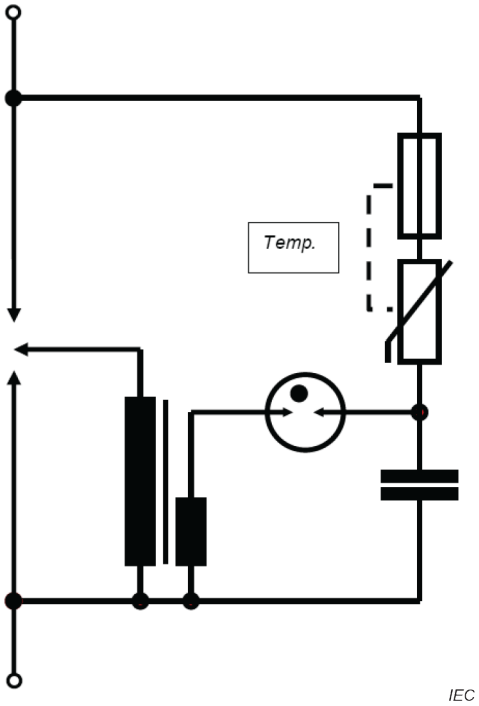


Figure P.6 – 3-electrode spark gap with trigger transformer

The 3-electrode spark gap constitutes the main current path which needs to be considered for testing.

The parallel current path through the series connection of MOV and trigger transformer/capacitor is limited in current by the linear components and therefore needs not be considered for separate testing, as definitely no significant fraction of current needs to be expected through that circuitry.

Annex Q
(informative)

Exceptions in the USA related to Class I tested SPDs

In the USA, SPDs tested to Class I tests are not required. This exception applies to the entire document.

Bibliography

[1] IEC 60038, *IEC standard voltages*

[2] IEC 60269 series, *Low-voltage fuses*

[3] IEC 60364-4-42, *Low-voltage electrical installations – Part 4-42: Protection for safety – Protection against thermal effects*

[4] IEC 60364-4-43, *Low-voltage electrical installations – Part 4-43: Protection for safety – Protection against overcurrent*

[5] IEC 60898-1, *Electrical accessories – Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations – Part 1: Circuit-breakers for a.c. operation*

[6] IEC 60947-2, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 2: Circuit-breakers*

[7] IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

[8] IEC 62305-3:2010, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

[9] IEC TR 61000-5-6:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-6: Installation and mitigation guidelines – Mitigation of external EM influences*

[10] IEC 61008-1, *Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) – Part 1: General rules*

[11] IEC 61009-1, *Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs) – Part 1: General rules*

[12] IEC TR 62066:2002, *Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems – General basic information*

[13] IEC 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*

[14] IEC 60050-442:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 442: Electrical accessories*

[15] IEC 60050-826:2004, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 826: Electrical installations*

[16] IEC 60099-4:2014, *Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*

[17] IEC 60099-5, *Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations*

[18] IEC 61936-1, *Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules*

[19] IEC 61643-21, *Low voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*

[20] IEC 61643-22, *Low-voltage surge protective devices – Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Selection and application principles*

[21] IEC 61643-321, *Components for low-voltage surge protective devices – Part 321: Specifications for avalanche breakdown diode (ABD)*

[22] IEC 61643-331, *Components for low-voltage surge protective devices – Part 331: Performance requirements and test methods for metal oxide varistors (MOV)*

[23] IEC 61643-341, *Components for low-voltage surge protective devices – Part 341: Specification for thyristor surge suppressors (TSS)*

[24] IEC 62305-3, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

[25] IEC 62561-6, *Lightning protection system components (LPSC) – Part 6: Requirements for lightning strike counters (LSC)*

[26] IEEE 1159-2009, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*

[27] IEEE C62.41.1-2002, *IEEE Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits*

[28] IEEE C62.41.2, *IEEE recommended practice on characterization of surges in low-voltage (1000 V and less) AC power circuits*

[29] IEEE C62.72-2016, *IEEE Guide for the Application of Surge-Protective Devices for Use on the Load Side of Service Equipment in Low-Voltage (1000 V or Less, 50 Hz or 60 Hz) AC Power Circuits*

[30] A. ROUSSEAU, P. AURIOL, A. RAKOTOMALALA, Lightning distribution through earthing systems, Hobart Lightning Protection Workshop, 1992

[31] H. ALTMAIER, D. PELZ, K. SCHEIBE, Computer simulation of surge voltage protection in low voltage systems, ICLP, 1992

[32] M. CLEMENT, J. MICHAUD, Overvoltages on the low voltage distribution networks, CIRED, 1993

[33] J. SCHONAU, F. NOACK, R. BROCKE, Coordination of fuses and overvoltages protection devices in low voltage mains. Fifth International Conference on Electrical Fuses and their Applications, 1995

[34] P. HASSE, P. ZAHLMANN, J. WIESINGER, W. ZISCHANK, Principle for an advanced coordination of surge protective devices in low voltage systems, ICLP 1994

[35] A. ROUSSEAU, T. PERCHE, Coordination of surge arresters in the low voltage field, INTELEC, 1995

[36] F. MARTZLOFF, J.S. LAI, Coordinating cascaded surge protective devices: high-low versus low-high, IEEE IAS, 1991

[37] J. HUSE et al., Coordination of surge protective devices in power supply systems: need for a secondary protection, ICLP, 1992

[38] A. ROUSSEAU, Choice of low voltage surge arresters based on risk analysis, Power Quality, 1995

[39] A. ROUSSEAU, V. CREVENAT, Protective levels at equipment terminals for various SPDs, GROUND, 2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 217
INTRODUCTION 219
0.1 Généralités 219
0.2 Clés pour comprendre la structure du présent document 219
1 Domaine d'application 221
2 Références normatives 221
3 Termes, définitions et abréviations 222
3.1 Termes et définitions 222
3.2 Liste des abréviations et des acronymes utilisés du présent document 235
4 Nécessité de protection 237
5 Réseaux à basse tension et matériel à protéger 237
5.1 Généralités 237
5.2 Réseaux à basse tension 237
5.2.1 Généralités 237
5.2.2 Surtensions de foudre et courants de choc 237
5.2.3 Surtensions de manœuvre 239
5.2.4 Surtensions temporaires U_{TOV} 239
5.3 Caractéristiques des matériels à protéger 241
6 Parafoudres 241
6.1 Fonctions de base des parafoudres 241
6.2 Exigences supplémentaires 242
6.3 Classification des parafoudres 242
6.3.1 Parafoudres: classification 242
6.3.2 Conception et topologies courantes 243
6.4 Caractéristiques des parafoudres 244
6.4.1 Conditions de service décrites dans l'IEC 61643-11 244
6.4.2 Liste des paramètres pour le choix des parafoudres 245
6.5 Informations supplémentaires sur les caractéristiques des parafoudres 246
6.5.1 Informations relatives aux tensions du réseau 246
6.5.2 Informations relatives aux courants de choc 247
6.5.3 Informations relatives au niveau de protection en tension fourni par les parafoudres 249
6.5.4 Informations relatives à l'état du parafoudre en fin de vie 250
6.5.5 I_{SCCR}: courant de court-circuit assigné et I_{fi}: valeur assignée d'interruption d'un courant de suite 251
6.5.6 I_L: courant de charge assigné et ΔU: Chute de tension (pour les parafoudres à deux ports ou à un port avec bornes d'entrée et de sortie séparées) 251
6.5.7 Informations relatives aux variations des caractéristiques des parafoudres 252
7 Mise en œuvre des parafoudres dans les réseaux à basse tension 252
7.1 Généralités 252
7.2 Considération concernant l'emplacement du parafoudre en fonction des classes d'essai 254
7.3 Modes de protection et installation d'un parafoudre 254
7.4 Nécessité d'une protection supplémentaire 256
7.4.1 Généralités 256

7.4.2 Influence des phénomènes d'oscillation sur la distance de protection 257
7.4.3 Tension induite dans l'installation 257
7.4.4 Influence de la longueur des câbles de raccordement.....258
7.4.5 Influence du niveau de protection en tension 262
7.4.6 Concept de Zone de protection contre la foudre (LPZ).....264
7.5 Choix des caractéristiques du parafoudre 266
7.5.1 Généralités.....266
7.5.2 Choix de U_c, U_T, I_n, I_{imp}, I_{max}, I_{SCCR}, I_{fi} et U_{oc} du parafoudre 266
7.5.3 Distance de protection.....273
7.5.4 Durée de vie prévue 274
7.5.5 Interaction entre les parafoudres et d'autres dispositifs 274
7.5.6 Choix du niveau de protection en tension U_p 275
7.5.7 Coordination entre le parafoudre choisi et les autres parafoudres.....276
7.6 Caractéristiques des dispositifs auxiliaires 279
7.6.1 Dispositifs de déconnexion 279
7.6.2 Compteurs de chocs et d'événements.....279
7.6.3 Indicateur d'état.....280
Annexe A (informative) Informations types exigées avant de choisir un parafoudre et explication des procédures d'essai 281
A.1 Informations types exigées avant de choisir un parafoudre 281
A.1.1 Données système 281
A.1.2 Considérations sur le fonctionnement du parafoudre 281
A.1.3 Caractéristiques du parafoudre.....281
A.1.4 Matériels supplémentaires et fixations 282
A.2 Explication des procédures d'essai utilisées dans l'IEC 61643-11 283
A.2.1 Principes généraux.....283
A.2.2 Séquences d'essais et description des essais.....283
Annexe B (informative) Exemples de relations entre U_c et la tension nominale du réseau et exemple de relation entre U_p et U_c pour les varistances à oxyde métallique (MOV).....291
B.1 Relation entre U_c et la tension nominale du réseau 291
B.2 Relation entre U_p et U_c pour les varistances à oxyde métallique (MOV) 291
Annexe C (informative) Environnement – Tensions de chocs dans les réseaux BT 293
C.1 Généralités 293
C.2 Surtensions de foudre.....293
C.2.1 Généralités.....293
C.2.2 Surtensions transmises du réseau MT au réseau BT 294
C.2.3 Surtensions dues à des impacts directs sur les réseaux de distribution BT 295
C.2.4 Surtensions induites dans les réseaux de distribution BT.....295
C.2.5 Surtensions causées par des impacts sur un système de protection contre la foudre ou sur une structure à proximité immédiate 296
C.3 Surtensions de manœuvre 297
C.3.1 Généralités.....297
C.3.2 Description générale.....297
C.3.3 Manœuvres de disjoncteurs et d'interrupteurs.....297
C.3.4 Fonctionnements des fusibles (fusibles limiteurs de courant).....299
Annexe D (informative) Calculs de courants de foudre partiels 300
Annexe E (informative) Surtension temporaire dans le réseau à basse tension due à des défauts entre le réseau à haute tension et la terre 303

E.1 Généralités ... 303
E.2 Références ... 304
E.3 Symboles ... 304
E.4 Surtensions dans les réseaux BT pendant un défaut à la terre à haute tension ... 305
E.5 Exemple d'un schéma TT – Calcul de surtensions temporaires possibles ... 307
E.5.1 Contraintes possibles sur des matériels dans des installations à basse tension dues à des défauts à la terre dans le réseau à haute tension ... 307
E.5.2 Caractéristiques du réseau à haute tension ... 307
E.6 Surtensions à fréquence industrielle temporaires en fonction des réseaux BT et des différents types de configurations de mise à la terre ... 308
E.6.1 Généralités ... 308
E.6.2 Conclusion – Courant de contrainte des parafoudres le plus défavorable pour le comportement HT-TOV des parafoudres ... 310
E.6.3 Conclusion – Source d'essai du cas le plus défavorable pour le comportement HT-TOV des parafoudres, si le parafoudre est relié à la terre entre N-PE et/ou L-PE: ... 310
E.6.4 Exemples de différents réseaux BT et de leurs possibles configurations de mise à la terre ... 312
E.7 Valeurs des surtensions temporaires pour le schéma TN C des USA ... 316
E.8 Valeurs des surtensions temporaires utilisées dans l'IEC 61643-11 avec des explications ... 318
E.8.1 Généralités ... 318
E.8.2 Valeurs des surtensions temporaires pour les réseaux américains ... 321
E.8.3 Valeurs des surtensions temporaires pour les réseaux japonais ... 324
Annexe F (informative) Règles et principes de coordination ... 329
F.1 Généralités ... 329
F.2 Coordination de l'énergie ... 329
F.2.1 Généralités ... 329
F.2.2 Études analytiques: cas simple de la coordination de deux parafoudres à varistances à oxyde métallique (MOV) ... 330
F.2.3 Étude analytique: cas de la coordination entre un parafoudre à éclateur et un parafoudre à varistance à oxyde métallique (MOV) ... 333
F.2.4 Étude analytique: coordination générale de deux parafoudres ... 335
F.2.5 Méthode d'énergie traversante (LTE) ... 336
F.3 Essais de coordination: coordination de l'énergie ainsi que la protection en tension ... 339
F.3.1 Introduction ... 339
F.3.2 Critères de coordination ... 340
F.3.3 Techniques de coordination ... 340
F.3.4 Protocole d'essai ... 341
Annexe G (informative) Exemples d'utilisation ... 345
G.1 Utilisation domestique ... 345
G.2 Utilisation industrielle ... 348
G.3 Présence d'un système de protection contre la foudre ... 353
G.4 Éoliennes ... 354
G.4.1 Généralités ... 354
G.4.2 Surtensions transitoires dans le circuit de convertisseur DFIG ... 355
G.4.3 Effet de transmission de la tension transitoire en raison de la longueur de câble ... 356

G.4.4 Coordination de tension entre le parafoudre et le matériel dans les parcs éoliens ... 357
G.4.5 Solutions possibles pour le cas décrit dans le CLC/TR 50539-22 ... 359
Annexe H (informative) Méthode d'appréciation du risque et exemples d'application ... 361
H.1 Généralités ... 361
H.2 Méthode simplifiée proposée pour l'appréciation du risque à basse tension décrite dans l'IEC 60364-4-44 ... 361
H.2.1 Maîtrise des surtensions ... 361
H.2.2 Méthode simplifiée d'appréciation du risque ... 361
H.2.3 Exemple 1 – Bâtiment en environnement rural ... 363
H.2.4 Exemple 2 – Bâtiment en environnement rural alimenté en HT ... 363
H.2.5 Exemple 3 – Bâtiment en environnement urbain ... 364
H.2.6 Exemple 4 – Bâtiment en environnement urbain alimenté en HT ... 364
H.2.7 Exemple 5 – Système d'alimentation pour véhicule électrique ... 364
H.2.8 Exemple 6 – Usine de produits chimiques ... 365
H.3 Facteurs à prendre en considération lors de l'appréciation du risque ... 368
H.3.1 Facteurs environnementaux ... 368
H.3.2 Matériel et installations ... 369
H.3.3 Aspects économiques et interruption de service ... 370
H.3.4 Sécurité ... 370
H.3.5 Dépenses relatives à la protection ... 371
Annexe I (informative) Contraintes dues aux réseaux ... 372
I.1 Courants et surtensions de foudre [5.2.2] ... 372
I.1.1 Aspects des réseaux de distribution ayant un effet sur la nécessité d'un parafoudre ... 372
I.1.2 Répartition du courant de choc dans une structure ... 372
I.2 Surtensions de manœuvre [5.2.3] ... 373
I.3 Surtensions temporaires U_{TOV} [5.2.4] ... 373
Annexe J (informative) Utilisation des parafoudres ... 375
J.1 Emplacement et protection apportée par les parafoudres [7.1] ... 375
J.1.1 Modes possibles de protection et d'installation [7.1.3] ... 375
J.1.2 Influence des phénomènes d'oscillation sur la distance de protection [7.1.4.2] ... 384
J.1.3 Concept de la zone de protection [7.1.4.6] ... 385
J.2 Choix des parafoudres ... 387
J.2.1 Choix de U_C [7.2.2.1] ... 387
J.2.2 Problèmes de coordination [7.3.7.2] ... 388
J.2.3 Cas pratiques [7.2.7.2] ... 390
J.3 Calcul simple de I_{imp} pour un parafoudre de classe I dans le cas d'un bâtiment protégé par un système de protection contre la foudre ... 390
Annexe K (informative) Immunité par rapport à la tension assignée de tenue aux chocs ... 395
Annexe L (informative) Exemples d'installation de parafoudres dans les tableaux de distribution de certains pays ... 402
Annexe M (informative) Coordination dans le cas d'un matériel présentant à la fois des bornes de télécommunication et de puissance ... 407
Annexe N (informative) Dispositif de protection contre les surintensités de courts-circuits et tenue aux chocs ... 414
N.1 Généralités ... 414

N.2 Informations relatives à la tenue des fusibles à une onde de choc 8/20 et 10/350 414
N.3 Facteurs influençant les fusibles (réduction) pour l'essai de préconditionnement et l'essai de fonctionnement en service 415
N.4 Tenue des fusibles selon les données expérimentales et confirmée par calculs en fonction des paramètres et des limites spécifiés dans la série IEC 60269 416
N.5 Comportement des déconnecteurs externes en fonction des technologies 417
N.6 Exigences et valeurs d'essai supplémentaires pour les déconnecteurs externes de parafoudres utilisés dans certains pays 418
Annexe O (informative) Méthodes pratiques d'essai du niveau d'immunité du réseau dans les conditions de décharge de foudre 422
O.1 Généralités 422
O.2 Essai de courant de décharge du parafoudre dans les conditions normales de service 422
O.3 Essai d'induction due aux courants de foudre 422
O.4 Classification d'essai recommandée du niveau d'immunité du système (IEC 61000-4-5 suivante) 422
Annexe P (informative) Guide d'essai des parafoudres contenant plusieurs composants 425
P.1 Généralités 425
P.2 Exemple d'éclateurs multiples en série avec commande de déclenchement ohmique/capacitif 425
P.3 Exemple de 2 éclateurs en série avec commande de déclenchement capacitif et montage en série raccordé en parallèle de GDT + MOV 426
P.4 Exemple de GDT à 3 électrodes avec commande de dérivation/déclenchement parallèle avec MOV 426
P.5 Exemple d'éclateur à 4 électrodes avec commande de déclenchement GDT + MOV 427
P.6 Exemple d'éclateur en parallèle avec un GDT et MOV connectés en série 428
P.7 Exemple d'éclateur à 3 électrodes avec transformateur de déclenchement 429
Annexe Q (informative) Exceptions aux États-Unis en matière de parafoudres soumis aux essais de Classe I 430
Bibliographie 431

Figure 1 – Exemples de parafoudres à un port 226
Figure 2 – Exemples de parafoudres à deux ports 227
Figure 3 – Réponse en tension de sortie de parafoudres à un port et à deux ports à un choc de générateur d'ondes combinées 228
Figure 4 – Exemples de composants et de combinaisons de composants 244
Figure 5 – Courbe typique de U_{res} en fonction de *I* pour les varistances à oxyde métallique (MOV) 249
Figure 6 – Courbe typique d'un éclateur 250
Figure 7 – Organigramme d'utilisation des parafoudres 253
Figure 8 – Exemple de connexion de Type 1 (CT1) 255
Figure 9 – Connexion de Type 2 (CT2) 255
Figure 10 – Influence des longueurs des câbles de raccordement des parafoudres 260
Figure 11 – Schéma d'installation possible avec une barre de mise à la terre intermédiaire lorsque la longueur de câble dépasse 50 cm 262

Figure 12 – Exemple de la nécessité de parafoudres supplémentaires lorsque la longueur des câbles raccordés est inférieure à 50 cm 264
Figure 13 – Organigramme pour le choix d'un parafoudre 266
Figure 14 – U_T et U_{TOV} 268
Figure 15 – Disposition d'un parafoudre et d'un déconnecteur externe pour la continuité de l'alimentation 271
Figure 16 – Disposition d'un parafoudre et d'un déconnecteur externe pour la continuité de la protection 272
Figure 17 – Sélectivité entre l'OCPD et le déconnecteur en cas de court-circuit 273
Figure 18 – Utilisation type de deux parafoudres – Schéma électrique 277
Figure A.1 – Montage d'essai pour essai de fonctionnement en service 284
Figure A.2 – Chronogramme d'essai de fonctionnement pour les 15 premiers chocs 285
Figure A.3 – Chronogramme d'essai de fonctionnement pour 5 chocs supplémentaires 285
Figure D.1 – Calcul simple de la somme des courants de foudre partiels dans un réseau de distribution 300
Figure E.1 – Schéma représentatif des connexions possibles à la terre dans les postes et dans les installations BT, et surtensions apparaissant en cas de défauts 306
Figure E.2 – Exemple de schéma TT avec mise à la terre combinée du poste de transformation R_E avec mise à la terre de point milieu BT (neutre mis à la terre) R_B 307
Figure E.3 – Schéma TN (Figure 44B de l'IEC 60364-4-44:2007) 312
Figure E.4 – Schéma TT (Figure 44C de l'IEC 60364-4-44:2007) 313
Figure E.5 – Schéma IT, exemple a (Figure 44D de l'IEC 60364-4-44:2007) 314
Figure E.6 – Schéma IT, exemple b (Figure 44F de l'IEC 60364-4-44:2007) 315
Figure E.7 – Schéma IT, exemple c1 (Figure 44E de l'IEC 60364-4-44:2007) 316
Figure E.8 – Surtension temporaire résultant d'un défaut dans le primaire (réseau MT à 4 fils – mise à la terre directe) du transformateur de distribution dans un schéma TN conformément à la pratique en vigueur en Amérique du Nord 317
Figure E.9 – Tensions efficaces p.u. maximales de TOV classiques (V) (Tableau 2 de l'IEEE 1159-2009) 322
Figure E.10 – Exemple de partage de la terre d'un réseau 100 V/200 V mis à la terre à prise médiane monophasé et d'un réseau 200 V à une borne (Triangle) triphasé mis à la terre 326
Figure E.11 – Réseaux de distribution classiques d'un réseau 100 V/200 V mis à la terre à prise médiane monophasé au Japon 327
Figure E.12 – Configuration de réseau classique au Japon 328
Figure E.13 – Caractéristiques TOV par des défauts dans le réseau à haute tension au Japon 328
Figure F.1 – Deux varistances à oxyde métallique (MOV) ayant le même courant nominal de décharge 330
Figure F.2 – Deux varistances à oxyde métallique (MOV) ayant des courants nominaux de décharge différents 332
Figure F.3 – Exemple de coordination entre un parafoudre à éclateur et un parafoudre à varistance à oxyde métallique (MOV) 335
Figure F.4 – LTE – Méthode de coordination avec les paramètres d'une impulsion normale 337
Figure F.5 – Disposition des parafoudres pour l'essai de coordination 342
Figure G.1 – Utilisation domestique 347
Figure G.2 – Installation industrielle 351

Figure G.3 – Circuits de l'installation industrielle 352
Figure G.4 – Exemple de système de protection contre la foudre 354
Figure G.5 – Configuration d'une éolienne DFIG 355
Figure G.6 – Tension MLI entre la génératrice et le convertisseur au niveau du circuit du rotor 356
Figure G.7 – Position du convertisseur et de la génératrice 357
Figure G.8 – Convertisseur soumis à l'essai en laboratoire et sa forme d'onde de tension L-PE 358
Figure H.1 – Exemple de sections individuelles d'une ligne de puissance 363
Figure H.2 – Exemple de système d'alimentation pour véhicule électrique 365
Figure H.3 – Exemple d'usine de produits chimiques 366
Figure J.1 – Installation de parafoudres dans des schémas TN 376
Figure J.2 – Installation de parafoudres dans des schémas TT (parafoudre placé en aval du DDR) 378
Figure J.3 – Installation de parafoudres dans des schémas TT (parafoudre placé en amont du DDR) 379
Figure J.4 – Installation de parafoudres dans des schémas IT sans neutre distribué 380
Figure J.5 – Installation caractéristique de parafoudres à l'entrée d'une installation dans le cas d'un schéma TN C-S 381
Figure J.6 – Façon générale d'installer des parafoudres à un port 382
Figure J.7 – Exemples d'installations acceptables et non acceptables de parafoudres vis-à-vis de la CEM 383
Figure J.8 – Représentations physique et électrique d'un réseau dont le matériel protégé est séparé de la protection apportée par le parafoudre 384
Figure J.9 – Oscillation possible entre un parafoudre à varistance à oxyde métallique (MOV) et le matériel à protéger 385
Figure J.10 – Exemple de doublement de tension 385
Figure J.11 – Subdivision d'un bâtiment en zones de protection 386
Figure J.12 – Coordination de deux varistances à oxyde métallique (MOV) 389
Figure L.1 – Schéma de câblage d'un parafoudre relié du côté charge du déconnecteur de parafoudre d'arrivée principal par l'intermédiaire d'un déconnecteur de parafoudre séparé (qui pourrait être inclus dans l'enveloppe du parafoudre) 402
Figure L.2 – Parafoudre relié au disjoncteur à l'arrivée disponible le plus proche de l'alimentation d'entrée (installation TNS généralement rencontrée au Royaume-Uni) 403
Figure L.3 – Schéma de câblage unifilaire d'un parafoudre relié en dérivation sur la première sortie du tableau de distribution par l'intermédiaire d'un fusible (ou disjoncteur) 404
Figure L.4 – Parafoudre relié au disjoncteur disponible le plus proche sur l'alimentation d'entrée (installation TN-C-S, 4W + G triphasée rencontrée aux États-Unis) 405
Figure L.5 – Parafoudre relié au disjoncteur disponible le plus proche sur l'alimentation d'entrée (réseau 120/240 V, 3W + G monophasé (phases séparées) rencontré aux États-Unis – typique pour les applications résidentielles et des petites entreprises) 406
Figure M.1 – Exemple d'ordinateur avec modem dans un réseau de puissance et de communication rencontré aux États-Unis 408
Figure M.2 – Schéma du circuit de la Figure M.1 utilisé pour les essais expérimentaux 409
Figure M.3 – Tension enregistrée aux points de référence pour l'ordinateur/le modem au cours d'une surtension dans l'exemple (tension et courant en fonction du temps, en µs) 410
Figure M.4 – Schéma TT typique utilisé pour les simulations 411

Figure M.5 – Formes d'ondes de tension et de courant mesurées lors de l'application d'une surtension lorsqu'un parafoudre multifonction a été installé dans le circuit de la structure représentée à la Figure M.1 413

Figure N.1 – Schéma de coordination des déconnecteurs interne et externe du parafoudre avec la varistance à oxyde métallique (MOV) 420

Figure N.2 – Exemple de caractéristiques temps/courant des déconnecteurs de parafoudre 421

Figure O.1 – Exemple de circuit utilisé pour procéder aux essais de courant de décharge dans les conditions normales de service 423

Figure O.2 – Exemple de circuit d'un essai d'induction due à des courants de foudre 424

Figure P.1 – Exemple d'éclateurs multiples en série avec commande de déclenchement ohmique/capacitif 426

Figure P.2 – 2 éclateurs en série avec commande de déclenchement capacitif 426

Figure P.3 – Exemple de GDT à 3 électrodes avec commande de dérivation/déclenchement parallèle avec MOV 427

Figure P.4 – Éclateur à 4 électrodes avec commande de déclenchement GDT + MOV 428

Figure P.5 – Éclateur en parallèle avec un GDT et MOV connectés en série 428

Figure P.6 – Éclateur à 3 électrodes avec transformateur de déclenchement 429

Tableau 1 – Valeurs maximales des surtensions temporaires selon l'IEC 60364-4-44:2007 241

Tableau 2 – Valeurs préférentielles de I_{imp} 248

Tableau 3 – Modes de protection pour différents réseaux BT 256

Tableau 4 – Valeur de U_C minimale recommandée du parafoudre pour les différents réseaux 267

Tableau B.1 – Relation entre U_C et la tension nominale du réseau 291

Tableau B.2 – Exemple de valeurs de U_p/U_C pour les varistances à oxyde métallique (MOV) 292

Tableau E.1 – Tensions de contrainte à fréquence industrielle admissibles conformément à l'IEC 60364-4-44 305

Tableau E.2 – Tensions de contrainte à fréquence industrielle et tension de défaut à fréquence industrielle dans les réseaux à basse tension pendant un défaut à la terre à haute tension 309

Tableau E.3 – Valeurs d'essai de TOV pour des réseaux conformes à la série IEC 60364 319

Tableau E.4 – Valeurs de tension d'essai de référence pour des réseaux conformes à la série IEC 60364 320

Tableau E.5 – Paramètres de TOV pour les réseaux américains 322

Tableau E.6 – Valeurs de TOV UL utilisées pour soumettre les parafoudres à l'essai dans les réseaux américains 323

Tableau E.7 – Tension nominale et tension d'essai de référence pour les réseaux japonais 324

Tableau E.8 – Paramètres d'essai de TOV pour les réseaux japonais 325

Tableau E.9 – Valeur maximale de la tension TOV aux différents points de défaut à la terre326

Tableau E.10 – Classe de prise de terre et valeur maximale de la résistance de terre 327

Tableau F.1 – 339

Tableau F.2 – 339

Tableau F.3 – 339

Tableau F.4 – Procédure d'essai de coordination 343
Tableau G.1 – Valeur de crête de la tension MLI et de du/dt aux deux bornes selon l'enquête réalisée en Chine en 2011 357
Tableau G.2 – Exemple de caractéristiques du circuit d'excitation de l'alternateur de génératrice et du parafoudre associé 358
Tableau G.3 – Comparaison entre le parc éolien et le réseau de distribution à basse tension 359
Tableau H.1 – Calcul de CRL 362
Tableau H.2 – Méthode simplifiée 367
Tableau H.3 – Méthode de l'IEC 62305-2 368
Tableau J.1 – Détermination de la valeur de I_{imp} 392
Tableau J.2 – Détermination de la valeur de Iimp pour les réseaux supplémentaires utilisés au Japon 393
Tableau J.3 – Nombre de conducteurs correspondant à la structure habituelle de l'alimentation 394
Tableau J.4 – Nombre de conducteurs correspondant aux réseaux supplémentaires utilisés au Japon 394
Tableau K.1 – Tensions assignées de tenue aux chocs classiques (déduites de l'IEC 60664-1) 396
Tableau K.2 – Choix des niveaux d'essai d'immunité en fonction des conditions de l'installation 399
Tableau K.3 – Niveau d'immunité d'une entrée en courant alternatif 400
Tableau M.1 – Résultats de simulation 412
Tableau N.1 – Exemples de rapports entre la tenue à une onde de choc et l'ensemble de l'essai de préconditionnement/fonctionnement en service 416
Tableau N.2 – Comportement des déconnecteurs externes selon les technologies 418
Tableau N.3 – Exemples de caractéristiques assignées électriques pour les déconnecteurs à fusibles de parafoudre (SFD) 419
Tableau N.4 – Exemples de courants de déclenchement pour les SSD 419

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

PARAFOUDRES À BASSE TENSION –

Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux à basse tension – Principes de choix et de mise en œuvre

AVANT-PROPOS

1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61643-12 a été établie par le sous-comité 37A: Dispositifs de protection à basse tension contre les surtensions, du comité d'études 37 de l'IEC: Parafoudres.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

NOTE La méthode différente suivante, à caractère moins permanent, existe aux États-Unis: Aux États-Unis, les parafoudres soumis à l'essai de Classe I ne sont pas exigés. Cette exception s'applique à l'ensemble du document.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

a) Domaine d'application: La référence à 1 500 V en courant continu a été supprimée
b) Certaines définitions ont été ajoutées ou révisées
c) Un nouvel Article 4 relatif à la nécessité de protection a été ajouté
d) De nouvelles informations relatives aux dispositifs de déconnexion ont été ajoutées
e) Les caractéristiques du parafoudre ont été révisées
f) La liste des paramètres pour le choix des parafoudres a été révisée
g) De nouvelles informations relatives à la tension de limitation mesurée ont été ajoutées
h) Certaines Annexes ont été ajoutées ou révisées

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
37A/341/FDIS	37A/347/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de la présente Norme internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61643, publiées sous le titre général *Parafoudres à basse tension*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer ce document en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

0.1 Généralités

Les parafoudres sont utilisés pour assurer la protection, dans des conditions spécifiques, des systèmes et des appareils électriques contre différents surtensions et courants de choc (les surtensions dues à la foudre et les surtensions de coupure, par exemple).

Les parafoudres doivent être choisis selon leur exposition et le taux acceptable de défaillance du matériel et des parafoudres.

Le présent document fournit des informations à l'utilisateur sur les caractéristiques utiles pour choisir un parafoudre.

Le présent document fournit des informations permettant d'évaluer la nécessité d'utiliser des parafoudres dans des réseaux à basse tension, en faisant référence aux parties 1 à 4 de l'IEC 62305 et à la série IEC 60364. Il fournit également des informations concernant le choix et la coordination des parafoudres, tout en tenant compte de l'environnement global dans lequel ils sont mis en œuvre. Exemples: matériel à protéger, caractéristiques du système, niveaux d'isolement, surtensions, méthode d'installation, emplacement des parafoudres, coordination des parafoudres, comportement de fin de vie des parafoudres et conséquences des défaillances pour les matériels.

L'IEC 62305-2 fournit une méthode générale d'évaluation du risque lié aux surtensions et à la foudre. L'IEC 60364-4-44 donne une méthode simplifiée d'évaluation du risque lié aux installations électriques.

Des recommandations sur les exigences de coordination de l'isolement des produits sont données dans la série IEC 60664. Des exigences de sécurité (incendie, surintensités et chocs électriques) et d'installation sont données dans la série IEC 60364.

Les publications de la série IEC 60364 donnent des informations directes aux installateurs pour l'installation des parafoudres. L'IEC TR 62066 donne de plus amples informations sur l'arrière-plan scientifique de la protection contre les surtensions.

0.2 Clés pour comprendre la structure du présent document

La liste ci-dessous résume la structure du présent document ainsi que les informations données dans les articles et les annexes. Les articles principaux fournissent des informations de base sur les facteurs utilisés pour le choix des parafoudres. Il convient que les lecteurs souhaitant obtenir plus de détails sur les renseignements fournis de l'Article 4 à l'Article 7 se réfèrent aux annexes appropriées.

L'Article 1 décrit le domaine d'application du présent document.

L'Article 2 donne les références normatives dans lesquelles des informations complémentaires peuvent être obtenues.

L'Article 3 donne les définitions utiles pour la compréhension du présent document.

L'Article 4 est une introduction à l'analyse du risque de chocs (considérations sur les cas où un parafoudre est utile).

L'Article 5 traite des paramètres des réseaux et des matériels importants pour le choix d'un parafoudre. En plus des contraintes dues à la foudre, celles dues au réseau lui-même sont décrites, à savoir les surtensions temporaires et les surtensions de coupure.

L'Article 6 énumère les paramètres électriques pour le choix d'un parafoudre et donne des explications concernant ces paramètres. Ceux-ci correspondent à ceux de l'IEC 61643-11.

L'Article 7 est l'article principal du présent document. Il compare les contraintes provenant du réseau (Article 5) et les caractéristiques du parafoudre (Article 6). Il indique également dans quelle mesure la protection assurée par les parafoudres peut être affectée par son installation. Les différentes étapes du choix d'un parafoudre sont présentées, incluant la coordination lorsque plus d'un parafoudre est utilisé dans une installation (des informations détaillées sur la coordination des parafoudres sont indiquées à l'Annexe F).

L'Annexe A donne des informations relatives aux enquêtes et explique les procédures d'essai utilisées dans l'IEC 61643-11.

L'Annexe B donne des exemples de relations entre les deux paramètres importants des parafoudres, U_c et U_p, dans le cas spécifique des varistances à oxyde métallique (MOV), ainsi que des exemples de relations entre U_c et la tension nominale du réseau.

L'Annexe C complète les informations données à l'Article 5 sur les tensions de choc dans les réseaux à basse tension.

L'Annexe D traite de la répartition du courant de foudre entre différents schémas de liaison à la terre utilisés pour déterminer les caractéristiques assignées du parafoudre en cas de courant de foudre direct.

L'Annexe E traite des surtensions temporaires dues à des défauts dans le réseau à haute tension.

L'Annexe F complète les informations données à l'Article 7 sur les règles de coordination lorsque plusieurs parafoudres sont utilisés dans une installation.

L'Annexe G donne des exemples spécifiques d'application du présent document.

L'Annexe H donne des exemples spécifiques de l'utilisation de l'analyse du risque présentée à l'Article 4.

L'Annexe I complète les informations données à l'Article 5 sur les contraintes du réseau.

L'Annexe J complète les informations données à l'Article 7 sur l'utilisation des parafoudres selon différents types de réseaux à basse tension pour le choix des parafoudres.

L'Annexe K traite des différences entre le niveau d'immunité et la tenue à l'isolement des appareils électriques.

L'Annexe L donne des exemples pratiques d'installations de parafoudre telles qu'elles sont utilisées dans certains pays.

L'Annexe M traite des problèmes de coordination avec un matériel présentant à la fois des bornes de télécommunication et de puissance.

L'Annexe N donne des informations sur la tenue des fusibles dans des conditions de surtension.

L'Annexe O présente des méthodes pratiques d'essai de l'immunité au niveau du réseau.

L'Annexe P fournit une application d'essai pour les parafoudres à plusieurs composants.

PARAFOUDRES À BASSE TENSION –

Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux à basse tension – Principes de choix et de mise en œuvre

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61643 décrit les principes relatifs au choix, au fonctionnement, à l'emplacement et à la coordination des parafoudres à connecter à des circuits de puissance 50 Hz/60 Hz en courant alternatif, et des matériels de puissance allant jusqu'à 1 000 V en valeur efficace.

Ces dispositifs contiennent au moins un composant non linéaire et visent à limiter les tensions de choc et à écouler les courants de choc.

NOTE 1 Des exigences supplémentaires relatives à des applications particulières sont également applicables, si cela est exigé.

NOTE 2 L'IEC 60364 et l'IEC 62305-4 s'appliquent également.

NOTE 3 Le présent document traite seulement des parafoudres et non des composants de parafoudres (SPC) intégrés dans un matériel.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60364-4-44:2007, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-44: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les perturbations de tension et les perturbations électromagnétiques*

IEC 60364-5-53, *Installations électriques à basse tension – Partie 5-53: Choix et mise en œuvre des matériels électriques – Dispositifs de protection pour assurer la sécurité, le sectionnement, la coupure, la commande et la surveillance*

IEC 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

IEC 60664-1:2007, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

IEC 61000-4-5, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

IEC 61643-32, *Parafoudres basse tension – Partie 32: Parafoudres connectés au côté courant continu des installations photovoltaïques – Principes de choix et d'application*

IEC 61643-11:2011, *Parafoudres basse tension – Partie 11: Parafoudres connectés aux systèmes basse tension – Exigences et méthodes d'essai*

IEC 62305-1:2010, *Protection contre la foudre – Partie 1: Principes généraux*

IEC 62305-2, *Protection contre la foudre – Partie 2: Évaluation des risques*

IEC 62305-4, *Protection contre la foudre – Partie 4: Réseaux de puissance et de communication dans les structures*

IEC 62475:2010, *Techniques des essais à haute intensité – Définitions et exigences relatives aux courants d'essai et systèmes de mesure*

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse http://www.electropedia.org/
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse http://www.iso.org/obp

3.1.1
dispositif de protection contre les surtensions (parafoudre)
SPD
dispositif incluant au moins un composant non linéaire destiné à limiter les surtensions et à écouler les courants de foudre

Note 1 à l'article: Un parafoudre (SPD) est un ensemble complet disposant de moyens de connexion appropriés.

Note 2 à l'article: L'abréviation "SPD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "*surge protective device*"

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.1]

3.1.2
courant de fonctionnement permanent
I_c
courant s'écoulant à travers chaque mode de protection du parafoudre lorsqu'il est alimenté sous la tension maximale de régime permanent (U_c) pour chaque mode

3.1.3
tension maximale de régime permanent
U_c
tension efficace maximale qui peut être appliquée en régime permanent au mode de protection du parafoudre

Note 1 à l'article La valeur de U_c faisant l'objet du présent document peut dépasser 1 000 V.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.11]

3.1.4
niveau de protection en tension
U_p
tension maximale aux bornes du parafoudre, due à une contrainte de choc à gradient de tension défini et une contrainte de choc à courant de décharge, d'amplitude et de forme d'onde données

Note 1 à l'article: Le niveau de protection en tension est indiqué par le fabricant et peut ne pas dépasser:

- la tension de limitation mesurée, déterminée pour la valeur de la tension d'amorçage sur le front d'onde (le cas échéant) et la tension de limitation mesurée, déterminée à partir des mesurages de tension résiduelle à des amplitudes correspondant à I_n et/ou I_{imp} respectivement pour des classes d'essai II et/ou I, respectivement;
- la tension de limitation mesurée à U_{OC} déterminée pour la forme d'onde combinée pour la classe d'essai III.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.14, note à l'article modifiée]

3.1.5
tension de limitation mesurée
valeur la plus élevée de la tension mesurée aux bornes du parafoudre, pendant l'application de chocs de forme d'onde et d'amplitude spécifiées

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.15]

3.1.6
tension résiduelle
U_{res}
valeur de crête de la tension qui apparaît entre les bornes d'un parafoudre pendant le passage du courant de décharge

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.16]

3.1.7
valeur d'essai de surtension temporaire
U_T
tension d'essai appliquée au parafoudre pendant une durée spécifique t_T afin de simuler la contrainte dans des conditions de surtension temporaire (TOV)

Note 1 à l'article: il s'agit d'une caractéristique du parafoudre déclarée par le fabricant, qui donne des informations sur le comportement du parafoudre lorsqu'il est soumis à des contraintes avec des tensions U_T supérieures à U_c pendant une durée spécifiée t_T (ce comportement peut être soit aucun changement de performance après application de la surtension temporaire, soit une défaillance telle qu'il n'y ait pas de danger pour le personnel, le matériel ou l'installation).

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.17, modifiée (ajout d'une Note 1 à l'article)]

3.1.8
valeur de surtension temporaire du réseau
U_{TOV}
surtension à fréquence industrielle sur le réseau en un emplacement donné, de durée relativement longue

Note 1 à l'article: Les surtensions temporaires peuvent être causées par des défauts à l'intérieur du réseau à basse tension ($U_{TOV(LV)}$) ou dans le réseau à haute tension ($U_{TOV(HV)}$).

Note 2 à l'article: Il s'agit d'une caractéristique propre au réseau. Les surtensions temporaires, qui peuvent durer plusieurs secondes, sont généralement dues à des coupures ou à des défauts (par exemple, délestage subit, défauts simples, etc.) et/ou à des non-linéarités (effets de ferrorésonance, harmoniques, etc.).

3.1.9
courant nominal de décharge pour les essais de classe II
I_n
valeur de crête d'un courant de forme d'onde 8/20 s'écoulant dans le parafoudre

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.9]

3.1.10
courant de choc de décharge pour les essais de classe I
I_{imp}
valeur de crête d'un courant de décharge traversant le parafoudre ayant un transfert de charge spécifié Q et une énergie spécifiée W/R pendant une durée spécifiée

[SOURCE: définition 3.1.10 de l'IEC 61643-11:2011]

3.1.11
forme d'onde combinée
onde caractérisée par une amplitude définie (U_{oc}) et une forme d'onde en circuit ouvert ainsi que par une amplitude définie (I_{CW}) et une forme d'onde en court-circuit

Note 1 à l'article: L'amplitude de la tension, l'amplitude du courant et la forme d'onde délivrées au parafoudre sont déterminées par l'impédance fictive Z_f de 2 ohms du générateur d'ondes combinées (CWG) et par celle du dispositif en essai (DUT).

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.22, modifiée (ajout de "de 2 ohms" à la note à l'article)]

3.1.12
courant de choc 8/20
courant de choc dont la durée du front virtuel est de 8 µs et dont la durée jusqu'à mi-valeur est de 20 µs

Note 1 à l'article: L'Article 10 de l'IEC 62475:2010 définit le courant de choc de la durée du front, de la durée jusqu'à mi-valeur et la tolérance de forme d'onde.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.21, modifiée (suppression de "nominale" de la définition)]

3.1.13
tension de choc 1,2/50
tension de choc dont la durée du front virtuel est de 1,2 µs et dont la durée jusqu'à mi-valeur est de 50 µs

Note 1 à l'article: L'Article 7 de l'IEC 60060-1 (2010) définit la tension de choc de la durée du front, de la durée jusqu'à mi-valeur et la tolérance de forme d'onde.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.20, modifiée (suppression de "nominale" de la définition)]

3.1.14
stabilité thermique
état d'un parafoudre si, après échauffement au cours de l'essai de fonctionnement, sa température diminue au cours du temps, alors qu'il est alimenté à la valeur maximale spécifiée de tension en régime permanent et dans les conditions de température ambiante spécifiées

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.25, modifiée (ajout de "état d'un" et suppression de "est thermiquement stable" de la définition)]

3.1.15
déconnecteur de parafoudre
dispositif assurant la déconnexion d'un parafoudre ou d'une partie de parafoudre du réseau d'alimentation

Note 1 à l'article: Il n'est pas exigé que ce dispositif de déconnexion dispose d'une capacité de sectionnement à des fins de sécurité. Il a pour but de prévenir un défaut permanent sur le réseau et il est utilisé pour indiquer une éventuelle défaillance du parafoudre. Les déconnecteurs peuvent être internes (intégrés) ou externes (exigés par le fabricant). Le déconnecteur peut avoir plusieurs fonctions, par exemple une fonction de protection contre les surintensités et une fonction de protection thermique. Ces fonctions peuvent être assurées par des éléments séparés.

[SOURCE IEC 61643-11:2011, 3.1.28]

3.1.16
essais de type
essai de conformité effectué sur une ou plusieurs entités représentatives de la production

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-16]

3.1.17
degré de protection d'une enveloppe
IP
classification, précédée du symbole IP, indiquant le degré de protection assurée par une enveloppe contre l'accès aux parties dangereuses, contre la pénétration d'objets solides et éventuellement contre les effets nuisibles de la pénétration d'eau

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.29)]

3.1.18
chute de tension (en pourcentage)

$$\Delta U = [(U_{in} - U_{out}) / U_{in}] \times 100\ \%$$

où U_{in} est la tension d'entrée et U_{out} la tension de sortie mesurées de manière simultanée lorsque toute la charge résistive assignée est connectée. Ce paramètre n'est utilisé que pour les parafoudres à deux ports

3.1.19
capacité de tenue aux chocs aval pour parafoudre à deux ports
aptitude d'un parafoudre à deux ports à résister aux chocs aux bornes de sortie issus des circuits en aval du parafoudre

[SOURCE: définition 3.1.18 de l'IEC 61643-11:2011]

3.1.20
courant de court-circuit assigné
I_{SCCR}
valeur maximale présumée d'un courant de court-circuit du réseau d'alimentation pour lequel les caractéristiques assignées du parafoudre, associé à ses déconnecteurs spécifiés, sont prévues

Note 1 à l'article: Deux valeurs de courant de court-circuit assigné peuvent être définies pour les parafoudres à deux ports ou pour les parafoudres à un port ayant des bornes d'entrée et de sortie séparées: une valeur correspondant à un court-circuit interne (court-circuitant la partie interne sous tension) et une autre valeur correspondant à un court-circuit externe (court-circuit côté charge) directement sur les bornes de sortie (cas d'un défaut dans la charge).

SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.27, modifiée (ajout d'une note à l'article)]

3.1.21
parafoudre à un port
parafoudre sans impédance série spécifique

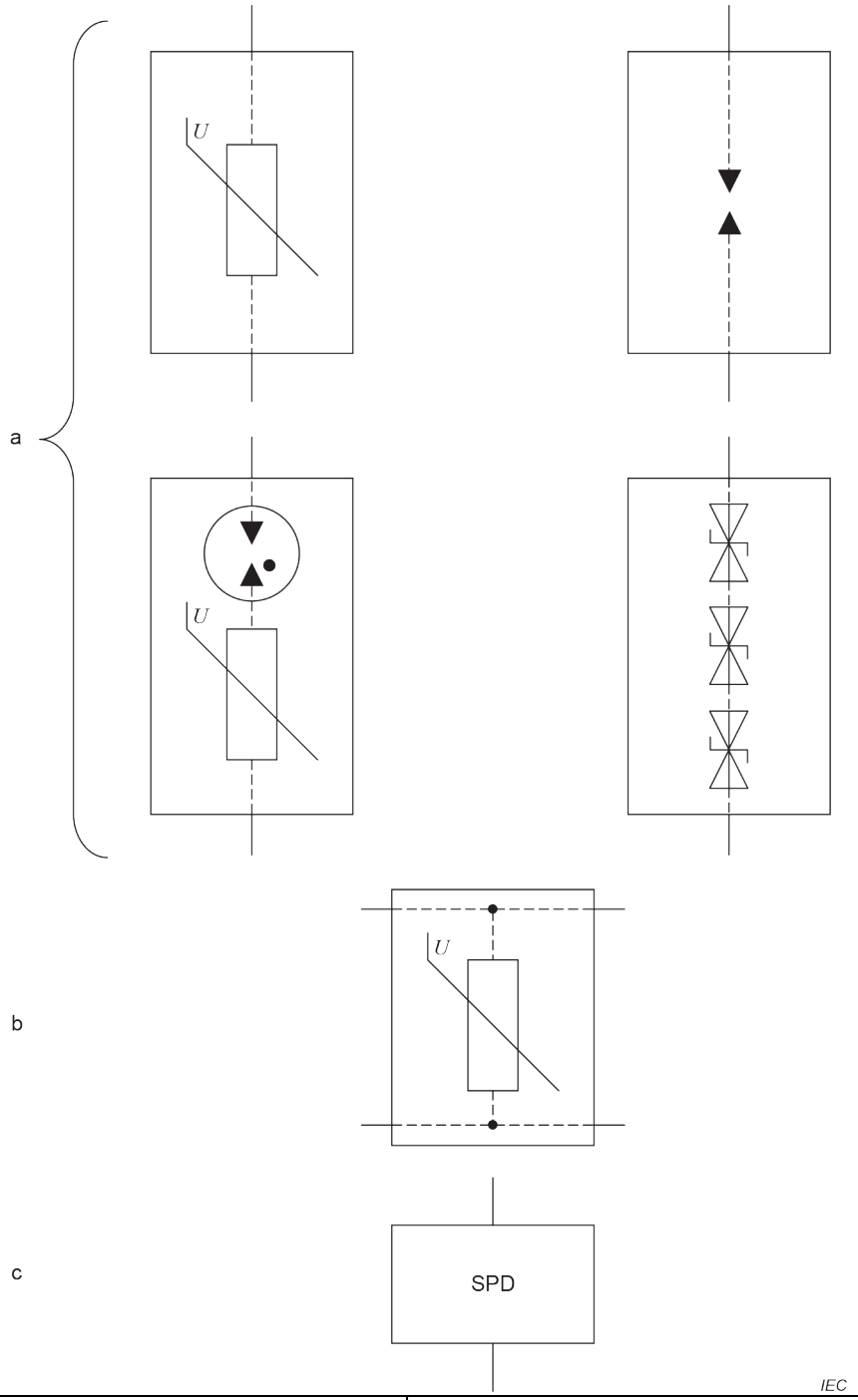
Note 1 à l'article: Un parafoudre à un port peut avoir des connexions d'entrée/sortie séparées.

Note 2 à l'article: La Figure 1 ci-dessous représente des types de parafoudres à un port et le schéma générique d'un parafoudre à un port (Figure 1c, ci-dessous). Un parafoudre à un port peut être connecté en parallèle (Figure 1) ou en série avec l'alimentation (Figure 1b). Dans le premier cas, le courant de charge ne s'écoule pas dans les bornes d'entrée et de sortie du parafoudre. Dans le deuxième cas, le courant de charge s'écoule dans les bornes d'entrée et de sortie du parafoudre, et la température s'élève sous le courant de charge et le courant maximal admissible de charge associé peut être déterminé comme pour un parafoudre à deux ports. Les Figure 3b à Figure 3d ci-dessous représentent la réponse de différents types de parafoudres à un port à un choc de 8/20 appliqué par un générateur d'ondes combinées.

3.1.22
parafoudre à deux ports
parafoudre ayant une impédance série spécifique connectée entre des bornes d'entrée et de sortie séparées

Note 1 à l'article: La tension de limitation mesurée peut être plus élevée sur les bornes d'entrée que sur les bornes de sortie. C'est la raison pour laquelle le matériel à protéger doit être connecté aux bornes de sortie. La Figure 2 représente des types de parafoudres à deux ports. La Figure 3e et la Figure 3f représentent la réponse d'un parafoudre à deux ports à une onde 8/20 appliquée par un générateur d'ondes combinées.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.3, modifiée (ajout d'une note à l'article)]



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

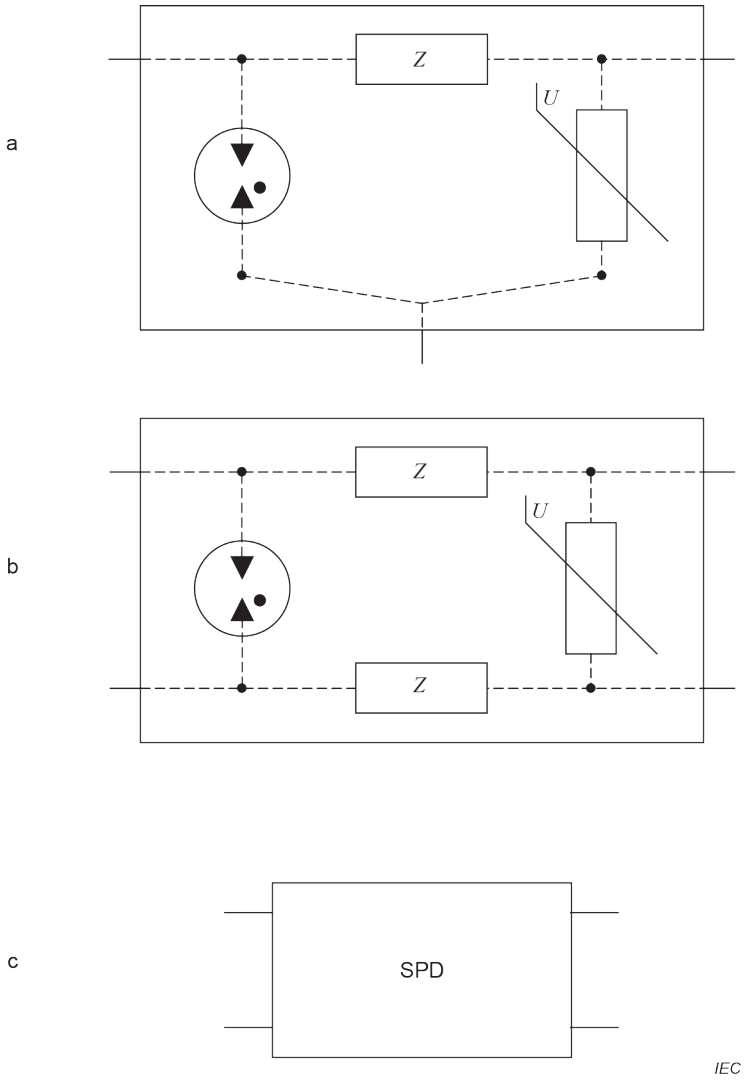
Légende

a Parafoudres à un port

b Parafoudre à un port à bornes d'entrée/sortie séparées

c Symbole générique d'un parafoudre à un port

Figure 1 – Exemples de parafoudres à un port



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

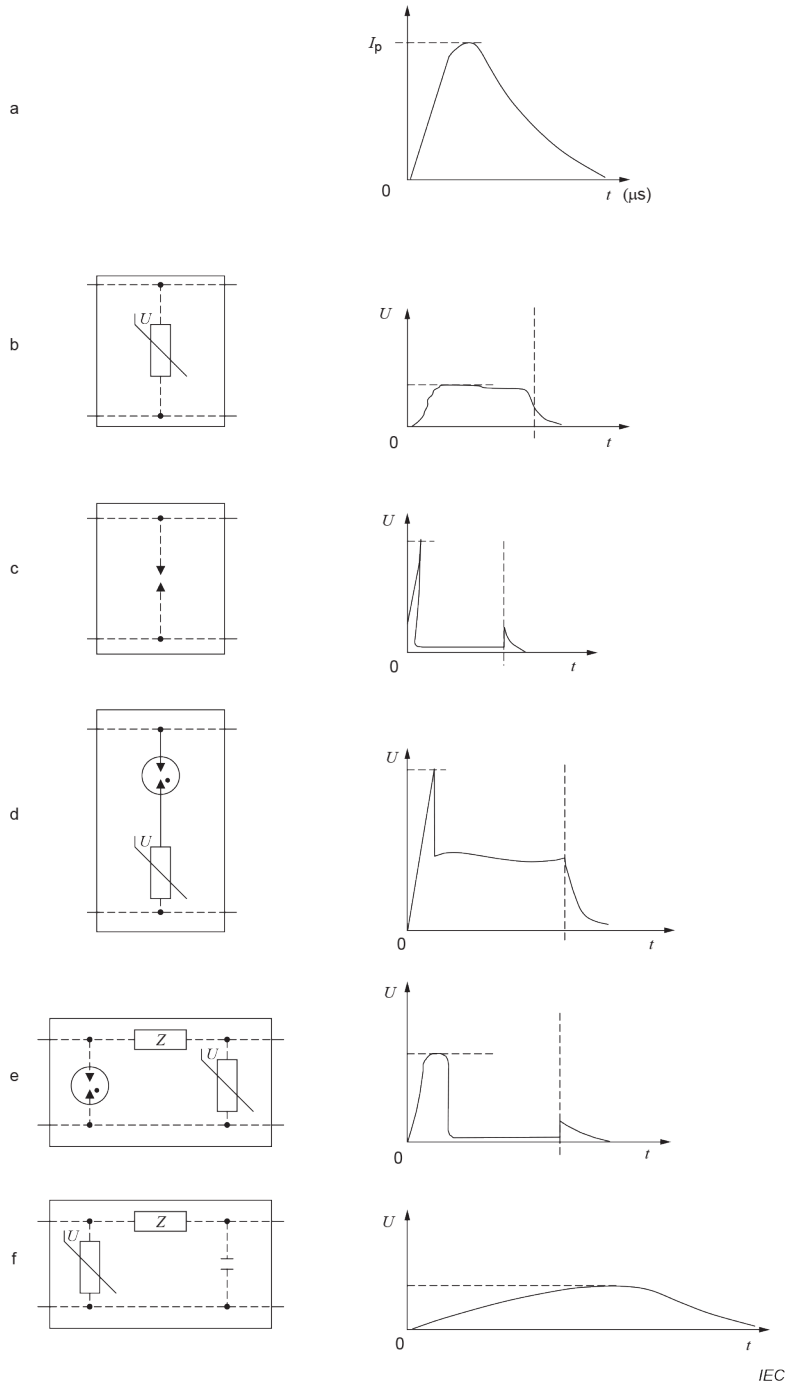
a Parafoudre à deux ports à trois bornes

b Parafoudre à deux ports à quatre bornes

c Symbole générique d'un parafoudre à deux ports

Z Impédance série entre les bornes d'entrée et de sortie

Figure 2 – Exemples de parafoudres à deux ports



Légende

a Forme d'onde de courant appliquée

b Forme d'onde de tension de sortie du parafoudre de type à limitation de tension

c Forme d'onde de tension de sortie du parafoudre à coupure de tension

d Forme d'onde de tension de sortie du parafoudre de type combiné à un port

e Forme d'onde de tension de sortie du parafoudre de type combiné à deux ports

f Forme d'onde de tension de sortie du parafoudre de type à limitation de tension à deux ports avec filtrage

NOTE Les niveaux de tension sont seulement représentatifs et n'indiquent aucune valeur véritable. U dans la partie droite de la figure désigne la tension de sortie des parafoudres, tandis que U dans la partie gauche est le symbole de la varistance.

Figure 3 – Réponse en tension de sortie de parafoudres à un port et à deux ports à un choc de générateur d'ondes combinées

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.2, modifiée (ajout d'une Note 2 à l'article et des Figures 1 à 3)]

3.1.23
parafoudre à coupure de tension
parafoudre présentant une impédance élevée en l'absence de choc, qui peut chuter rapidement en réponse à un choc

Note 1 à l'article: Les composants habituellement utilisés dans les parafoudres de type à coupure de tension sont les éclateurs, les tubes à décharge dans un gaz et les composants à base de silicone (les thyristors, par exemple). Ces composants sont parfois dits "de type crowbar".

Note 2 à l'article: Un dispositif de coupure de tension présente une caractéristique discontinue de U en fonction de la caractéristique I. La Figure 3c représente la réponse d'un parafoudre à coupure de tension classique à un choc appliqué par l'intermédiaire d'un générateur d'ondes combinées.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.4, modifiée (ajout d'une Note 2 à l'article)]

3.1.24
SPD de type à limitation de tension
parafoudre présentant une impédance élevée en l'absence de choc, mais qui diminue de manière continue au fur et à mesure que le courant de foudre et la tension de choc augmentent

Note 1 à l'article: Les composants habituellement utilisés dans les SPD de type à limitation de tension sont les varistances à oxyde métallique et les diodes à avalanche. Ces composants sont parfois dits "de type clamping".

Note 2 à l'article: Un dispositif à limitation de tension présente une caractéristique continue de U en fonction de I. La Figure 3b représente la réponse d'un parafoudre de type à limitation de tension classique à un choc appliqué par l'intermédiaire d'un générateur d'ondes combinées.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.5, modifiée (ajout d'une Note 2 à l'article)]

3.1.25
SPD de type combiné
parafoudre comportant à la fois des composants à coupure de tension et des composants à limitation de tension

Note 1 à l'article: Le parafoudre peut avoir une fonction de coupure de tension, de limitation de tension ou les deux à la fois.

Note 2 à l'article: La Figure 3d et la Figure 3e représentent la réponse de différents parafoudres de types combinés classiques à une onde appliquée par un générateur d'ondes combinées.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.6, modifiée (ajout d'une note à l'article)]

3.1.26
mode de protection
chemin de courant entre des bornes comportant des composants de protection, par exemple entre phases, entre phase et terre, entre phase et neutre et entre neutre et terre

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.8]

3.1.27
courant de suite
I_f
courant de crête fourni par le réseau d'alimentation électrique et s'écoulant à travers le parafoudre après un choc de courant de décharge

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.12]

3.1.28
courant maximal de décharge
I_{max}
valeur de crête d'un courant de forme d'onde 8/20 s'écoulant dans le parafoudre et d'une amplitude conforme à la spécification du fabricant

Note 1 à l'article: I_{max} est supérieur ou égal à I_n.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.48]

3.1.29
dégradation (des performances)
écart permanent indésirable des performances opérationnelles d'un équipement ou d'un système par rapport à ses performances prévues

Note 1 à l'article: La durabilité est une mesure de la capacité d'un parafoudre à résister aux conditions pour lesquelles il a été conçu pendant sa durée de vie. Deux essais de type sont effectués pour vérifier son niveau de dégradation. Le premier est l'essai de fonctionnement en service et le second est l'essai de vieillissement. Cependant, ces deux essais peuvent être combinés. L'essai de fonctionnement en service est effectué avec un nombre spécifique de formes d'ondes définies de courant appliquées sur le parafoudre. Les modifications admises des caractéristiques des parafoudres sont données dans l'IEC 61643-11. L'essai de vieillissement est effectué à une température spécifique à une tension d'amplitude et de durée spécifiées appliquée au parafoudre. Les modifications admises des caractéristiques des parafoudres sont données dans l'IEC 61643-11 (cet essai est à l'étude). Ces essais peuvent être utilisés pour déterminer la durée de vie présumée du parafoudre installé, pour lequel il convient qu'il prenne aussi en considération les éléments suivants:

- la politique de remplacement;
- l'emplacement et l'accessibilité;
- le taux de défaillance acceptable;
- les méthodes de fonctionnement.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.26, modifiée (ajout d'une note à l'article)]

3.1.30
dispositif à courant différentiel résiduel
DDR
dispositif mécanique de coupure destiné à établir, supporter et couper des courants dans les conditions de service normales et à provoquer l'ouverture des contacts quand le courant différentiel atteint, dans des conditions spécifiées, une valeur donnée

Note 1 à l'article: Un dispositif de coupure différentiel peut être une combinaison de divers éléments séparés conçus pour détecter et mesurer le courant différentiel résiduel et pour établir ou interrompre le courant.

[SOURCE: IEC 60050-442:1998, 442-05-02]

3.1.31
tension nominale du système
tension par laquelle un système ou un matériel est dénommé et à laquelle certaines caractéristiques de fonctionnement sont rattachées (par exemple, 230/400 V)

Note 1 à l'article: Dans des conditions normales de système, la tension aux bornes d'alimentation peut différer de la tension nominale déterminée par les tolérances du réseau d'alimentation. Dans cette norme, une tolérance de ±10 % est utilisée

Note 2 à l'article: La tension nominale du réseau entre phase et terre est appelée U_n (voir l'IEC 60038).

Note 3 à l'article: La tension entre phase et neutre d'un réseau est appelée U_0.

Note 4 à l'article: La tension entre phases d'un réseau est appelée U.

3.1.32
classification des essais de choc

3.1.32.1
essais de classe I
essais effectués au courant de choc de décharge I_{imp}, avec une forme d'onde de courant de choc 8/20 d'une valeur égale à la valeur de crête de I_{imp} et, le cas échéant, d'une forme d'onde de tension de choc de 1,2/50

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.34.1, modifiée (ajout de "le cas échéant"]

3.1.32.2
essais de classe II
essais effectués au courant nominal de décharge I_n et, le cas échéant, à une forme d'onde de tension de choc de 1,2/50

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.34.2, modifiée (ajout de "le cas échéant")]

3.1.32.3
essais de classe III
essais effectués avec le générateur d'ondes combinées de forme d'onde de tension de choc de 1,2/50 et de forme d'onde de courant de choc 8/20

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.34.3]

3.1.33
courant de charge assigné
I_L
valeur assignée maximale efficace du courant permanent pouvant alimenter une charge résistive connectée à la sortie protégée d'un parafoudre

Note 1 à l'article: Ceci ne s'applique qu'au(x) parafoudre(s) présentant des bornes d'entrée et de sortie séparées.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.13, modifiée (ajout d'une note à l'article)]

3.1.34
tension maximale de régime permanent du réseau à l'emplacement du parafoudre
U_{cs}
tension efficace maximale sous laquelle le parafoudre peut être alimenté de façon permanente au point d'installation du parafoudre

Note 1 à l'article Ceci prend seulement en compte la fluctuation de tension et/ou une chute ou une augmentation de la tension. Elle est aussi nommée tension maximale réelle du réseau et est directement liée à U_0.

Note 2 à l'article Cette tension ne prend pas en compte les harmoniques, les défauts, les surtensions temporaires ou les conditions transitoires.

3.1.35
tension de déclenchement d'un parafoudre à coupure de tension
valeur maximale de tension à laquelle le passage soudain d'une haute impédance à une basse impédance débute dans le cas d'un parafoudre à coupure de tension

Note 1 à l'article: Un parafoudre à coupure de tension peut reposer sur d'autres composants que des éclateurs (par exemple des composants à base de silicium).

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.36, modifiée (ajout d'une note à l'article)]

3.1.36
système de protection contre la foudre
SPF
installation complète utilisée pour réduire les dangers de dommages physiques dus aux coups de foudre directs sur une structure

Note 1 à l'article: Elle comprend à la fois une installation extérieure et une installation intérieure de protection contre la foudre

[SOURCE: IEC 62305-3:2010, 3.1]

3.1.37
parafoudre multifonction
parafoudre assurant la protection pour deux ou plusieurs fonctions telles que la puissance, la télécommunication et la signalisation dans une enveloppe unique dans laquelle une liaison de référence est fournie entre les fonctions

3.1.38
courant résiduel
I_{PE}
courant s'écoulant à travers la borne du conducteur de protection du parafoudre, ce dernier étant alimenté à la tension d'essai de référence (U_{REF}) et connecté conformément aux instructions du fabricant

Note 1 à l'article: Le conducteur de protection (PE) est le conducteur prévu à des fins de sécurité, par exemple protection contre les chocs électriques (conformément à l'IEV 195-02-09).

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.40, modifiée (ajout d'une note à l'article)]

3.1.39
courant de court-circuit présumé d'un circuit d'alimentation
I_p
courant qui s'écoulerait en un point donné d'un circuit s'il était court-circuité en ce point par un conducteur d'impédance négligeable

Note 1 à l'article: Ce courant symétrique présumé est exprimé par sa valeur efficace.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.38]

3.1.40
valeur assignée d'interruption d'un courant de suite
I_{fi}
courant de court-circuit présumé qu'un parafoudre est susceptible d'interrompre sans actionnement d'un déconnecteur

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.39]

3.1.41
énergie spécifique pour un essai de classe I
W/R
énergie dissipée par une résistance unitaire de 1 Ω pour un courant de choc de décharge I_{imp}

Note 1 à l'article: Elle est égale à l'intégrale temporelle du carré du courant ($W/R = \int i^2 dt$).

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.37]

3.1.42
tension assignée de tenue aux chocs
U_W
valeur de tension de tenue aux chocs fixée par le fabricant aux matériels ou à une partie d'entre eux, caractérisant la capacité de tenue spécifiée de son isolation contre des surtensions transitoires

Note 1 à l'article: Pour les besoins du présent document, seules les tensions de tenue entre les conducteurs actifs et la terre sont prises en considération.

[SOURCE: IEC 60664-1:2007, 3.9.2, modifiée (ajout d'une note à l'article)]

3.1.43
tension de tenue aux chocs
valeur de crête la plus élevée d'une tension de choc, de forme et de polarité prescrites, qui ne provoque pas de claquage dans des conditions d'essai spécifiées

[SOURCE: IEC 60664-1:2007, 3.8.1]

3.1.44
catégorie de surtension
nombre définissant une condition de surtension transitoire

[SOURCE: IEC 60664-1:2007:3.10, modifiée]

3.1.45
dispositif de protection contre les surintensités
OCPD
dispositif destiné à interrompre un circuit électrique dans le cas où le courant dans le ou les conducteurs du circuit électrique dépasse une valeur prédéterminée pendant une durée spécifiée

Note 1 à l'article: L'abréviation "OCPD" est dérivée du terme anglais développé correspondant "overcurrent protective device".

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-14-14]

3.1.46
niveau de protection en tension efficace
$U_{p/f}$
tension au point de connexion du parafoudre résultant du niveau de protection en tension du parafoudre et de la chute de tension sur un déconnecteur et dans les câbles de raccordement, le cas échéant

3.1.47
SPD de type à court-circuit
parafoudre soumis à des essais de classe II dont les caractéristiques sont volontairement modifiées, pour générer un court-circuit interne, à la suite d'un courant de choc de valeur supérieure à son courant nominal de décharge I_n

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.7]

3.1.48
indicateur d'état
dispositif indiquant l'état opérationnel d'un parafoudre ou d'une partie de parafoudre

Note 1 à l'article: Ces indicateurs peuvent être locaux avec des alarmes visuelles et/ou sonores et/ou peuvent avoir une signalisation à distance et/ou un contact de sortie.

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.41]

3.1.49
tension de circuit ouvert
U_{oc}
tension en circuit ouvert du générateur d'ondes combinées au point de connexion du dispositif en essai

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.23]

3.1.50
courant de court-circuit du générateur d'ondes combinées
I_{cw}
valeur présumée du courant de court-circuit du générateur d'ondes combinées, au point de connexion du dispositif en essai

Note 1 à l'article: Lorsque le parafoudre est connecté au générateur d'ondes combinées, le courant qui passe à travers le dispositif est en général inférieur à I_{cw} ."

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.24]

3.1.51
contact de sortie
contact incorporé dans un circuit séparé du circuit principal d'un parafoudre et relié à un déconnecteur ou à un indicateur d'état

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.42]

3.1.52
parafoudre multimode
type de parafoudre comportant plusieurs modes de protection ou combinaison de parafoudres électriquement reliés entre eux et proposés comme un ensemble unitaire

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.43, modifiée]

3.1.53
courant total de décharge
I_{Total}
courant qui circule à travers le conducteur PE ou PEN d'un parafoudre multimode pendant l'essai du courant total de décharge

Note 1 à l'article: Cet essai est utilisé pour vérifier les effets cumulés de modes de protection multiples d'un parafoudre multimode simultanément appliqués.

Note 2 à l'article: I_{Total} est notamment pertinent pour des parafoudres soumis à des essais de classe I et utilisés pour assurer une liaison équipotentielle de protection contre la foudre conformément à la série IEC 62305.

Note 3 à l'article: Le conducteur PEN est un conducteur assurant à la fois les fonctions de conducteur de mise à la terre de protection et de conducteur de neutre (conformément à l'IEV 195-02-12).

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.44, modifiée (ajout d'une Note 3 à l'article)]

3.1.54
tension d'essai de référence
U_{REF}
valeur efficace de la tension utilisée pour les essais; elle dépend du mode de protection du parafoudre, de la tension nominale du réseau, de la configuration du système et de la régulation de tension au sein du système

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.45]

3.1.55
valeur assignée d'un courant de choc de transition pour un parafoudre de type à court-circuit
I_{trans}
valeur d'un courant de choc de forme d'onde 8/20, supérieure au courant nominal de décharge I_n, qui entraînera la mise en court-circuit d'un parafoudre de type à court-circuit

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.46]

3.1.56
tension pour la détermination des distances dans l'air
U_{max}
valeur la plus élevée de la tension mesurée lors des essais de choc et utilisée pour la détermination des distances dans l'air

[SOURCE: IEC 61643-11:2011, 3.1.47, modifiée]

3.1.57
tension de varistance
V_V
tension mesurée à travers la MOV à un courant spécifié (en général 1 mA) et pendant un certain temps

[SOURCE: IEC 61643-331, 3.2.3]

3.2 Liste des abréviations et des acronymes utilisés du présent document

Liste des abréviations	
E_{max}	énergie maximale admissible
I_c	courant de fonctionnement permanent
I_{CW}	courant de court-circuit du générateur d'ondes combinées
I_f	courant de suite
I_{fi}	valeur assignée d'interruption du courant de suite
I_{imp}	courant de choc de décharge pour les essais de classe I
I_L	courant de charge assigné
I_{max}	courant maximal de décharge
I_n	courant nominal de décharge pour les essais de classe II
I_p	Courant de court-circuit présumé d'un circuit d'alimentation
I_{PE}	courant résiduel à U_{REF}
I_{sc}	courant de court-circuit du générateur d'ondes combinées
I_{SCCR}	courant de court-circuit assigné
I_{Total}	courant total de décharge pour un parafoudre multimode
I_{trans}	valeur assignée d'un courant de choc de transition pour un parafoudre de type à court-circuit
L	Inductance
N_G	densité de foudroiement
N_k	niveau kéraunique
P_{SPD}	probabilité qu'un appareil soit endommagé malgré la protection assurée par un système de parafoudre coordonné
Q	charge (du courant de choc)
t_T	durée d'application d'une TOV aux fins d'essai
U_{cs}	tension maximale de régime permanent du réseau
U_{max}	tension pour la détermination des distances dans l'air

Liste des abréviations	
U_n	tension nominale du réseau phase-terre
U_0	tension entre phase et neutre du réseau
U_{oc}	tension de circuit ouvert du générateur d'ondes combinées
U_p	niveau de protection en tension
U_{REF}	tension d'essai de référence
U_{res}	tension résiduelle
U_T	valeur d'essai de surtension temporaire
U_{TOV}	surtension temporaire du réseau
$U_{TOV(HV)}$	surtension temporaire du réseau d'une alimentation à haute tension
$U_{TOV(LV)}$	surtension temporaire du réseau d'une alimentation à basse tension
U_W	tension assignée de tenue aux chocs
V_V	tension de varistance
W/R	énergie spécifique
Z_f	impédance fictive (d'un générateur d'ondes combinées)
ΔU	chute de tension (en %)

Liste des acronymes	
ABD	Avalanche Breakdown Device (diode à avalanche)
dB	Décibel
CWG	Combination Wave Generator (générateur d'ondes combinées)
DFIG	Double-Feed Induction Generator (génératrice asynchrone à double alimentation)
DUT	Device Under Test (appareil en essai)
EB	Equipotential Bonding bar (barre d'équipotentialité)
CEM	Compatibilité électromagnétique
GDT	Gas Discharge Tube (tube à décharge dans un gaz)
HT	Haute tension
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor (transistor bipolaire à grille isolée)
IP	Degrés de protection procurés par l'enveloppe
IEMF	Impulsions Électromagnétiques dues à la Foudre
SPF	Lightning Protection System (système de protection contre la foudre)
LPZ	Lightning Protection Zone (zone de protection contre la foudre)
LTE	Let-Through Energy (énergie traversante)
BT	Basse tension
MEB	Main Equipotential Bonding (liaison équipotentielle principale)
MOV	Metal Oxide Varistor (varistance à oxyde métallique)
HTA	Haute tension A (moyenne tension, < 50 kV)
MT	Moyenne tension
OCPD	OverCurrent Protective Device (dispositif de protection contre les surintensités)
PDS	Power Distribution System (réseau de distribution)
PE	Protective Earth (terre de protection)
PV	Photovoltaïque
PWM	Pulse Width Modulation (modulation de largeur d'impulsions)
DDR	Residual Current Device (dispositif à courant différentiel résiduel)
TOV	Temporary OverVoltage (surtension temporaire)

Liste des acronymes	
SPC	Surge Protective Component (composant de parafoudre)
SPD	Surge Protective Device (parafoudre)

4 Nécessité de protection

La décision d'utiliser ou non un parafoudre dépend d'un grand nombre de paramètres évalués par l'utilisateur. Les paramètres qu'il convient de prendre en considération sont énumérés à l'Article H.2.

De plus amples informations relatives à l'analyse du risque peuvent être trouvées dans les deux documents suivants:

– IEC 62305-2 (pour une analyse complète).
– IEC 60364-4-44 (structures nécessitant une protection uniquement contre les éclairs sur ou à proximité d'une ligne). Des exemples d'utilisation de cette méthode sont donnés à l'Article H.1.

La probabilité qu'un parafoudre atteigne sa fin de vie dans des conditions de surtension données (P_{SPD} tel que défini dans l'IEC 62305-2) se produisant en présence d'un SPF est indiquée dans l'IEC 62305-2. Lorsque la tenue aux chocs du parafoudre augmente, P_{SPD} diminue.

NOTE Si une autorité compétente spécifie la nécessité de protection contre la foudre pour des applications particulières sans exiger d'appréciation du risque, le choix en la matière et celui du niveau de protection sont précisés par ladite autorité. Dans certains cas, une appréciation du risque peut être réalisée en plus de la définition de la classe d'essai du parafoudre, mais pas de la nécessité d'un parafoudre.

5 Réseaux à basse tension et matériel à protéger

5.1 Généralités

Lors de l'évaluation d'une installation pour déterminer la nécessité d'utiliser un parafoudre, il est nécessaire de prendre en considération deux facteurs:

- les caractéristiques du réseau de distribution à basse tension dans lequel le parafoudre est installé, y compris les types et les niveaux attendus de surtension et de courant;
- les caractéristiques des matériels à protéger.

5.2 Réseaux à basse tension

5.2.1 Généralités

Les réseaux à basse tension sont principalement caractérisés par le type de mise à la terre (TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT) et sa tension nominale, ses types de surtensions et ses courants de choc. Dans le présent document, les surtensions et les courants de choc sont classés en trois groupes:

- surtensions de foudre;
- surtensions de manœuvre;
- surtensions temporaires.

5.2.2 Surtensions de foudre et courants de choc

Dans la plupart des cas, les contraintes dues à la foudre sont le facteur principal à prendre en considération pour choisir une classe d'essai de parafoudre ainsi que les valeurs de tension ou de courant associées (I_{imp}, I_{n} ou U_{oc}) définies dans l'IEC 61643-11.

L'évaluation des contraintes dues à la foudre (en fonction de la forme d'onde et de l'amplitude du courant ou de la tension) est nécessaire au bon choix d'un parafoudre. Il est également important de déterminer que le niveau de protection en tension U_p du parafoudre permet de protéger le matériel dans ce type de conditions.

En présence d'un système de protection contre la foudre (SPF), il est obligatoire de placer un parafoudre à l'entrée de l'installation et un parafoudre soumis à l'essai selon la classe d'essai I doit être choisi. Pour les bâtiments avec des systèmes de protection contre la foudre (SPF), des informations supplémentaires relatives aux contraintes dues à la foudre peuvent être trouvées dans l'IEC 62305-1. Pour le choix de I_{imp}, de plus amples informations peuvent également être trouvées à l'Annexe J.3.

Dans un grand nombre de cas, l'installation électrique extérieure à la structure fait l'objet de contraintes plus importantes (coup de foudre direct ou surtensions induites sur les lignes d'alimentation extérieures reliées à la structure). À l'intérieur de la structure, les contraintes diminuent entre l'entrée de l'installation et les circuits internes, en raison de la variation de la configuration des circuits, de l'interaction du parafoudre et des impédances.

L'analyse du risque est réalisée en appliquant la méthode simplifiée décrite dans l'IEC 60364-4-44 (voir l'Annexe H.2) ou l'analyse du risque détaillée décrite dans l'IEC 62305-2. Pour réaliser une analyse du risque, il est nécessaire que l'utilisateur connaisse au moins l'un des éléments suivants:

- La densité locale de foudroiement N_G (moyenne de la densité annuelle de foudroiement, en nombre d'impacts, par km^2 et par an, concernant la région où la structure est située). Les systèmes modernes de détection de chocs de foudre (LLS – *lightning location system*) peuvent donner des informations sur N_G;
- L'exposition de l'installation électrique.

Pour déterminer si une protection contre les surtensions est nécessaire lorsque l'alimentation est assurée par un câble souterrain, il convient de prendre en considération ce qui suit:

– l'installation a un SPF à proximité;

– la longueur du câble souterrain est-elle suffisante pour atténuer les chocs de foudre de manière adaptée? (conformément à la série IEC 62305, une longueur minimale de 1 000 m est nécessaire pour considérer que les chocs de foudre sont réduits à un niveau acceptable)

– le câble souterrain peut être affecté par un coup de foudre direct dans un sol à haute résistivité (sauf si le câble est blindé ou dans un conduit métallique);

– des surtensions élevées d'origine atmosphérique peuvent être attendues sur la ligne aérienne fournissant la HT (haute tension) au transformateur connecté à l'installation;

– la taille ou la hauteur du bâtiment alimenté par le câble souterrain est suffisamment grande pour augmenter d'une façon significative le risque d'impact direct de la foudre;

– d'autres réseaux aériens présents (lignes téléphoniques, systèmes d'antennes, etc.) qui peuvent avoir un impact sur le réseau et le matériel.

Lorsqu'un grand nombre de bâtiments sont alimentés par un seul réseau d'alimentation, les bâtiments qui n'ont pas de parafoudres peuvent être exposés à des contraintes élevées dans leurs réseaux électriques.

L'évaluation de la forme d'onde et l'amplitude de courant en raison de la proximité d'un coup de foudre/événement (c'est-à-dire directement ou proche de la structure, directement ou proche des lignes d'alimentation) sont indiquées à l'Annexe E de l'IEC 62305-1:2010. L'évaluation du risque pour chacune de ces sources de dommage peut être réalisée avec la méthode décrite dans l'IEC 62305-2.

L'Annexe C et l'Annexe I donnent de plus amples informations relatives aux contraintes dues à la foudre.

Le matériel à l'intérieur de l'installation électrique, en amont du parafoudre, peut avoir un impact sur la tenue aux chocs de l'installation. Il convient de déterminer cette tenue aux chocs.

5.2.3 Surtensions de manœuvre

Ces contraintes, en ce qui concerne le courant et la tension de crête, sont en général inférieures aux contraintes dues à la foudre, mais elles peuvent durer plus longtemps (transitoires dus à des défauts et au fonctionnement des fusibles, par exemple) ou être moins énergétiques, mais beaucoup plus fréquentes (fonctionnement des contacteurs, batteries de condensateurs pour la correction du facteur de puissance, transistors bipolaires à grille isolés, etc.). Toutefois, dans certains cas, particulièrement en profondeur à l'intérieur d'une structure ou près des sources de surtensions de manœuvre, la contrainte de coupure peut être plus élevée que les contraintes provoquées par la foudre. Il est nécessaire de déterminer l'énergie correspondant à ces surtensions de coupure, afin de permettre le choix des parafoudres appropriés.

En général, le choix des caractéristiques assignées de surtension d'un parafoudre est fondé sur les contraintes dues à la foudre.

Pour des informations supplémentaires relatives aux surtensions générées dans le réseau de distribution à l'intérieur d'une installation, voir 4.3 de l'IEEE Std C62.41.1-2002 et 5.2.2 de C62.72-2016. Ces types de surtensions, même s'ils n'endommagent pas toujours immédiatement le réseau de distribution ou le matériel connecté, sont souvent à l'origine d'une interruption et d'un arrêt du fonctionnement du réseau. Ces surtensions présentent des formes d'onde et des amplitudes sensiblement différentes à celles prévues entre les sources externes et le réseau de distribution, et peuvent exiger des parafoudres conçus pour atténuer de manière spécifique les effets de ces surtensions générées en interne. Des formes d'onde et amplitudes d'essai recommandées supplémentaires qui représentent ces surtensions sont définies dans la norme IEEE C62.41.2-2002. De plus amples informations sur les surtensions peuvent être trouvées dans l'IEC/TR 62066:2002, *Surge overvoltages and surge protection in low-voltage AC power systems – General basic information* (disponible en anglais seulement).

L'Annexe C et l'Annexe I donnent de plus amples informations relatives aux contraintes de coupure. De plus amples informations sur les surtensions de coupure peuvent être trouvées dans l'IEC/TR 62066.

5.2.4 Surtensions temporaires U_{TOV}

5.2.4.1 Généralités

Pendant sa durée de vie, un parafoudre peut être exposé à une surtension temporaire U_{TOV} qui dépasse la tension normale du réseau.

Une surtension temporaire a deux dimensions: l'amplitude et le temps. La durée de la surtension dépend principalement de la mise à la terre du réseau d'alimentation (incluant à la fois le réseau d'alimentation électrique à haute tension et le réseau d'alimentation à basse tension auquel le parafoudre est raccordé). Pour déterminer les surtensions temporaires d'un réseau, il convient de prendre en considération les tensions phase-neutre et entre phases du réseau (voir le Tableau E.3).

Des surtensions temporaires peuvent se produire sur le réseau à basse tension entre L-N ou L-PEN en cas de défaillance du réseau à basse tension:

– pendant une durée indéterminée jusqu'à ce qu'un dispositif de protection contre les surintensités fonctionne en cas de court-circuit,
– pendant une durée illimitée en cas de rupture du neutre.

Des surtensions temporaires peuvent se produire sur le réseau à basse tension pendant une durée limitée entre N-PE ou L-PE en cas de défaut à la terre dans le réseau à haute tension, en fonction de la configuration de mise à la terre du réseau à haute tension et du réseau à basse tension ou d'une éventuelle interaction entre les deux réseaux.

Les parafoudres ne sont pas destinés à assurer la protection contre les surtensions temporaires dans le réseau. Les parafoudres peuvent résister ou subir une défaillance de manière sécurisée comme cela est indiqué dans l'IEC 61643–11.

Les surtensions temporaires dues à la rupture du neutre sont responsables de surtensions phase-neutre pendant de très longues périodes (plusieurs heures) et qui peuvent atteindre des valeurs de tension jusqu'aux tensions entre phases du réseau. La protection contre ces types de surtensions temporaires ne peut pas être assurée par des parafoudres. Des dispositifs POP (*power frequency overvoltage protection* – protection contre les surtensions à fréquence industrielle) peuvent être utilisés dans ce type de cas.

NOTE POP est défini dans la future IEC 63052[1].

L'Annexe E et l'Annexe I donnent de plus amples informations relatives aux surtensions.

5.2.4.2 Valeurs normalisées

L'IEC 60364-4-44 indique les valeurs maximales de U_{TOV} à prévoir dans les réseaux à basse tension (pour un calcul plus détaillé de ces valeurs, voir l'Annexe E).

Des valeurs inférieures sont possibles, dépendant d'un grand nombre de facteurs, y compris l'emplacement du parafoudre, le type de réseau, etc.

Les valeurs maximales de surtension temporaire au niveau de l'installation de l'utilisateur sont données dans le Tableau 1.

Les valeurs utilisées pour l'essai des parafoudres sont indiquées à l'Annexe E.

[1] En préparation. Stade au moment de la publication: IEC/PRVC 63052:2019.

Tableau 1 – Valeurs maximales des surtensions temporaires selon l'IEC 60364-4-44:2007

Occurrence de U_{TOV}	Réseau	Valeurs maximales pour $U_{TOV(HV)}$
Entre phase et terre	TT, IT	U_0 + 250 V pendant >5 s
		U_0 + 1 200 V pendant 5 s au maximum
Entre le neutre et la terre	TT, IT	250 V pendant >5 s
		1 200 V pendant 5 s au maximum
Les valeurs ci-dessus sont des valeurs extrêmes correspondant aux défauts dans les réseaux à haute tension. Elles peuvent être calculées en fonction du type de réseau selon l'Annexe E.		
Occurrence de U_{TOV}	**Réseau**	**Valeurs maximales pour $U_{TOV(LV)}$**
Entre phase et neutre	TT et TN	$\sqrt{3} \times U_0$
La valeur ci-dessus correspond à la rupture du conducteur de neutre dans le réseau à basse tension.		
Entre phase et terre	Schéma IT (schéma TT: voir la note 1)	$\sqrt{3} \times U_0$
La valeur ci-dessus correspond à une mise à la terre accidentelle du conducteur de phase du réseau à basse tension.		
Entre phase et neutre	TT, IT et TN	1,45 × U_0 pendant 5 s au maximum
La valeur ci-dessus correspond au court-circuit entre le conducteur de ligne et le conducteur de neutre.		
NOTE 1 Il a été démontré que des surtensions temporaires élevées peuvent aussi se produire dans les schémas TT pendant des durées inférieures ou égales à 5 s. Voir l'Annexe E pour de plus amples informations. Cette condition ne figure pas dans l'IEC 60364-4-44. NOTE 2 Les valeurs maximales de surtensions temporaires à l'emplacement du transformateur peuvent différer de celles des tableaux ci-dessus (en plus ou en moins). Pour de plus amples informations, voir l'Annexe E. U_0 est la tension entre phase et neutre du réseau à basse tension.		

5.3 Caractéristiques des matériels à protéger

Les caractéristiques des matériels à protéger dans des conditions transitoires sont déterminées par deux méthodes d'essai, à savoir:

- La tenue aux chocs des matériels soumis aux essais, conformément à l'IEC 60664-1. Il ne s'agit que d'un essai de coordination de l'isolement. Au cours de l'essai, le matériel est hors tension.
- L'immunité aux chocs des matériels soumis à l'essai, conformément à l'IEC 61000-4-5. Cet essai évalue les capacités d'immunité opérationnelles des matériels. L'essai est effectué essentiellement avec un générateur d'ondes combinées (1,2/50, 8/20) à différents niveaux. Il détermine à quel endroit un dysfonctionnement, une erreur ou une défaillance peut survenir pendant la mise sous tension.

Une comparaison des niveaux de tenue aux chocs et d'immunité aux chocs par rapport à l'environnement transitoire dans lequel le matériel doit être utilisé, détermine le besoin potentiel de parafoudres. Pour de plus amples informations, voir l'Annexe O.

NOTE Le parafoudre choisi peut assurer un niveau de protection efficace $U_{p/f}$ inférieur à la capacité de tenue aux chocs U_W du matériel à protéger. Dans certains cas où le fonctionnement continu du matériel est crucial, $U_{p/f}$ est inférieur à l'immunité aux chocs du matériel (voir 7.4.5). U_p peut être choisi conformément à 7.5.2 et 7.5.6.

6 Parafoudres

6.1 Fonctions de base des parafoudres

Les parafoudres traités dans le présent document sont ceux installés à l'extérieur ou à l'intérieur du matériel à protéger.

NOTE Les matériels électriques et électroniques sont souvent protégés par des composants de surtension (des varistances à oxyde métallique conformes à l'IEC 61643-331, par exemple) qui ne sont pas pris en considération ici. Seule une protection contre les surtensions équipée de dispositifs (parafoudres) conformes à l'IEC 61643-11 est prise en considération dans le présent document.

Leur fonctionnement dans des réseaux peut être décrit comme suit.

- En l'absence de tension de choc: le parafoudre ne doit pas avoir une influence significative sur les caractéristiques de fonctionnement du réseau auquel il est appliqué.
- En cas de tensions de choc: le parafoudre répond aux tensions de choc en diminuant sa propre impédance et en dérivant ainsi le courant de choc afin de limiter la tension à son niveau de protection (dans la plupart des cas bien inférieur à son niveau de protection U_p). Les tensions de choc peuvent déclencher un courant de suite à travers le parafoudre en fonction de la conception de ce dernier (parafoudre avec courant de suite).
- Après la survenue des tensions de choc: le parafoudre retrouve une impédance élevée après les tensions de choc et coupe tout courant de suite possible.

Les caractéristiques des parafoudres sont prévues pour réaliser les fonctions ci-dessus en conditions normales de service. Les conditions normales de service sont spécifiées par la fréquence de la tension du réseau, le courant de charge, l'altitude (c'est-à-dire la pression atmosphérique), l'humidité et la température de l'air ambiant.

6.2 Exigences supplémentaires

En fonction de l'application du parafoudre, des exigences supplémentaires peuvent être nécessaires, telles que:

- la protection des parafoudres contre les contacts directs (elle doit être conforme à l'IEC 60364-4-41);
- Le comportement sûr en cas de fin de vie du parafoudre.

La fin de vie d'un parafoudre peut survenir lorsqu'il est soumis à une surtension supérieure à sa capacité de courant de décharge prévue ou qu'il est exposé à une surtension permanente qui dépasse sa tension maximale de régime permanent. Pour les besoins du présent document, le mode de fin de vie du parafoudre est réparti entre circuits ouverts et courts -circuits (voir également 6.5.4).

NOTE Dans le contexte du présent article, cela ne concerne pas le concept de classification des parafoudres de l'IEC 61643-11 (comportement de défaillance du parafoudre) qui est lié à des technologies particulières des parafoudres. Toutefois, les parafoudres classés comme étant des parafoudres de type à court-circuit finissent, par définition, en court-circuit lorsqu'ils atteignent leur fin de vie.

La fin de vie d'un parafoudre est habituellement difficile à détecter puisqu'elle n'a presque aucune influence sur l’installation. Toutefois, l’installation n'est plus protégée. Afin d'assurer le remplacement d'un parafoudre défaillant par un autre avant la prochaine surtension, un indicateur de défaut est exigé (voir 7.3.3).

Un courant de court-circuit peut circuler à travers le parafoudre défaillant en fin de vie. L'essai de capacité de tenue au court-circuit de l'IEC 61643-11 est réalisé afin de vérifier que l'énergie dissipée pendant la conduction du courant de court-circuit ne donne pas lieu à un danger d'incendie. Quel que soit le comportement de défaillance déclaré du parafoudre (circuit ouvert ou court-circuit) selon l'IEC 61643-11, un dispositif de déconnexion adapté peut être exigé pour assurer la protection du parafoudre en cas de surcharge (voir 7.2.2.4).

6.3 Classification des parafoudres

6.3.1 Parafoudres: classification

Les parafoudres sont classés selon l'IEC 61643-11, de la façon suivante.

Nombre de ports: un ou deux

Type de conception:	à coupure de tension, à limitation de tension ou combiné
Classe d'essai de parafoudre:	I, II, III
Emplacement:	intérieur ou extérieur
Accessibilité:	accessible, non accessible (hors de portée)
Méthode de montage:	permanente ou mobile
Déconnecteur:	emplacement (externe, interne, externe et interne, aucun) et fonctions de protection (thermique, courant de fuite, surintensité)
Protection à maximum de courant:	spécifiée ou pas
Degré de protection:	procuré par l'enveloppe du parafoudre (IP)
Plage de températures:	normale ou étendue

NOTE Par définition, "extérieur" signifie à l'extérieur des locaux fermés. De ce fait, de tels parafoudres sont soumis à toutes les conditions externes. "Intérieur" signifie à l'intérieur des locaux fermés. De ce fait, de tels parafoudres sont soumis à des conditions atmosphériques internes. "Hors de portée" signifie qu'il y a non accessibilité aux parties actives sans l'aide d'outils ou d'autres matériels.

Certains des choix ci-dessus sont liés à la technologie utilisée et sont définis par le fabricant.

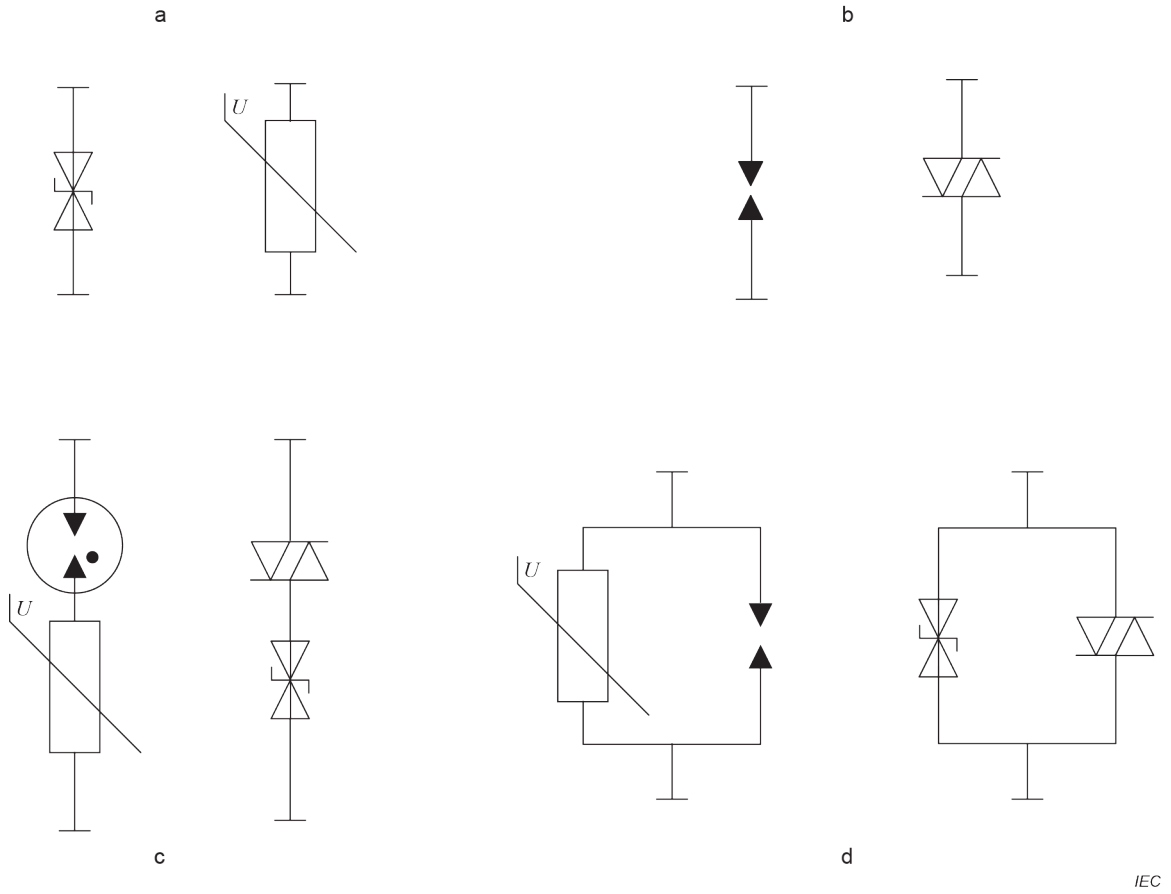
6.3.2 Conception et topologies courantes

Les principaux composants de protection des parafoudres appartiennent à deux catégories:

– composants à limitation de tension: varistances à oxyde métallique (MOV, voir l'IEC 61643-331), diodes à avalanche (ABD, voir l'IEC 61643-321) ou diodes écrêteuses (voir l'IEC 61643-321), etc.;
– composants à coupure de tension: éclateurs, tubes à décharge dans un gaz (GDT, voir l'IEC 61643-311), parafoudres à thyristor (TSS, voir l'IEC 61643-341), triacs (voir l'IEC 61643-341), etc.

En se basant sur ces composants, les conceptions de base des parafoudres sont données (voir la Figure 4):

– simple composant à limitation de tension (Figure 4a): parafoudre à limitation de tension;
– simple composant à coupure de tension (Figure 4b): parafoudre à coupure de tension;
– combinaison de composants à limitation de tension et à coupure de tension (Figure 4c et Figure 4d): parafoudre de type combiné.



Légende

a Composants à limitation de tension

b Composants à coupure de tension

c Composants à limitation de tension en série avec des composants à coupure de tension

d Composants à limitation de tension en parallèle avec des composants à coupure de tension

Figure 4 – Exemples de composants et de combinaisons de composants

Les parafoudres peuvent être composés d'une simple disposition de composants de parafoudres, mais ils peuvent également intégrer des indicateurs, des déconnecteurs, des fusibles, des inductances, des condensateurs, un disjoncteur thermique, des thermistances à coefficient de température positif et d'autres composants. Les parafoudres peuvent être répartis entre parafoudres à un port (voir 3.1.21) et parafoudres à deux ports (voir 3.1.22).

Voir l'Annexe P pour de plus amples informations relatives à l'application d'essai aux parafoudres avec plusieurs composants.

6.4 Caractéristiques des parafoudres

6.4.1 Conditions de service décrites dans l'IEC 61643-11

6.4.1.1 Conditions normales de service

- La fréquence du réseau électrique est comprise entre 47 Hz et 63 Hz en courant alternatif.
- L'altitude ne doit pas être supérieure à 2 000 m.
- Température d’exploitation: plage normale comprise entre -5 °C et +40 °C, plage étendue de -40 °C à +70 °C.

- L'humidité relative dans les conditions intérieures doit être comprise entre 5 % et 95 % pour la plage normale et entre 5 % et 100 % pour la plage étendue.

La plage normale concerne les parafoudres pour utilisation intérieure situés dans des emplacements protégés des intempéries ne faisant l'objet d'aucun contrôle de la température et de l'humidité. La plage étendue concerne les parafoudres pour utilisation extérieure situés dans des emplacements non protégés des intempéries.

NOTE 1 L'utilisateur détermine l'emplacement où le parafoudre doit être installé (extérieur, intérieur, etc.). Il décide si les conditions de température ambiante sont dans la plage normale ou étendue.

NOTE 2 En général, la plage de températures pour le stockage est supérieure à celle pour le fonctionnement.

6.4.1.2 Conditions anormales d'utilisation

Dans le cas de parafoudres exposés à des conditions anormales d'utilisation, il peut être exigé de tenir spécialement compte de la conception ou de l'installation du parafoudre et il convient de le signaler au fabricant.

Exposition au soleil: la plupart des parafoudres ne sont pas exposés au rayonnement solaire. En général, le rayonnement solaire n'est pas pris en considération lors des essais de type. Dans le cas où les parafoudres sont exposés à des rayonnements solaires, il convient que cela soit pris en compte et les essais effectués en conséquence.

NOTE En général, le degré de protection de l'enveloppe du parafoudre est supérieur à IP2X. Dans certains cas, d'autres valeurs peuvent être utilisées (par exemple pour le parafoudre installé à l'extérieur).

6.4.2 Liste des paramètres pour le choix des parafoudres

La liste non exhaustive suivante fournit des paramètres nécessaires à l'utilisateur ou aux utilisateurs pour choisir le ou les parafoudres appropriés.

NOTE Quelques-uns de ces paramètres sont définis pour chaque mode de protection.

a) U_c Tension maximale de régime permanent

b) U_T Valeur d'essai de surtension temporaire et/ou type(s) de réseau(x) pour lesquels le parafoudre est conçu

c) I_{imp} pour les essais de classe I

d) I_n Courant nominal de décharge pour les essais de classe II

e) U_{oc} pour les essais de classe III

f) U_p Niveau de protection en tension

g) Comportement de défaillance (si déclaré par le fabricant)

h) I_{SCCR} Courant de court-circuit assigné

i) I_{fi} Valeur assignée d'interruption du courant de suite (sauf dans le cas de parafoudres à limitation de tension)

j) I_L Courant de charge assigné (pour les parafoudres à deux ports ou à un port avec bornes d'entrée et de sortie séparées)

k) Chute de tension (pour les parafoudres à deux ports)

l) I_{PE} Courant résiduel (pour les parafoudres avec une borne pour le conducteur de protection)

m) I_{trans} Courant de choc de transition (pour les parafoudres à court-circuit)

n) Caractéristiques assignées et caractéristiques du ou des déconnecteurs externes, si cela est exigé.

o) I_{max} Courant de décharge maximal (facultatif)

p) I_{Total} Courant de décharge total pour les parafoudres multimodes (si déclaré par le fabricant)

q) Capacité de tenue aux chocs aval des parafoudres à deux ports (si déclarée par le fabricant)

r) Modes de protection (des parafoudres avec plusieurs modes de protection)

s) du/dt Vitesse de montée de la tension (si déclarée par le fabricant)

6.5 Informations supplémentaires sur les caractéristiques des parafoudres

6.5.1 Informations relatives aux tensions du réseau

6.5.1.1 U_C Tension maximale de régime permanent, I_C Courant de fonctionnement permanent et courant résiduel I_{PE}

U_C doit être suffisamment élevée pour réduire le plus possible le changement des caractéristiques des parafoudres (vieillissement, emballement thermique, etc.) dans des conditions normales.

I_C est la valeur du courant traversant le parafoudre quand U_C est appliquée. Le courant traversant la borne de terre (PE), est appelé le courant résiduel I_{PE}. Ce courant I_{PE} est utilisé dans le choix d'un parafoudre pour éviter un fonctionnement non nécessaire des dispositifs de protection contre les surintensités ou d'autres dispositifs de protection (par exemple DDR) (voir 531.2.1.2 de l'IEC 60364-5-53:2001).

NOTE I_C n'est pas mesuré dans l'IEC 61643-11 et est un paramètre facultatif.

6.5.1.2 Caractéristiques de surtension temporaire

La caractéristique de surtension temporaire d'un parafoudre est en général représentée par quelques points (tension/temps) sur une courbe de tension (à la fréquence industrielle) en fonction du temps (jusqu'à plusieurs secondes).

Les durées des surtensions temporaires traitées par l'IEC 61643-11 sont limitées à trois:

- 200 ms pour les surtensions temporaires provoquées par des défauts côté HT,
- 5 s en cas de défauts dans le réseau BT et
- 120 min en cas de rupture du neutre.

et les valeurs de tension d'essai associées sont appelées U_T (valeur d'essai de surtension temporaire).

Le parafoudre peut soit résister aux essais de surtension temporaire sans modifications inacceptables de ses caractéristiques, soit subir une défaillance de manière sécurisée.

Les parafoudres installés conformément à l'IEC 60364-5-53 doivent résister aux surtensions temporaires dues à des défauts dans le réseau à basse tension (voir les valeurs de surtension temporaire pour une durée de 5 s dans le Tableau E.3).

Les parafoudres dont le fabricant déclare dans les instructions d'installation qu'ils peuvent être installés dans des schémas TT entre le neutre et la terre de protection en amont du DDR principal, doivent également résister aux surtensions temporaires dues à des défauts dans le réseau à haute tension (voir les valeurs de surtension temporaire pour une durée de 200 ms dans le Tableau E.3).

La valeur d'essai de surtension temporaire doit être déclarée par le fabricant, conformément à l'IEC 61643-11.

NOTE Il peut être difficile de choisir un parafoudre ayant à la fois une tenue à une surtension temporaire élevée et un niveau de protection à basse tension.

L'utilisateur peut choisir le parafoudre le plus approprié en comparant la valeur d'essai de surtensions temporaires du parafoudre et les surtensions temporaires (U_{TOV}) se produisant sur le réseau. Les valeurs normalisées utilisées pour les essais des parafoudres sont données dans le Tableau E.3.

La fiche technique du fabricant doit fournir U_T (Valeur d'essai de surtension temporaire) ou le ou les types de réseaux pour lesquels le parafoudre est conçu. Si le type de réseau adapté au parafoudre est fourni, tous les essais nécessaires ont été réalisés aux valeurs U_T exigées et, par conséquent, il n'est pas nécessaire de comparer U_T et U_{TOV} pour les réseaux conformes aux surtensions temporaires définies dans l'IEC 60364-4-44. Il est désormais habituel que le ou les types de réseaux pour lesquels le parafoudre est conçu soient indiqués dans la fiche technique afin de simplifier la tâche de l'utilisateur.

6.5.2 Informations relatives aux courants de choc

6.5.2.1 Généralités

Les facteurs traités ci-après concernent les caractéristiques de tension, de courant et de temps de la forme d'onde de choc. Différents niveaux et formes d'ondes de choc sont utilisés pour l'essai en fonction des contraintes auxquelles le parafoudre est susceptible d'être exposé.

Des recommandations pour le choix des classes d'essais appropriées pour un parafoudre sont données dans l'introduction de l'IEC 61643-11, qui stipule ce qui suit:

Il y a trois classes d'essais

– L'essai de Classe I est prévu pour simuler des chocs de courant de foudre partiellement conduits. Les parafoudres soumis aux méthodes d'essai de Classe I sont dans la plupart des cas recommandés pour les emplacements dans des endroits d'exposition élevée (les entrées de ligne dans des bâtiments protégés par des systèmes de protection contre la foudre, par exemple).
– Les parafoudres soumis aux essais selon les méthodes d'essai de Classe II ou de Classe III sont soumis à des chocs de durée plus faible.

Lors du choix d'un parafoudre, il est nécessaire de prendre en considération à la fois la classe d'essai et l'amplitude du choc pour lequel il est prévu. Les parafoudres soumis aux méthodes d'essai de Classe II ou de Classe III sont dans la plupart des cas recommandés pour des emplacements moins exposés aux chocs directs. Les parafoudres soumis aux essais de classe II peuvent être utilisés à l'entrée et dans les tableaux de sous-distribution, alors qu'il convient d'utiliser les parafoudres soumis aux essais de classe III aux emplacements proches du matériel.

NOTE 1 L'essai de classe II applique un courant aux parafoudres. L'essai de classe III applique une tension aux parafoudres et le courant résultant dépend des caractéristiques du parafoudre. Le marquage sur le parafoudre concerne le générateur utilisé et pas le courant réel qui circule à travers le parafoudre pendant l'essai.

NOTE 2 La classe d'essai à laquelle le parafoudre a été soumis est indiquée sur la plaque signalétique, à l'aide du format représenté par un T dans un carré: "T1" pour les essais de classe I, "T2" pour les essais de classe II et "T3" pour les essais de classe III, ou en écrivant "classe d'essai" en toutes lettres.

6.5.2.2 I_n: courant nominal de décharge (8/20)

Pour les parafoudres satisfaisant à l'essai de classe II, il s'agit du courant utilisé comme paramètre d'essai pour déterminer la tension de limitation mesurée (l'autre essai étant l'essai de tension d'amorçage sur le front d'onde pour les parafoudres à coupure de tension et les parafoudres de type combiné.) Ce courant est également utilisé pour l'essai de fonctionnement en service (appliqué 15 fois).

I_n correspond à un courant qui se produit relativement fréquemment dans l'installation.

Les valeurs préférentielles pour I_n sont: 0,05; 0,1; 0,25; 0.5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0; 10; 15 et 20 kA.

L'IEC 60364-5-53 exige au moins 5 kA à l'entrée de l'installation.

6.5.2.3 I_{imp}: décharge du courant de choc (10/350, par exemple)

Pour les parafoudres satisfaisant aux essais de classe I, I_{imp} est le paramètre d'essai utilisé dans l'essai de fonctionnement en service correspondant aux essais de classe I. Ils correspondent aux valeurs maximales des courants de décharge qui peuvent se produire à l'emplacement du parafoudre dans l'installation.

NOTE Un choc avec une forme d'onde 8/20 et une amplitude I_{imp} permet de déterminer la tension de limitation mesurée (l'autre essai étant l'essai de tension d'amorçage sur le front d'onde pour les parafoudres à coupure de tension et les parafoudres de type combiné) et est utilisé pour l'essai de fonctionnement en service (appliqué 15 fois).

Les valeurs préférentielles pour I_{imp} (Q, W/R), selon l'IEC 61643-11, sont données dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Valeurs préférentielles de I_{imp}

I_{imp} kA	Q C	W/R kJ/Ω
25	12,5	156
20	10	100
12,5	6,25	39
10	5	25
5	2,5	6,25
2	1	1
1	0,5	0,25
NOTE 1 La forme d'onde 10/350 est un exemple classique de forme d'onde qui satisfait aux exigences du Tableau 2.		

6.5.2.4 I_{max}: courant de décharge maximal

I_{max} est un paramètre d'essai facultatif. Il n'existe aucun choc à I_{max} dans l'essai de fonctionnement en service. Il correspond aux valeurs maximales des courants de décharge qui peuvent se produire rarement à l'emplacement du parafoudre dans l'installation.

Si I_{max} est déclaré par le fabricant, un courant de choc 8/20 supplémentaire avec une valeur de crête I_{max} est appliqué et la tension résiduelle doit être mesurée et consignée. Pour un parafoudre reposant sur des composants de limitation, la tension U_{max} est supérieure ou égale à la tension résiduelle à I_n.

6.5.2.5 I_{trans}: courant de choc de transition (pour les parafoudres à court-circuit)

I_{trans} est un choc 8/20 supérieur à I_n et correspond à un courant qui provoque le court-circuit d'un parafoudre à court-circuit.

Ce courant est également utilisé lors du préconditionnement pour l'essai de comportement au courant de court-circuit.

Les valeurs de I_{trans} sont choisies parmi les valeurs préférentielles de I_n.

6.5.3 Informations relatives au niveau de protection en tension fourni par les parafoudres

6.5.3.1 Tension de limitation mesurée

a) Essais de classes I et classe II

La tension de limitation mesurée est déterminée par deux essais:

– mesurage de la tension résiduelle à des valeurs différentes de courant en utilisant une onde 8/20;

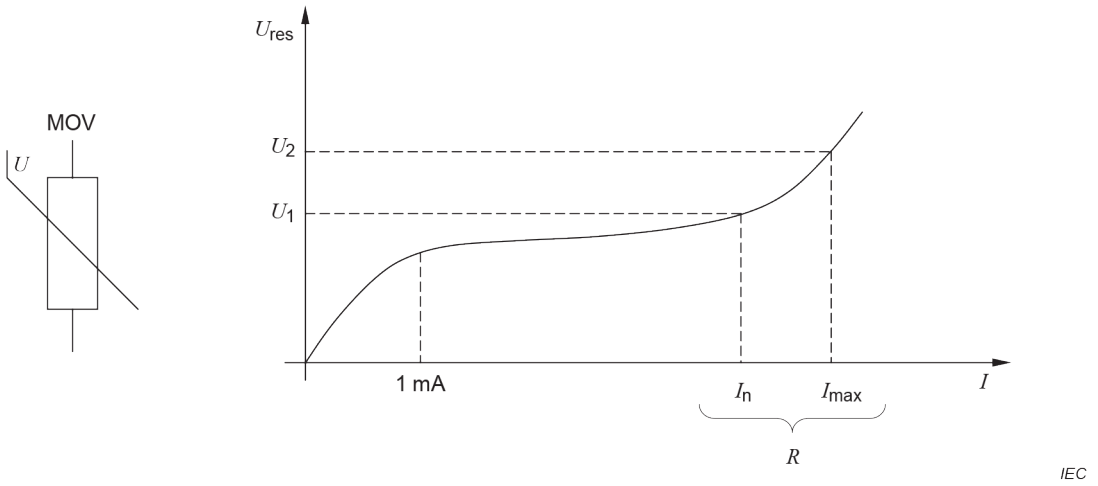
– mesurage de la tension d'amorçage sur le front d'onde à l'aide d'une onde 1,2/50 (pour les parafoudres à coupure de tension et les parafoudres de type combiné uniquement).

La tension de limitation mesurée est la valeur de tension la plus élevée

– soit de la tension résiduelle, pour la plage de courants de choc avec une forme d'onde 8/20 et une valeur de crête de 0,1 à une fois l'amplitude de I_{imp} pour l'essai de classe I et de 0,1 à une fois I_n pour l'essai de classe II;

– soit la tension d'amorçage sur le front d'onde, en utilisant une onde de 1,2/50.

Pour les parafoudres avec des composants à limitation de tension, par exemple, la Figure 5 représente une courbe de tension résiduelle classique (U_{res} par rapport à I) pour une varistance à oxyde métallique (MOV). La courbe indique que la tension résiduelle du parafoudre pour un courant à I_{max} est supérieure à la tension résiduelle à I_n et lorsque I_{max} est déclaré. Si cette tension à I_{max} est plus élevée que le niveau de protection en tension et si elle est particulièrement plus élevée que la tension de tenue aux chocs du matériel à protéger, il y a alors un risque que le parafoudre résiste à une telle contrainte, mais le matériel n'est pas protégé. Le niveau de protection en tension et la tenue au courant de choc du parafoudre doivent, de ce fait, être choisis en conséquence.



Légende

U_1 Tension résiduelle à I_n

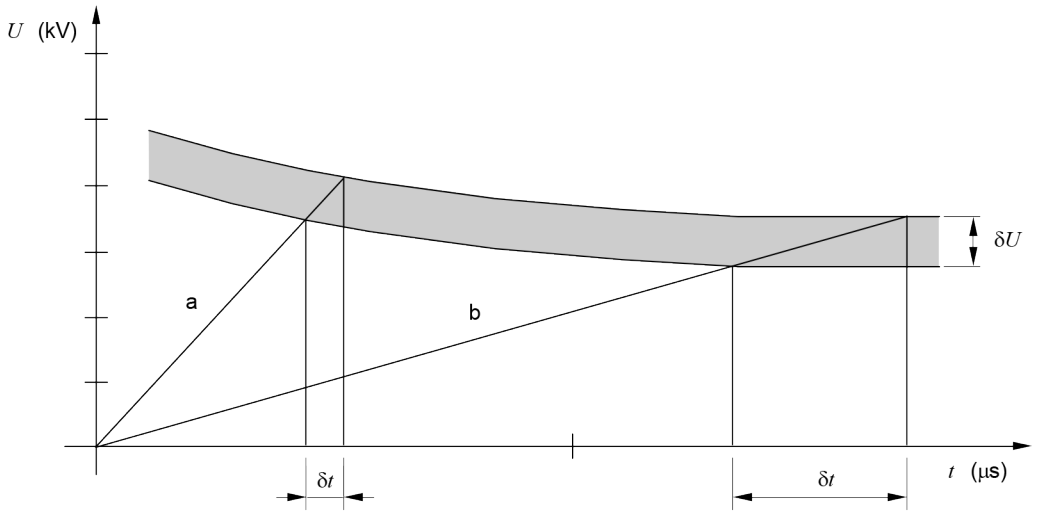
U_2 Tension résiduelle à I_{max}

R Plage de plusieurs kA

Figure 5 – Courbe typique de U_{res} en fonction de *I* pour les varistances à oxyde métallique (MOV)

Pour les parafoudres avec des composants à coupure de tension (un éclateur, un tube à décharge dans un gaz, etc.), la tension d'amorçage dépend du temps de montée (du/dt) de la surtension transitoire appliquée. Dans la plupart des cas, plus le temps de montée en tension (du/dt) du transitoire est élevé, plus la tension d'amorçage est élevée. Comme

la tension d'amorçage est une valeur statistique à un du/dt défini, il y a une dispersion dans les valeurs mesurées (voir la Figure 6).



Légende

a Vitesse de montée supérieure – 10 kV/µs

b Vitesse de montée inférieure – 1 kV/µs

δt Dispersion dans le temps de l'amorçage

δU Dispersion en tension de l'amorçage

Figure 6 – Courbe typique d'un éclateur

b) Essais de classe III

Pour les parafoudres soumis aux essais selon la classe III, la mesure est faite en utilisant un générateur d'ondes combinées. La valeur maximale mesurée pendant l'essai avec des ondes de choc de générateur d'ondes combinées entre 0,1 × U_{OC} et U_{OC} est la tension de limitation mesurée.

6.5.3.2 Niveau de protection en tension U_p

U_p est déclaré par le fabricant. Par définition, il est supérieur ou égal à la plus haute valeur de la tension de limitation mesurée. Il convient que le choix de cette valeur par le fabricant tienne compte des tolérances de fabrication. En pratique, il n'est pas rare que la protection assurée par un parafoudre soit supérieure au U_p déclaré. Dans certains cas, le fabricant publie dans sa fiche technique une courbe U ou U_{res} en fonction de *I* ou un tableau de *U* ou de U_{res} pour quelques valeurs de *I*. Si le courant qui passe par le parafoudre à l'emplacement de l'installation est inférieur au courant utilisé pour déterminer U_p, il est possible d'utiliser cette valeur de tension (U ou U_{res}) pour obtenir une meilleure protection.

Les niveaux de protection en tension préférentiels sont: (0,08; 0,09; 0,10; 0,12; 0,15; 0,22; 0,33; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; et 10) kV en fonction de la catégorie de surtension et de la tension nominale du matériel protégé.

L'Annexe B donne un exemple de relation entre U_c et U_p pour un parafoudre à limitation de tension fondé sur des varistances à oxyde métallique (MOV).

6.5.4 Informations relatives à l'état du parafoudre en fin de vie

Le comportement de fin de vie du parafoudre dépend de l'amplitude, du nombre de courants de choc et de tensions et de leur forme d'onde, de la capacité de court-circuit du réseau et de

la valeur de la tension appliquée au parafoudre en fin de vie. Le présent document considère qu'il y a deux types de comportements de fin de vie pour un parafoudre:

– en court-circuit (ou impédance faible)
– en circuit ouvert (ou impédance élevée).

NOTE 1 Dans le contexte du présent article, cela ne concerne pas le concept de classification des parafoudres de l'IEC 61643-11:2011, 5.12 (Comportement des parafoudres à leur mise en défaut) qui est lié aux technologies particulières des parafoudres. Toutefois, les parafoudres classés selon 5.12.2 (parafoudres de type à court-circuit) finissent (par définition) en court-circuit lorsqu'ils atteignent leur fin de vie.

Parfois, les parafoudres peuvent avoir un état indéterminé pendant certaines périodes. Cet état entraîne une absorption d'énergie et donne éventuellement lieu à un circuit ouvert (lui-même ou associé à un déconnecteur ou une protection contre les surintensités en amont) ou en condition de court-circuit. Dans le cadre du présent document, cet état est par hypothèse temporaire et, en tant que tel, il n'est pas décrit.

NOTE 2 État intermédiaire – les paramètres ont des niveaux inférieurs (plus défavorables) que ceux spécifiés par le fabricant, mais le parafoudre n'est pas en fin de vie.

Des changements de caractéristiques du parafoudre ne sont pas considérés comme une fin de vie. Ce point est traité en 6.5.7.

6.5.5 I_{SCCR}: courant de court-circuit assigné et I_{fi}: valeur assignée d'interruption d'un courant de suite

Il est exigé que le parafoudre seul ou associé à son déconnecteur et/ou sa protection à maximum de courant résiste au courant de court-circuit assigné I_{SCCR} déclaré par le fabricant. Cette valeur est définie et soumise à l'essai dans l'IEC 61643-11 conjointement avec le déconnecteur et/ou la protection à maximum de courant déclarés par le fabricant. Il convient que le parafoudre subisse avec succès l'essai sans combustion, carbonisation, ni expulsion de matériaux fondus, ou en créant une ouverture dans l'enveloppe. Il est nécessaire de vérifier que le parafoudre n'est pas utilisé à un endroit où le courant de court-circuit présumé de l'alimentation I_p est supérieur à sa tenue aux courts-circuits. Il est également nécessaire de vérifier qu'un déconnecteur approprié et/ou un dispositif de protection contre les surintensités, tel que cela a été recommandé par le fabricant, sont présents et en état de fonctionnement. La valeur I_{SCCR} est une valeur assignée du parafoudre lorsqu'il est utilisé conjointement avec son déconnecteur spécifié et/ou son dispositif de protection contre les surintensités. Cette valeur, ainsi que les caractéristiques assignées et les caractéristiques du déconnecteur externe, si elles sont exigées, est fournie dans la documentation du fabricant qui accompagne le produit.

Pour un parafoudre qui n'est pas de type à limitation de tension, le courant de suite est le courant de crête fourni par le réseau électrique et qui passe par le parafoudre après l'application d'un choc de courant de décharge. La valeur assignée d'interruption du courant de suite I_{fi} est le courant de court-circuit présumé qu'un parafoudre est capable d'interrompre sans faire fonctionner un déconnecteur. Il convient de prendre en considération la valeur assignée d'interruption du courant de suite (I_{fi}) lors du choix d'un parafoudre qui n'est pas de type à limitation de tension. Ces informations sont données dans la documentation du fabricant qui accompagne le produit. Selon les règles d'installation, les déconnecteurs externes ou les dispositifs de protection contre les surintensités utilisés pour assurer la protection des parafoudres doivent satisfaire à la norme IEC correspondante pour les dispositifs de protection contre les surintensités ou à une norme nationale locale, selon le cas.

6.5.6 I_L: courant de charge assigné et ΔU: Chute de tension (pour les parafoudres à deux ports ou à un port avec bornes d'entrée et de sortie séparées)

Pour un parafoudre à deux ports ou à un port connecté en série avec l'alimentation, il est nécessaire de vérifier que le courant de charge du matériel ne dépasse pas son courant de charge assigné I_L.

NOTE Il est également nécessaire de prendre en considération le type de charge. Par exemple, certaines charges peuvent avoir des courants d'appel pouvant atteindre trois fois la valeur efficace. Ces courants de pointe peuvent produire un échauffement supplémentaire à l'intérieur des éléments en série des parafoudres à deux ports.

Il est également nécessaire de vérifier que l'installation d'un parafoudre à deux ports n'entraîne pas une chute de tension inacceptable du matériel situé en aval. Cela est caractérisé par le paramètre facultatif de chute de tension ΔU.

6.5.7 Informations relatives aux variations des caractéristiques des parafoudres

Certains parafoudres peuvent entrer dans un état intermédiaire, lorsqu'ils sont soumis à une contrainte plus importante que celle définie dans les essais normalisés. Dans ce cas, certaines de leurs caractéristiques peuvent varier par rapport aux valeurs définies, par exemple: U_p, I_n, I_c, etc. En particulier, cela peut se produire pour des parafoudres présentant des parties actives en parallèle, si l'une de ces parties actives peut être déconnectée après une tension de choc. Dans ces conditions, l'utilisateur peut ne pas connaître ces variations de caractéristiques. Il convient d'éviter tout état intermédiaire de ce type lors de la conception du parafoudre, sauf s'il existe des indications claires de cet état quand cela se produit.

7 Mise en œuvre des parafoudres dans les réseaux à basse tension

7.1 Généralités

Si une analyse du risque est réalisée (voir l'Article 4) pour définir la nécessité d'un parafoudre et si les éventuelles contraintes dans le réseau sont connues (identifiées à l'Article 5), les caractéristiques du parafoudre (énumérés à l'Article 6) assurant la protection du matériel peuvent être spécifiées à l'aide des procédures représentées à la Figure 7.

Les parafoudres installés dans un réseau de distribution d'énergie peuvent être choisis selon les principes énumérés en 7.1, et leurs caractéristiques choisies selon les procédures décrites en 7.2.

Choix du parafoudre

7.2 Choix des classes d'essai.

↓

7.3 Détermination des modes nécessaires de protection.

↓

7.4 Nécessité d'une protection complémentaire
Phénomènes d'oscillation
Tension induite dans l'installation
Longueur de câble de raccordement du parafoudre
Influence du niveau de protection en tension
Concept de Zone de protection contre la foudre (LPZ)

Les parafoudres soumis aux essais de classe I, de classe II et de classe III peuvent être utilisés à l'entrée, les parafoudres soumis aux essais de classe II et de classe III pouvant être utilisés aux emplacements proches du matériel
Pour la protection contre les effets de la foudre et contre les surtensions de manœuvre, des parafoudres soumis aux essais de classe II doivent être utilisés.

Si la structure est équipée d'un système de protection contre la foudre, des parafoudres soumis aux essais de classe I doivent être utilisés.
Si la structure n'est pas équipée d'un système de protection contre la foudre et que l'occurrence d'un coup de foudre direct sur les lignes aériennes entre le dernier pôle et l'entrée de l'installation doit être prise en considération, des parafoudres soumis aux essais de classe I au niveau ou à proximité de l'entrée de l'installation électrique peuvent également être choisis

Les parafoudres doivent être installés aussi près que possible de l'entrée de l'installation et éventuellement d'autres, si cela est exigé, près du matériel à protéger.

Il convient que tous ces parafoudres soient coordonnés (voir 7.5.7). Il est nécessaire de prendre en considération l'oscillation étant donné que le parafoudre a en général une distance de protection limitée.
En règle générale, la tension induite dans l'installation peut être ignorée (voir 7.4.3).

Les conducteurs de raccordement des parafoudres doivent être aussi courts que possible.
Si le concept de zone de protection contre la foudre (LPZ) est utilisé, il convient d'installer les parafoudres aux limites de la zone.

IEC

Figure 7 – Organigramme d'utilisation des parafoudres

Des exemples d'utilisation de parafoudres sont donnés à l'Annexe G.

Des exemples d'installation pratique de parafoudres sont donnés à l'Annexe L.

7.2 Considération concernant l'emplacement du parafoudre en fonction des classes d'essai

Au point d'entrée, en fonction des contraintes, les parafoudres soumis aux essais selon la classe I ou la classe II peuvent être utilisés selon le résultat de l'analyse du risque (voir l'Article 4). L'installation de parafoudres aussi près que possible de l'entrée de l'installation permet de réduire les courants de choc circulant dans les matériels d'installation en aval (les compteurs, les bornes, les dispositifs de protection, les commutateurs, etc.). La prise en considération des contraintes électriques impliquées dans les chocs est un élément essentiel pour le choix du bon parafoudre. En présence de surtensions de manœuvre pendant l'installation ou de surtensions sur d'autres services entrants (des lignes téléphoniques, des connexions Internet, par exemple) ou de surtensions sur d'autres services alimentant d'autres structures, il convient de placer les parafoudres aussi près que possible de l'origine de ces menaces. En présence d'un système de protection contre la foudre, des informations supplémentaires peuvent être trouvées dans la série de documents IEC 62305. Les parafoudres soumis aux essais de classe II et de classe III sont aussi appropriés à des emplacements proches du matériel protégé.

7.3 Modes de protection et installation d'un parafoudre

Lorsque le dispositif à protéger a une tenue suffisante aux surtensions ou est situé à proximité du tableau de distribution principal, un seul parafoudre peut être suffisant, et il convient de l'installer aussi près que possible de l'entrée de l'installation. Il convient que les parafoudres aient une capacité de tenue aux chocs suffisante pour cet emplacement. Les Figure L.1 à Figure L.5 représentent des connexions typiques des parafoudres situés à l'entrée de l'installation pour différents types de réseaux. La Figure L.5 représente le cas particulier d'un schéma TN C-S.

Les parafoudres situés au niveau ou à proximité de l'entrée de l'installation doivent être connectés au moins entre les points suivants:

a) s'il y a une connexion directe entre le conducteur de neutre et la terre de protection au niveau ou à proximité de l'entrée de l'installation ou s'il n'y a aucun conducteur de neutre, entre chaque conducteur de ligne et soit la borne principale de terre, soit le conducteur de protection principal, selon le trajet le plus court; ou

   NOTE 1 L'impédance reliant le neutre à la terre de protection dans les schémas IT n'est pas considérée comme une connexion.

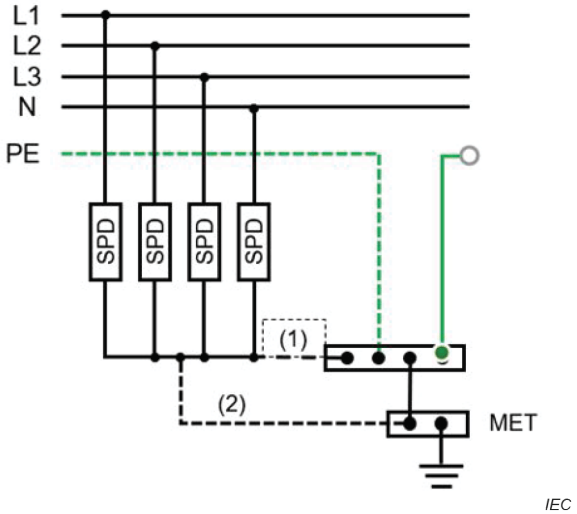
b) s'il n'y a pas de connexion directe entre le conducteur de neutre et la terre de protection au niveau ou à proximité de l'entrée de l'installation:

   entre chaque conducteur de ligne et soit la borne principale de terre, soit le conducteur de protection principal, et entre le conducteur de neutre et soit la borne principale de terre, soit le conducteur de protection, selon le trajet le plus court – Connexion de Type 1 (CT 1, connexion type 1), voir la Figure 8

   ou

   entre chaque conducteur de ligne et le conducteur de neutre, et entre le conducteur de neutre et soit la borne principale de terre, soit le conducteur de protection, selon le trajet le plus court – Connexion de Type 2 (CT 2), voir la Figure 9.

   NOTE 2 Si un conducteur de ligne est mis à la terre, il est considéré comme équivalent à un conducteur de neutre pour l'application du présent paragraphe.



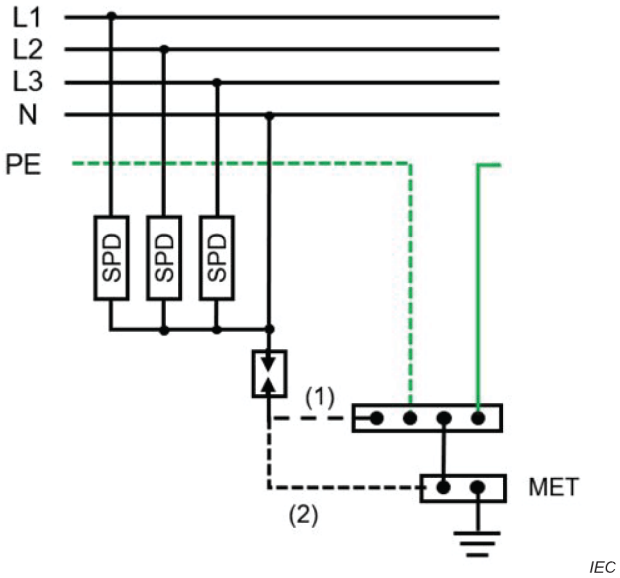
Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

MET: borne équipotentielle principale

NOTE Il convient que la liaison de mise à la terre des parafoudres, (1) et/ou (2) soit le chemin le plus court. Les règlements nationaux peuvent obliger à utiliser 1 et/ou 2

Figure 8 – Exemple de connexion de Type 1 (CT1)



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

MET: borne équipotentielle principale

NOTE Il convient que la liaison de mise à la terre des parafoudres, (1) et/ou (2) soit le chemin le plus court. Les règlements nationaux peuvent obliger à utiliser 1 et/ou 2.

Figure 9 – Connexion de Type 2 (CT2)

Le Tableau 3 indique les modes de protection pouvant être exigés pour différents réseaux à basse tension.

NOTE 3 Si plusieurs parafoudres sont connectés sur le même conducteur, il est possible d'envisager une coordination entre eux (voir 7.5.7).

NOTE 4 Le nombre de modes de protection dépend du type de matériel à protéger (par exemple, si le matériel n'est pas relié à la terre, la protection phase-terre ou neutre-terre peut ne pas être nécessaire), de la tenue du matériel selon les différents modes de protection, de la structure du réseau électrique et de la mise à la terre et des caractéristiques du choc d'entrée. Par exemple, la protection entre phase-neutre et le conducteur PE ou entre phase et neutre est dans la plupart des cas suffisante, et la protection entre phases n'est dans la plupart des cas pas utilisée.

NOTE 5 Les parafoudres sont installés devant le compteur électrique du distributeur avec l'accord du distributeur d'énergie.

Tableau 3 – Modes de protection pour différents réseaux BT

Parafoudres raccordés entre:	Configuration du réseau au point d'installation du parafoudre							
	TT		TN-C	TN-S		IT avec neutre distribué		IT sans neutre distribué
	Installation conforme à			Installation conforme à		Installation conforme à		
	CT 1 [c]	CT 2		CT 1	CT 2	CT 1	CT 2	
Chaque conducteur de ligne et le conducteur de neutre	+	•	NA	+	•	+	•	NA
Chaque conducteur de ligne et le conducteur PE	•	NA	NA	•	NA	•	NA	•
Le conducteur de neutre et le conducteur PE	•	• [b, d]	NA	• [a]	• [a, b]	•	• [b]	NA
Chaque conducteur de ligne et le conducteur PEN	NA	NA	•	NA	NA	NA	NA	NA
Conducteurs de ligne	+	+	+	+	+	+	+	+

• exigé

NA: non applicable

+: facultatif, en plus des parafoudres exigés

CT: type de connexion

[a] Dans les schémas TN-S ou TN-C-S, le parafoudre entre le neutre et la terre de protection peut être omis si la distance entre le point de séparation de PE et N et l'emplacement du parafoudre installé est inférieure à 0,5 m ou si le point de séparation et le parafoudre se trouvent dans le même tableau de distribution.

[b] Lorsqu'une connexion de type 2 est utilisée, il convient de comparer la tension de tenue du matériel U_W au niveau de protection obtenu par deux parafoudres en série (L-N et N-PE). Cela peut donner un résultat différent que le simple fait d'ajouter les U_p des deux parafoudres.

[c] Seulement en aval du DDR.

[d] Pour être utilisé en amont du DDR principal, le parafoudre doit résister aux surtensions temporaires (voir 6.5.1.2).

Pour de plus amples informations, voir l'Annexe J.

7.4 Nécessité d'une protection supplémentaire

7.4.1 Généralités

Si des parafoudres sont nécessaires, il convient d'installer un premier parafoudre proche de l'entrée de l'installation. Ce parafoudre vise à atténuer les effets et à réduire l'impact des tensions de choc provenant de l'extérieur de l'installation. Dans certaines conditions, un

parafoudre est suffisant, par exemple, si les contraintes à l'entrée de la structure sont faibles ou si le matériel présente une tenue aux chocs élevée et/ou que le U_p du parafoudre est bas.

Une protection supplémentaire dans les tableaux de distribution ou à proximité du matériel (dans le socle de prise de courant, par exemple) à protéger peut s'avérer nécessaire lorsque, par exemple:

- La distance entre le parafoudre et le matériel à protéger est trop importante;
- En présence de champs électromagnétiques créés à l'intérieur de la structure par des décharges de foudre;
- La longueur de câble de raccordement du parafoudre situé à l'entrée est trop importante, l'efficacité de la protection assurée à cet endroit étant donc diminuée;
- En présence d'un matériel sensible (électronique, ordinateur): tenue aux chocs inférieure à U_p du parafoudre.

Des parafoudres supplémentaires peuvent également être nécessaires pour assurer une protection contre les surtensions transitoires en ce qui concerne les menaces provenant d'autres sources, telles que:

- les surtensions de manœuvre générées par le matériel situé à l'intérieur de l'installation;
- les surtensions sur d'autres services entrants (les lignes téléphoniques, les connexions Internet, par exemple);
- les surtensions sur d'autres services alimentant d'autres structures (les bâtiments secondaires, les installations/éclairages extérieurs, les lignes alimentant les capteurs externes, par exemple).

Une protection supplémentaire peut également être nécessaire en présence d'une installation photovoltaïque. Dans ce cas, l'IEC 61643-32 donne de plus amples informations.

7.4.2 Influence des phénomènes d'oscillation sur la distance de protection

NOTE Dans certains pays, la distance de protection est également appelée distance de séparation.

Si un parafoudre est utilisé pour assurer la protection d'un matériel particulier à l'intérieur de l'installation, il convient de l'installer aussi près que possible du matériel à protéger. Si la distance entre le parafoudre et le matériel à protéger est trop grande, des oscillations pourraient conduire à une tension aux bornes du matériel deux fois plus élevée que U_p et qui, dans certaines circonstances, peut même dépasser ce niveau. Cela peut causer une défaillance du matériel protégé, malgré la présence du parafoudre (voir les Figure J.8 à Figure J.10). La distance acceptable (appelée distance de protection) dépend du type de parafoudre, du type de réseau, du temps de montée ($\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$) et de la forme d'onde du choc d'entrée et des charges raccordées. En particulier, ce doublement est possible si le matériel présente une impédance élevée, s'il agit comme un condensateur ou s'il est déconnecté en interne. La Figure J.10 donne un exemple représentatif du phénomène de doublement de tension dans de telles conditions.

En général, les oscillations peuvent ne pas être prises en compte pour des distances inférieures à 10 m. Quelquefois, le matériel comporte des éléments internes de protection (par exemple, des varistances) qui réduisent de façon significative les oscillations, même à des distances supérieures. Dans ce dernier cas, il est nécessaire de prendre des précautions pour éviter des problèmes de coordination entre le parafoudre et le composant de protection à l'intérieur du matériel (voir 7.5.7).

7.4.3 Tension induite dans l'installation

La distance de protection peut être réduite en raison de la tension directement induite par le courant de foudre dans la boucle du circuit existant entre le parafoudre et le matériel à protéger, en particulier en présence d'un système de protection contre la foudre sur la structure et si cette dernière n'est pas blindée.

Cela peut être ignoré dans les conditions suivantes:

- Le câble interne est blindé ou chemine à l'intérieur d'un conduit métallique (il convient que le blindage ou le conduit métallique soit mis à la terre aux deux extrémités).
- Le conducteur PE chemine dans le même câble des conducteurs actifs. Si un système de protection contre la foudre est installé, il convient de limiter la longueur de la boucle induite à 10 m;
- Le conducteur PE chemine dans le même conduit des conducteurs actifs, la longueur de la boucle induite est limitée à 10 m et la source de dommage S1 est ignorée;
- Le parafoudre est installé à l'entrée du matériel.

Dans la plupart des cas, des structures en béton armé fournissent une atténuation suffisante permettant d'éviter de prendre en considération les tensions induites. La tension induite est essentiellement due à la taille de la boucle et dans une installation normale, les conducteurs actifs et la terre de protection étant acheminés ensemble dans les murs ou les tuyaux, la surface de la boucle est négligeable. Si elle n'est pas négligeable, la tension induite doit être prise en compte lors du choix du niveau de protection du parafoudre (voir l'IEC 62305-4).

Pour de plus amples informations, voir l'Annexe J.

7.4.4 Influence de la longueur des câbles de raccordement

Afin d'obtenir une protection optimale contre les surtensions, les conducteurs de raccordement des parafoudres doivent être aussi courts que possible. De grandes longueurs de câbles dégradent l'efficacité de la protection assurée par le parafoudre. De ce fait, il peut être nécessaire de choisir un parafoudre avec un niveau de protection en tension plus faible, de façon à permettre une protection efficace. La tension résiduelle transférée au matériel est, dans le cas le plus défavorable, la somme de la tension due au parafoudre et de la chute de tension inductive des câbles de raccordement. Cette tension est appelée U_p/f. Les deux tensions peuvent ne pas être maximales exactement au même moment, mais pour des raisons plus pratiques, peuvent simplement être additionnées. La Figure 10 représente l'effet de l'inductance des câbles de raccordement sur la tension mesurée entre les points de connexion du parafoudre pendant le courant de choc de décharge.

La chute de tension ΔU peut être estimée avec l'équation suivante:

$$\Delta U = 0{,}1 \times I_{SPD} \times \Delta l \quad \text{(kV)}$$

où:

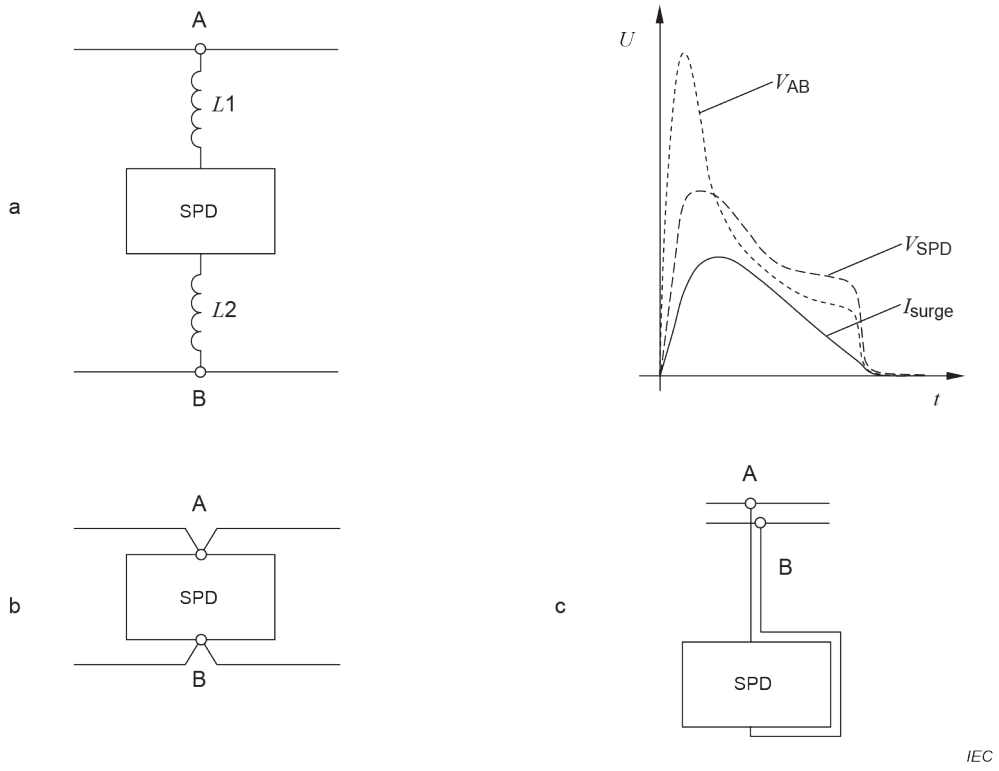
I_{SPD} est le courant qui traverse le parafoudre (kA);

Δl est la longueur des câbles de raccordement (m) (en général ≤ 0,5 m).

Cette chute de tension peut être ignorée lorsque seul le courant induit par les éclairs à proximité de la structure traverse le parafoudre. Autant que possible, il est préférable d'utiliser le schéma b) de la Figure 10 (parfois appelé connexion en V) dans lequel l'effet de cette inductance est considérablement réduit. Le schéma c) utilisant des fils torsadés peut être utilisé lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser le schéma b). Cela permet, dans la plupart des cas, de réduire de moitié la longueur de câble équivalente. Il convient d'éviter dans toute la mesure du possible le schéma a). Dans la mesure où le fait d'augmenter la longueur des conducteurs de raccordement des parafoudres réduit l'efficacité de la protection contre les surtensions, une protection optimale contre les surtensions est obtenue au schéma a) lorsque tous les conducteurs de raccordement des parafoudres sont aussi courts que possible (de préférence ne dépassant pas 0,5 m pour la longueur totale de câble) et sans aucune boucle. La longueur de câble de 0,5 m est conforme à une marge de 20 % de la tension de tenue U_W. Si la longueur de câble est supérieure à 0,5 m, il convient d'utiliser $U_{p/f}$ en lieu et place de U_p, la marge de 20 % n'étant alors plus nécessaire.

Si le parafoudre est inséré à l'intérieur d'une armoire métallique, un bon moyen de réduire la longueur de câble consiste à raccorder le parafoudre directement au châssis de l'armoire métallique (plaque) avec des câbles courts. Cela s'applique uniquement si l'armoire métallique est conforme à l'IEC 60439. Il est également recommandé que le point de raccordement où le conducteur de terre du parafoudre est lié à l'armoire métallique soit également lié au bus de mise à la terre de l'armoire/du réseau de distribution avec un conducteur de même taille (2 conducteurs sont alors reliés à la borne de terre du parafoudre: l'un au châssis métallique et l'autre au bus de mise à la terre, le dernier étant utilisé si le parafoudre est endommagé afin de laisser le courant de court-circuit circuler en toute sécurité alors que la plaque métallique est essentiellement utilisée pour détourner la partie haute fréquence de la tension de choc).

NOTE Si le chemin de retour de courant est magnétiquement couplé aux conducteurs d'alimentation en plaçant les conducteurs à proximité les uns des autres, l'inductance est réduite (voir la Figure 10 c).



Anglais	Français
SPD	Parafoudre
I_{surge}	I_{choc}

Légende

a) $L1$, $L2$ Inductances correspondant aux longueurs de câbles *l*1, *l*2

I_{choc} Forme d'onde du courant de choc en fonction du temps

V_{SPD} Tension aux bornes du parafoudre lors du choc

V_{AB} Tension entre le point A et le point B pendant le choc = $U_{p/f}$ = V_{SPD} + ΔU pour un parafoudre à limitation de tension ou max (V_{SPD}, ΔU) pour un parafoudre à coupure de tension. Une autre formule peut s'appliquer au parafoudre de type combiné. Ce schéma doit être évité si possible, en particulier si les valeurs de $L1$ ou $L2$ sont importantes.

b) Ce schéma doit être préférentiel

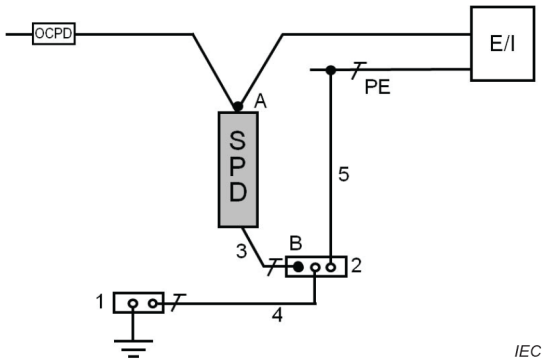
c) Ce schéma est acceptable si le schéma b n'est pas possible

Figure 10 – Influence des longueurs des câbles de raccordement des parafoudres

Si la longueur de câble totale dépasse 0,5 m, au moins l'une des options suivantes doit être choisie:

- choisir un parafoudre avec un niveau de protection en tension U_p inférieur (1 m de câble droit transportant un courant de décharge de 10 kA (8/20) ajoute une chute de tension d'environ 1 000 V);
- installer un second parafoudre coordonné à proximité du matériel à protéger de manière à coordonner le niveau de protection en tension U_p à la tension assignée de tenue aux chocs du matériel à protéger;
- utiliser le schéma d'installation décrit à la Figure 11;

- Dans le cas des parafoudres installés dans de grands tableaux de contrôle composés d'armoires métalliques, les parafoudres peuvent être reliés à la borne principale de terre ou au conducteur de protection par des parties métalliques, par exemple les armoires métalliques de l'ensemble (voir 543.4.2 de l'IEC 60364-5-54), à condition de le/la relier à une terre de protection et qu'il/elle satisfasse aux exigences relatives au conducteur de protection de l'IEC 60364-5-54. Ce point de connexion des parafoudres à l'armoire métallique représente la borne intermédiaire de terre définie à la Figure 11, auquel cas la longueur 4 (entre la borne principale de terre et la borne intermédiaire de terre) ne doit pas être prise en compte dans le calcul de la longueur totale, voir la Figure 11(b)).



(a)

Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

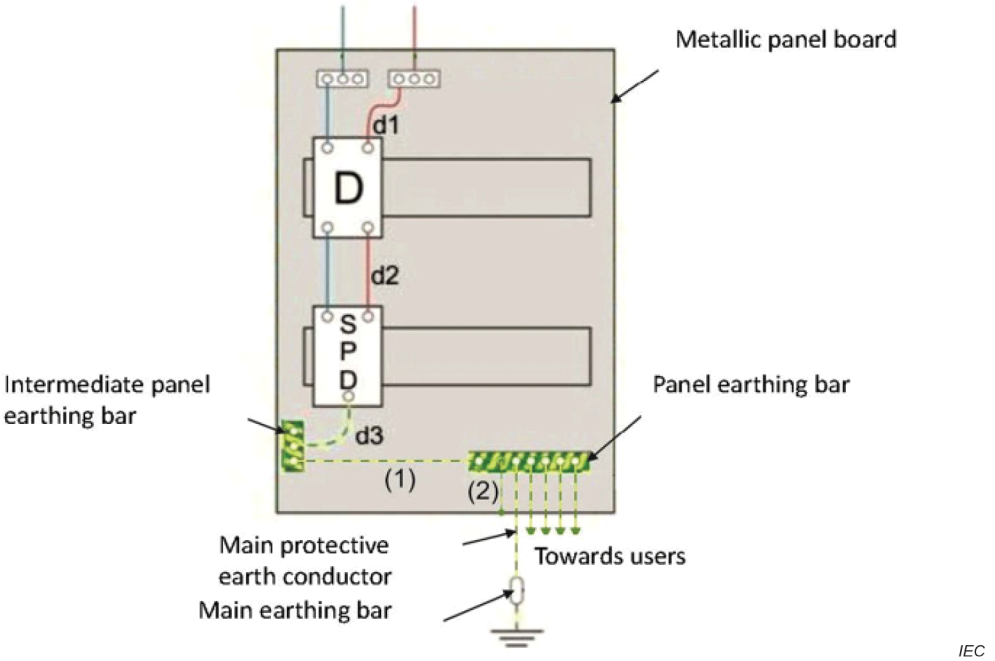
1 Barre de mise à la terre principale

2 Barre de mise à la terre intermédiaire

3 Câble de mise à la terre du parafoudre

4 Conducteur supplémentaire pour raccorder la barre de mise à la terre intermédiaire à la barre de mise à la terre principale

5 Conducteur supplémentaire pour distribuer la terre de protection à partir de la barre de mise à la terre intermédiaire



(b)

Anglais	Français
Metallic panel board	Tableau de contrôle métallique
Intermediate panel earthing bar	Barre de mise à la terre intermédiaire du tableau
Panel earthing bar	Barre de mise à la terre du tableau
Main protective earth conductor	Conducteur de terre de protection principal
Towards users	Vers les utilisateurs
Main earthing bar	Barre de mise à la terre principale

Légende

D déconnecteur

(1) conducteur équipotentiel supplémentaire recommandé

(2) conducteur équipotentiel principal

NOTE La barre de mise à la terre intermédiaire du tableau est reliée à la structure métallique du tableau de contrôle par un connecteur fabriqué à cet effet lors de la conception ou de l'installation.

Figure 11 – Schéma d'installation possible avec une barre de mise à la terre intermédiaire lorsque la longueur de câble dépasse 50 cm

Pour de plus amples informations, voir l'Annexe J.

7.4.5 Influence du niveau de protection en tension

Pour choisir le niveau de protection contre la foudre du parafoudre, il est nécessaire de prendre en considération la tenue en tension U_W (voir l'IEC 60664-1) du matériel le plus sensible à protéger dans le réseau ou le niveau d'immunité aux chocs du matériel lorsque le fonctionnement permanent du matériel est crucial.

Dans l'exemple ci-dessous (voir la Figure 12), le matériel n'est pas crucial et seul U_W est pris en considération.

Le parafoudre situé le plus près de ce matériel doit être choisi avec un niveau de protection en tension (U_{p2}) d'au moins 20 % en dessous de la tenue en tension U_W du même matériel lorsque la longueur de câble ne dépasse pas 50 cm. Si la longueur de câble dépasse 50 cm, il convient d'utiliser $U_{p/f2}$ à la place de U_{p2}. Il convient alors que $U_{p/f2}$ soit inférieur à U_W. La tension au niveau du matériel protégé est égale à k fois U_p, k étant compris entre 1 et 2, en fonction de la longueur de ligne et du type de matériel à protéger. k peut être obtenu par mesurage ou des simulations.

Des surtensions de coupure potentiellement dommageables peuvent être générées à l'intérieur des bâtiments (voir 5.2.3 et l'Annexe C). Dans ces cas, des parafoudres supplémentaires peuvent être nécessaires.

Lorsque deux parafoudres sont utilisés dans le même circuit, ils doivent être coordonnés (voir 7.5.7).

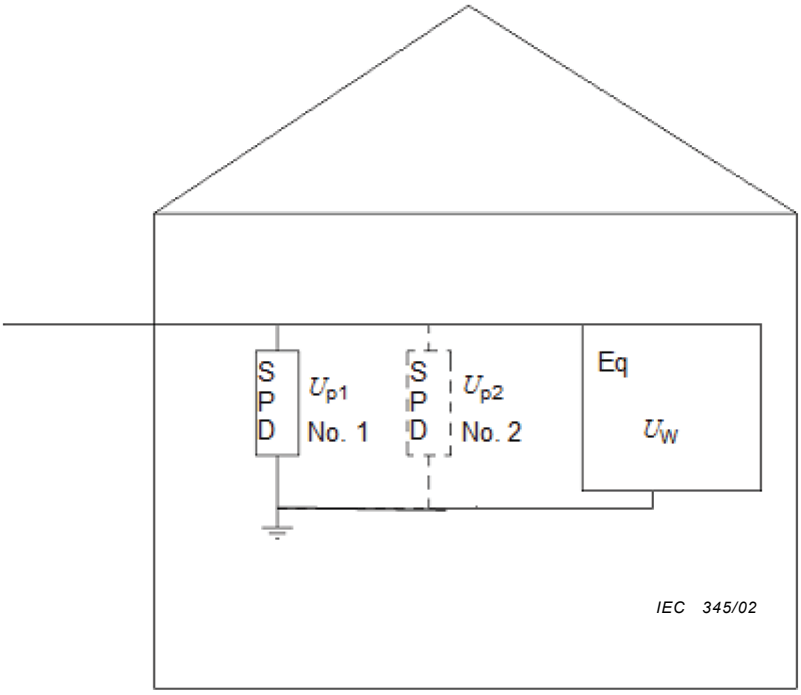
Lorsque la tension induite U_i est négligeable, un parafoudre supplémentaire peut ne pas être exigé dans les cas suivants:

- La longueur du câble raccordant le parafoudre ne dépasse pas 50 cm, la distance entre le parafoudre et le matériel est inférieure à 10 m et U_p est inférieur à 0,8 × U_W.
- La longueur du câble raccordant le parafoudre ne dépasse pas 50 cm, la distance entre le parafoudre et le matériel est supérieure à 10 m, mais 2 × U_p reste inférieur à 0,8 × U_W.
- La longueur du câble raccordant le parafoudre dépasse 50 cm, la distance entre le parafoudre et le matériel est inférieure à 10 m et $U_{p/f}$ est inférieur à U_W.
- La longueur du câble raccordant le parafoudre dépasse 50 cm, la distance entre le parafoudre et le matériel est supérieure à 10 m, mais 2 × $U_{p/f}$ reste inférieur à U_W.

NOTE 1 L'immunité du matériel obtenue selon l'IEC 61000-4-5 peut être différente de la tension de tenue définie dans l'IEC 60664-1 (U_W). Ceci est dû au fait que l'essai de l'IEC 61000-4-5 utilise un générateur d'ondes combinées, et une partie du courant de choc peut s'écouler dans le matériel (en particulier s'il a une faible impédance). Dans ce cas, une bonne coordination est exigée (voir 7.5.7). Des informations supplémentaires sur la comparaison entre l'immunité et la tenue à l'isolement sont données à l'Annexe K. À noter qu'en dépit de l'IEC 60664-1 décrivant la manière d'obtenir U_W, il peut être difficile en pratique d'obtenir la valeur de U_W pour chaque type de matériel.

NOTE 2 Aux États-Unis, le niveau de protection en tension est soumis à l'essai avec un conducteur de câble de 6 pouces. Cela n'est pas lié à l'installation, lorsque la règle des 50 cm présentée dans le présent article concerne l'installation.

Voir J.1.2 et la Figure J.9 pour de plus amples informations.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre
No. 1	N° 1
No. 2	N° 2

Légende

Si $U_{p1} \times k < 0{,}8 \times U_W$, seul le parafoudre 1 (installé à l'entrée de l'installation) est nécessaire, sauf si la tension générée dans la boucle entre le parafoudre et le matériel est élevée et qu'un coup de foudre se produit à proximité (cas d'un système de protection contre la foudre sur la structure, par exemple).

Si $U_{p1} \times k > 0{,}8 \times U_W$, il convient d'installer le parafoudre 2 (avec $U_{p2} < 0{,}8\ U_W$) en plus du parafoudre 1 et de le coordonner avec celui-là.

Eq est le matériel à protéger ayant une tension de tenue U_W (voir l'IEC 60664-1).

k est un coefficient (1 < *k* < 2, voir 7.1.3) prenant en compte les oscillations possibles.

Figure 12 – Exemple de la nécessité de parafoudres supplémentaires lorsque la longueur des câbles raccordés est inférieure à 50 cm

7.4.6 Concept de Zone de protection contre la foudre (LPZ)

Pour les besoins de la conception et de l'application d'une protection contre la foudre appropriée, il peut être utile d'envisager une hiérarchie de zones de protection, comme cela est décrit dans l'IEC 62305-4. Une zone de protection contre la foudre est définie au moins par un parafoudre placé à l'entrée de la zone afin de réduire les surtensions conduites, et éventuellement des mesures de protection supplémentaires pour réduire la contrainte électromagnétique à l'intérieur de la zone (surtensions induites directement à l'intérieur de la zone).

Ce concept de planification prend pour hypothèse que les surtensions induites provoquées par les manœuvres dans les réseaux et les coups de foudre directs/indirects sont réduits par paliers (il convient que la distance entre les paliers soit conforme à 7.5.3) entre l'environnement non protégé et les matériels sensibles protégés.

Un exemple de subdivision des réseaux de distribution dans le bâtiment en zones de protection et de répartition des parafoudres est donné à la Figure J.11.

Il convient que les réseaux d'énergie et les réseaux de signaux qui entrent dans la structure soient proches les uns des autres et qu'ils soient reliés ensemble à une même barre de liaison. Cela est particulièrement important pour des structures faites de matériaux non conducteurs (bois, briques, béton, etc.). Il s'agit d'éviter de générer des surtensions dans la boucle composée des conducteurs des deux réseaux.

7.5 Choix des caractéristiques du parafoudre

7.5.1 Généralités

Le parafoudre est choisi selon le schéma suivant, en six étapes données de 7.5.2 à 7.5.7 (voir la Figure 13). U_c, U_T, I_n, I_{imp}, I_{max}, I_{SCCR}, I_{fi} et U_{oc}

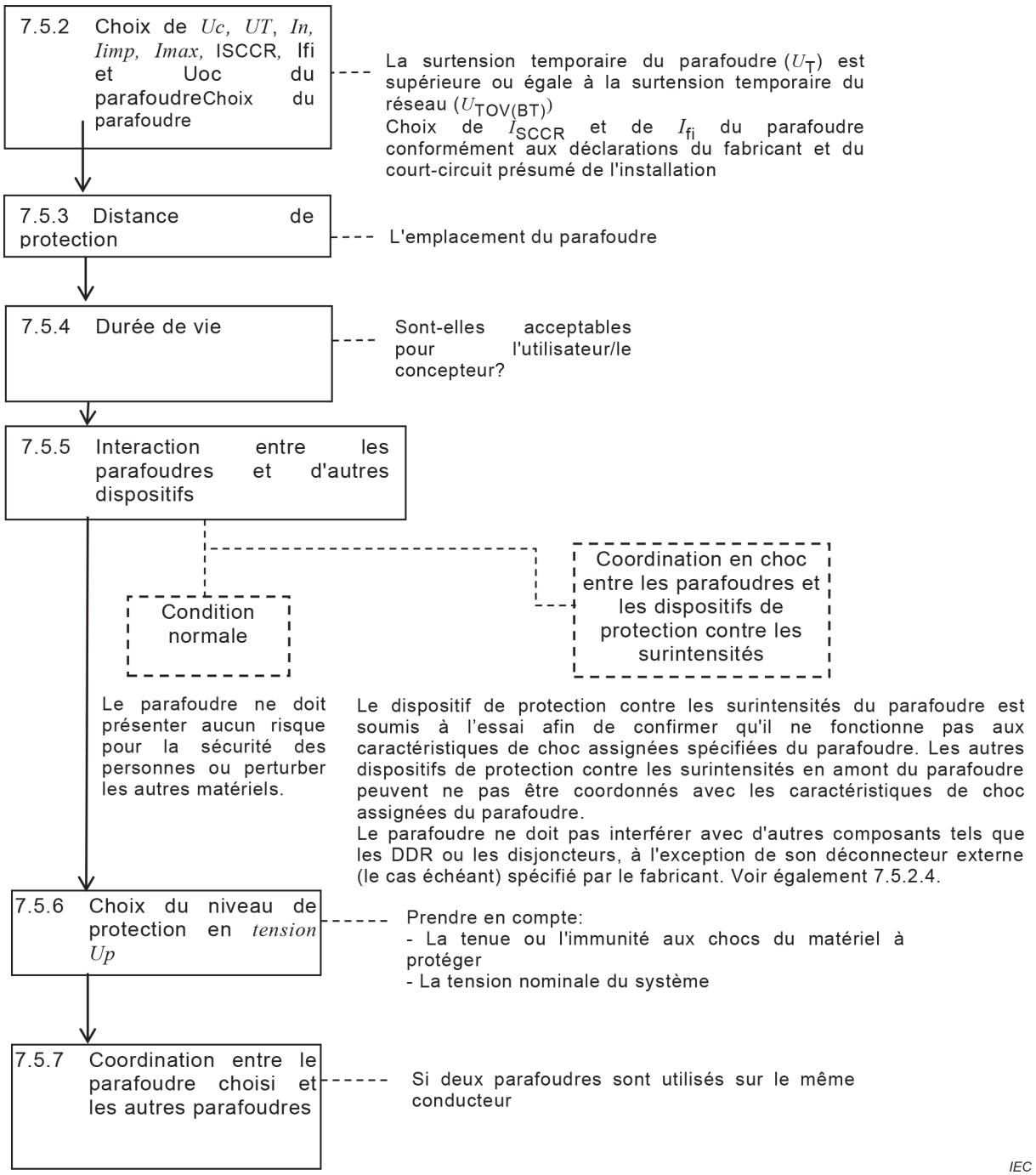


Figure 13 – Organigramme pour le choix d'un parafoudre

7.5.2 Choix de U_c, U_T, I_n, I_{imp}, I_{max}, I_{SCCR}, I_{fi} et U_{oc} du parafoudre

7.5.2.1 Tension maximale de régime permanent U_c du parafoudre

La valeur de U_c du parafoudre doit remplir les critères suivants.

U_c doit être supérieure ou égale à la tension maximale de régime permanent du réseau U_{cs} (= $k \times U_0$) (voir l'Annexe J et, en ce qui concerne les valeurs recommandées, se reporter à l'Annexe B).

$$U_c \geq U_{cs}$$

NOTE 1 De plus, pour le schéma IT, il convient que U_c soit suffisamment élevée (1,1 $U_0 \times \sqrt{3}$) pour couvrir les conditions de premier défaut. Cela est couvert par les valeurs indiquées dans le Tableau 4.

En pratique, cela conduit à satisfaire aux exigences suivantes (voir l'IEC 60364-5-53):

Tableau 4 – Valeur de U_c minimale recommandée du parafoudre pour les différents réseaux

Parafoudre connecté entre (selon le cas)	Configuration du réseau de distribution		
	Schéma TN	Schéma TT	Schéma IT
Conducteur de ligne et conducteur de neutre	1,1 $U/\sqrt{3}$ ou (0,64 × U)	1,1 $U/\sqrt{3}$ ou (0,64 × U)	1,1 $U/\sqrt{3}$ ou (0,64 × U)
Conducteur de ligne et conducteur PE	1,1 $U/\sqrt{3}$ ou (0,64 × U)	1,1 $U/\sqrt{3}$ ou (0,64 × U)	1,1 U
Conducteur de ligne et conducteur PEN	1,1 $U/\sqrt{3}$ ou (0,64 × U)	N/A	N/A
Le conducteur de neutre et le conducteur PE	1,1 $U/\sqrt{3}$ [a]	1,1 $U/\sqrt{3}$ [a]	1,1 $U/\sqrt{3}$ ou (0,64 × U)
Conducteurs de ligne	1,1 U	1,1 U	1,1 U
NOTE 1 non applicable NOTE 2 U est la tension entre phases d'un réseau à basse tension.			
[a] Ces valeurs correspondent aux conditions de défaut les plus défavorables, et par conséquent la tolérance de 10 % n'est pas prise en compte.			

7.5.2.2 Caractéristiques assignées de surtension temporaire U_T du parafoudre

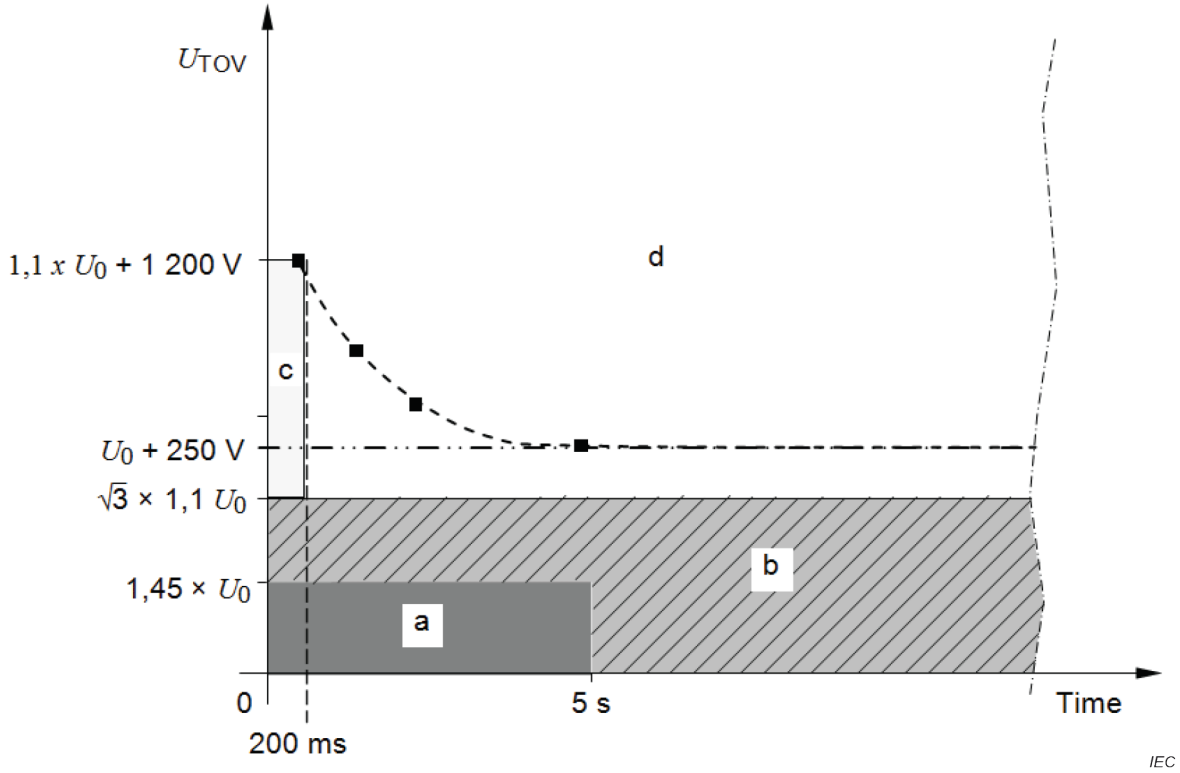
Les valeurs de U_T doivent être supérieures ou égales à la surtension temporaire (TOV) prévue dans l'installation, en raison de défauts dans le réseau à basse tension (voir la Figure 14).

$$U_T \geq U_{TOV(LV)}$$

NOTE Une tension $U_{TOV(BT)}$ dont la durée est supérieure à 5 s est considérée comme une tension maximale de régime permanent (U_c). En schéma IT, par exemple, la valeur de U_c d'un parafoudre relié entre la phase et la terre est au moins égale à la tension maximale du réseau entre phases (1,1 $U_0 \times \sqrt{3}$) en raison de défauts à la terre pouvant se produire pendant une durée très longue (plusieurs heures).

Les valeurs d'essai de surtension temporaire type sont données à l'Annexe E.

Dans certains cas où les surtensions temporaires ont une amplitude trop élevée, il peut être difficile de trouver un parafoudre capable d'assurer une protection contre les surtensions acceptables du matériel. Si la probabilité d'occurrence est suffisamment faible, un parafoudre qui ne peut pas résister à la contrainte des surtensions temporaires peut être utilisé. Dans ce cas, un dispositif de déconnexion adéquat doit être utilisé.



Anglais	Français
Time	Temps

Légende

a Zone de $U_{TOV(BT)}$ entre phase et neutre en schémas TT, TN et IT pour un défaut dans l'installation BT (court-circuit)

b Zone de $U_{TOV(BT)}$ entre phase et terre en schéma IT (TT) pour un défaut dans l'installation BT (mise à la terre accidentelle) et zone de $U_{TOV(BT)}$ entre phase et neutre en schémas TT et TN pour un défaut dans l'installation BT (rupture du neutre)

c Valeur maximale de $U_{TOV(HT)}$ à l'emplacement de l'utilisateur entre phase et terre en schémas TT et IT dans le cas d'un défaut se produisant sur le réseau HT

d Zone indéfinie

NOTE 1 $U_{TOV(BT)}$ exigé pour un parafoudre utilisé sur des réseaux120/240 V, monophasés, 3W+G (trois fils + terre) et $U_{TOV(BT)}$ exigé pour un parafoudre utilisé sur des réseaux 120/208 V, 277/480 V, 347/600 V, triphasés, 4W+G (quatre fils + terre) sont d'autres valeurs utilisées en Amérique du Nord.

Valeurs de U_T du parafoudre

NOTE 2 Comme cela est indiqué à la figure, il est possible de choisir un parafoudre présentant les caractéristiques suivantes:

$$U_T = U_c \geq U_{TOV(LV)\ max}$$

C'est particulièrement le cas pour les schémas IT.

Figure 14 – U_T et U_{TOV}

En choisissant un parafoudre avec le niveau souhaité de protection, le comportement exigé (caractéristique de tenue ou fin de vie) des surtensions temporaires prévues doit être pris en considération.

Si la probabilité d'occurrence est suffisamment faible, un parafoudre qui ne peut pas résister à la contrainte des surtensions temporaires, mais qui subit une défaillance de manière acceptable, conformément à l'IEC 61643-11, peut être utilisé afin d'atteindre le niveau souhaité de protection.

Si le comportement de fin de vie n'est pas acceptable, des mesures supplémentaires doivent être prises pour limiter les surtensions temporaires avant l'application des parafoudres avec un niveau de protection acceptable.

7.5.2.3 I_n, I_{imp}, U_{oc} et I_{max}

I_n, I_{imp}, U_{oc} et I_{max} (si déclarés) sont nécessaires pour choisir l'énergie admissible appropriée.

Le choix de l'énergie admissible du parafoudre (Ii_{mp}, I_n ou U_{OC} en fonction de la classe d'essai) doit se fonder sur l'analyse de fréquence des dommages (voir l'Article 4) qui compare la probabilité de l'apparition de chocs et le taux de défaillance acceptable complété d'une analyse de la coordination lorsque plus d'un parafoudre est impliqué.

NOTE 1 I_{imp} est lié à la classe d'essai I, I_n est lié à la classe d'essai II, U_{OC} est lié à la classe d'essai III et I_{max} est un essai facultatif en courant de choc 8/20.

NOTE 2 Des valeurs supérieures aux valeurs préférentielles de 6.5.2.2 et 6.5.2.3 peuvent être utilisées si nécessaire.

Si la protection contre les surtensions d'origine atmosphérique exige des parafoudres, le courant nominal de décharge I_n à l'entrée de l'installation ne doit pas être inférieur à 5 kA 8/20 pour chaque mode de protection exigé.

Dans le cas d'une installation conformément à la connexion de type 2 (CT2, voir la Figure 9), le courant nominal de décharge I_n à l'entrée de l'installation pour le parafoudre connecté entre le conducteur de neutre et la terre de protection ne doit pas être inférieur à 20 kA 8/20 pour les réseaux triphasés et à 10 kA 8/20 pour les réseaux monophasés.

NOTE 3 I_n peut être inférieur aux valeurs ci-dessus pour un parafoudre de type à court-circuit si son I_{trans} déclaré est supérieur à I_n pour le même cas de connexion (phase ou neutre à la terre de protection, par exemple) (voir A.2.2.9).

Si la présence d'un SPF avec la possibilité de coups de foudre directs exige des parafoudres, le courant de choc de foudre I_{imp} doit être évalué (voir l'Annexe I). Pour une évaluation de ce type, il convient de prendre en considération les composants (fusibles, section du câblage, etc.) installés en amont du parafoudre, dans la mesure où cela peut limiter la capacité maximale aux chocs de l'ensemble du réseau et par conséquent les contraintes maximales sur le parafoudre. Si une telle évaluation n'est pas possible, la valeur de I_{imp} ne doit pas être inférieure à 12,5 kA pour chaque mode de protection exigé.

Dans le cas d'une installation câblée conformément à la connexion de type 2 (CT2), le courant de choc de foudre I_{imp} pour le parafoudre connecté entre le conducteur de neutre et la terre de protection doit être calculé de la même façon que dans l'IEC 62305-4. Si la valeur de courant ne peut pas être établie, la valeur de I_{imp} ne doit pas être inférieure à 50 kA pour les réseaux triphasés et à 25 kA pour les réseaux monophasés.

NOTE 4 Des informations supplémentaires sont données dans l'IEC 62305-1:2010, Annexe E.

Lorsqu'un seul parafoudre est utilisé pour la protection contre les surtensions d'origine atmosphérique et pour la protection contre les coups de foudre directs, les caractéristiques assignées de I_n et de I_{imp} doivent être conformes aux valeurs ci-dessus.

Le choix de I_n et I_{max} (si déclarés) pour les parafoudres supplémentaires est effectué d'après les règles de coordination décrites en 7.5.2.4.

NOTE 5 I_{max} est utilisé pour des cas particuliers uniquement, étant donné qu'en général I_n est suffisant pour caractériser un parafoudre soumis aux essais de classe II. I_{max} donne une indication de l'énergie admissible et, par conséquent, de l'espérance de vie dans un emplacement spécifique.

7.5.2.4 Coordination du parafoudre au courant de court-circuit présumé du réseau au point d'installation

Le parafoudre peut être équipé des dispositifs de déconnexion nécessaires, de sorte qu'il ne perturbe pas d'autres dispositifs de protection tels que des DDR, des fusibles ou des disjoncteurs.

La tenue aux courants de court-circuit des parafoudres (en cas de défaillance du parafoudre) ainsi que du dispositif de protection contre les surintensités associé spécifié (interne ou externe) doit être supérieure ou égale à la valeur maximale du courant de court-circuit présumé au point d'installation, en prenant en considération les dispositifs de protection contre les surintensités maximales spécifiés par le fabricant du parafoudre. Selon l'IEC 60364, les déconnecteurs externes ou les dispositifs de protection contre les surintensités utilisés pour assurer la protection des parafoudres doivent satisfaire à la norme IEC correspondante (série IEC 60898, IEC 60947-2 ou série IEC 60269, par exemple) ou à une norme nationale locale, selon le cas.

a) Courant de court-circuit assigné I_{SCCR}

Le parafoudre doit être choisi et installé en fonction de son courant de court-circuit assigné (I_{SCCR}). La valeur I_{SCCR} est une valeur assignée soumise à l'essai avec le produit et déclarée dans la documentation du fabricant qui accompagne le produit.

Le courant de court-circuit assigné (I_{SCCR}) du parafoudre et de ses déconnecteurs et/ou de son dispositif de protection contre les surintensités, tels que déclarés par le fabricant, doit être supérieur ou égal au courant de court-circuit présumé du réseau au point d'installation. Le parafoudre doit être installé avec le déconnecteur déclaré par le fabricant dans la documentation qui accompagne le parafoudre. Le déconnecteur peut être intégré dans le parafoudre ou peut être un dispositif séparé (un disjoncteur ou un fusible par exemple), tel que déterminé par le fabricant du parafoudre.

Dans les schémas IT, le courant de court-circuit assigné (I_{SCCR}) des parafoudres connectés entre le conducteur de neutre et la terre de protection doit être le même que pour les parafoudres connectés entre la phase et le neutre (conformément à 431.2.2 de l'IEC 60364-4-43:2008).

b) Valeur assignée d'interruption du courant de suite (I_{fi})

Si une valeur assignée d'interruption du courant de suite (I_{fi}) est déclarée par le fabricant, elle doit être supérieure ou égale au courant de court-circuit présumé prévu au point d'installation. Pour les parafoudres connectés entre le conducteur de neutre et la terre de protection dans des schémas TT ou TN, la valeur assignée d'interruption du courant de suite doit être supérieure ou égale à 100 A. Dans les schémas IT, la valeur assignée d'interruption du courant de suite des parafoudres connectés entre le conducteur de neutre et la terre de protection doit être la même que celle des parafoudres connectés entre la phase et le neutre.

NOTE 1 Le courant de suite (voir 3.1.12 de l'IEC 61643-11:2011) est le courant de crête fourni par le réseau d'alimentation électrique et s'écoulant à travers le parafoudre après un choc de courant de décharge. En pratique, les dispositifs qui admettent le courant de suite sont les dispositifs de coupure de tension (un éclateur, par exemple).

NOTE 2 100 A est le courant maximal présumé circuler entre N et PE dans les conditions de défaut sur un schéma TT ou TN. Il s'agit de la valeur utilisée dans l'IEC 61643-11 pour les essais.

c) Coordination du parafoudre avec son déconnecteur (D)

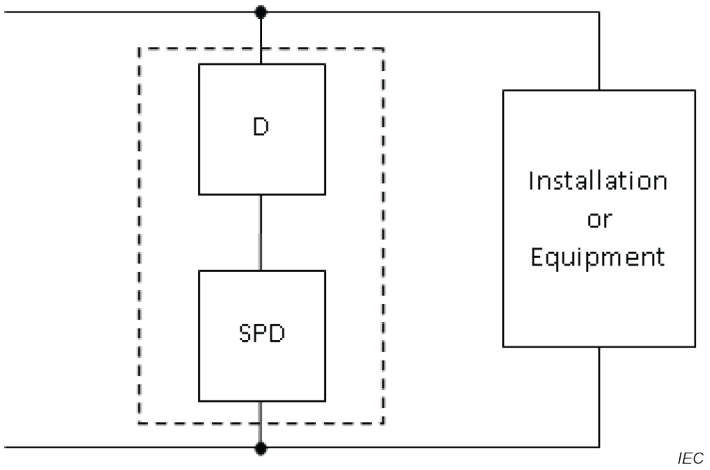
L'emplacement du déconnecteur et/ou des dispositifs de protection contre les surintensités utilisés pour assurer la protection des parafoudres a un impact sur la continuité de l'alimentation de l'installation et le niveau de protection effectif en tension à l'intérieur de l'installation. Deux dispositions du parafoudre et du déconnecteur et/ou du dispositif de protection contre les surintensités peuvent être utilisées.

Cas 1:

Le déconnecteur externe D (ou le dispositif de protection contre les surintensités – OCPD) peut être installé dans le circuit de parafoudre (voir la Figure 15). Dans ce cas, en présence d'une défaillance du parafoudre, le déconnecteur se déclenche, protégeant donc

le parafoudre et maintenant la continuité de l'alimentation (voir la Note 3), mais l'installation n'est pas protégée contre d'autres surtensions. Dans ce type de disposition, le niveau de protection effectif en tension ($U_{p/f}$) à l'intérieur de l'installation augmente en raison de la chute de tension du déconnecteur connecté en série avec le parafoudre. La valeur de $U_{p/f}$ augmente donc (voir 7.5.6 pour de plus amples informations sur U_p et $U_{p/f}$). Si le déconnecteur est intégré dans l'enveloppe du parafoudre en tant que dispositif autonome, le niveau de protection effectif en tension ($U_{p/f}$) ne change pas.

NOTE 3 En outre, la configuration de câblage entre le parafoudre et le DDR peut également avoir un impact sur la continuité de l'alimentation. .



Anglais	Français
SPD	Parafoudre
Installation or Equipment	Installation ou matériel

Légende:

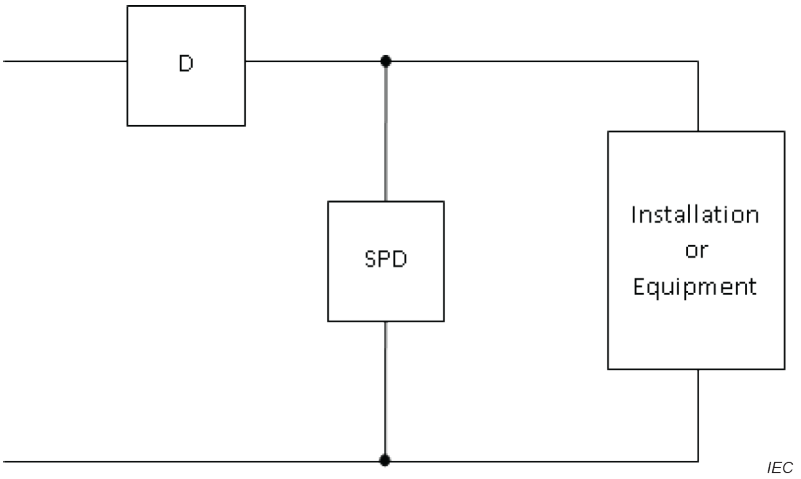
D: déconnecteur externe (ou dispositif de protection contre les surintensités – OCPD) déclaré par le fabricant du parafoudre pour la coordination avec le parafoudre

Jeu de parafoudre composé du parafoudre et de son déconnecteur

Figure 15 – Disposition d'un parafoudre et d'un déconnecteur externe pour la continuité de l'alimentation

Cas 2:

Le déconnecteur (ou le dispositif de protection contre les surintensités (OCPD)) peut être installé en série avec le circuit principal (voir la Figure 16). Dans ce cas, en présence d'une défaillance du parafoudre, le déconnecteur se déclenche et assure donc la protection du parafoudre, mais la continuité de l'alimentation n'est pas maintenue. Dans ce type de disposition, le niveau de protection effectif en tension ($U_{p/f}$) à l'intérieur de l'installation n'augmente pas.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre
Installation or Equipment	Installation ou matériel

Légende:

D: déconnecteur externe (ou dispositif de protection contre les surintensités – OCPD) déclaré par le fabricant du parafoudre pour la coordination avec le parafoudre

NOTE 4 Lorsque le déconnecteur en amont non dédié du parafoudre fonctionne, déterminer la cause exacte du fonctionnement. Si le parafoudre a atteint sa fin de vie, le retirer du réseau et le remplacer avant de remettre le réseau sous tension. La remise sous tension du circuit en laissant le parafoudre défaillant connecté peut provoquer une situation dangereuse.

Figure 16 – Disposition d'un parafoudre et d'un déconnecteur externe pour la continuité de la protection

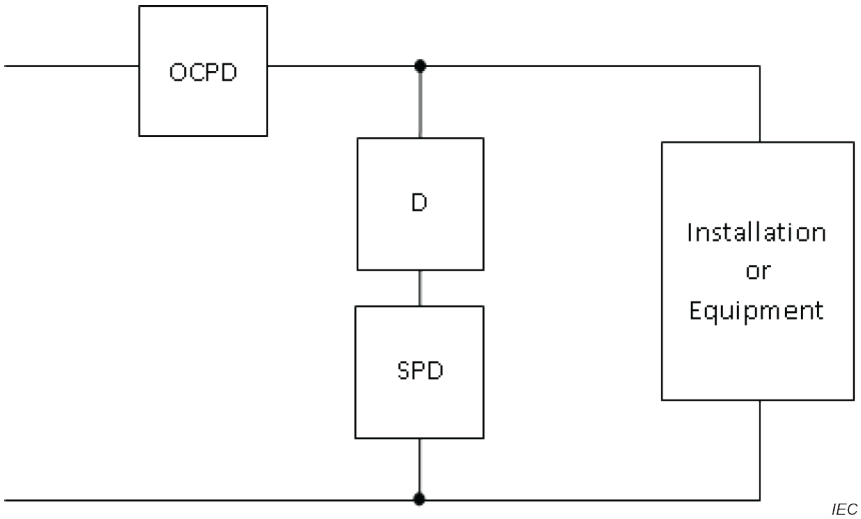
Si la continuité du service est nécessaire, cette disposition n'est pas utilisée, car si le parafoudre arrive en fin de vie, l'alimentation est rétablie uniquement après avoir remplacé le parafoudre.

Si un déconnecteur est également utilisé pour assurer la protection contre les surintensités de la ligne de puissance, il doit satisfaire aux exigences de l'IEC 60364-4-43 pour la protection contre les surintensités et à celles de l'IEC 60947-2, de l'IEC 60898-1 ou de la série IEC 60269.

d) Sélectivité du déconnecteur du parafoudre avec le dispositif de protection contre les surintensités de l'installation en cas de court-circuit

Si cela est exigé, la sélectivité entre le déconnecteur du parafoudre (D) avec le dispositif de protection contre les surintensités de l'installation doit être étudiée soigneusement en cas de court-circuit.

Comme le représente la Figure 17, en cas de court-circuit, la continuité de l'alimentation est assurée en fonction du courant de court-circuit au point d'installation, du choix de l'OCPD et du déconnecteur D. Pour la continuité de l'alimentation, il convient de choisir l'OCPD pour qu'il ne se déclenche pas tant que le déconnecteur D n'a pas éliminé le défaut. Si la continuité du service est exigée, il convient de choisir l'OCPD et le déconnecteur D selon la table de sélectivité fournie par le fabricant de l'OCPD.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre
Installation or Equipment	Installation ou matériel

Légende:

D: déconnecteur externe (ou dispositif de protection contre les surintensités – OCPD) déclaré par le fabricant du parafoudre pour la coordination avec le parafoudre

OCPD: dispositif de protection contre les surintensités dans l'installation électrique

Figure 17 – Sélectivité entre l'OCPD et le déconnecteur en cas de court-circuit

e) Coordination du déconnecteur externe du parafoudre et du dispositif de protection contre les surintensités de l'installation en cas de chocs

Si cela est exigé, il convient de prendre en considération la coordination entre l'OCPD et le déconnecteur en cas de chocs. En cas de choc, la norme de produit du parafoudre (IEC 61643-11) assure que le déconnecteur D résiste aux chocs jusqu'à I_n pour les parafoudres soumis à l'essai selon la classe II et jusqu'à I_{imp} pour les parafoudres soumis à l'essai selon la classe I. Toutefois, il convient également de choisir l'OCPD pour résister à ces chocs. L'Annexe N de la présente norme donne des informations relatives au choix des OCPD, en fonction de la tenue aux chocs, afin de déterminer un OCPD qui ne se déclenche pas en cas de choc.

NOTE Dans certains pays, un parafoudre soumis à l'essai selon une classe d'essai n (n = I, II ou III) est appelé parafoudre de type n (n = 1, 2 ou 3 respectivement).

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que pour éviter une situation incontrôlée en cas de choc, il est nécessaire de bien choisir l'OCPD conformément à l'alinéa ci-dessus. Une mesure supplémentaire appropriée consiste alors à installer le parafoudre en tête de l'OCPD principal de l'installation (si les règles d'installation nationales ou d'autres règlements locaux le permettent). Dans cette situation, le déconnecteur D est nécessaire pour assurer la protection du parafoudre. Si aucun moyen d'isolation n'est présent sur la ligne en amont du point d'installation du parafoudre, le déconnecteur D doit également présenter des capacités d'isolement (voir l'IEC 60664-1) ou être associé à un dispositif de manœuvre d'isolement en amont.

7.5.3 Distance de protection

Pour déterminer l'emplacement du parafoudre et l'endroit où il procure une protection suffisante (à l'entrée, à proximité du matériel, etc.), il est nécessaire de connaître la distance de protection, c'est-à-dire la distance acceptable entre le parafoudre et le matériel à protéger.

Cette distance de protection dépend des caractéristiques du parafoudre (U_p, etc.), de son installation dans la structure (longueur des câbles, etc.), des caractéristiques du réseau (type et longueur des conducteurs, etc.) et des caractéristiques du matériel (tenue à la surtension, immunité, etc.). Pour plus d'explications, voir 7.3 et 7.4 qui traitent des phénomènes impliqués.

NOTE Le concepteur des zones de protection est informé de la distance de protection des parafoudres par rapport au matériel à protéger.

7.5.4 Durée de vie prévue

La durée de vie prévue d'un parafoudre dépend principalement de la probabilité d'apparition de chocs dépassant la capacité de décharge maximale du parafoudre. En pratique, le parafoudre peut durer plus ou moins longtemps en fonction de la fréquence réelle d'apparition.

Par exemple, si un parafoudre, avec une valeur de courant de choc I_{imp} donnée, préalablement déterminée par une analyse du risque appropriée, est exposé à un courant de choc exceptionnel dépassant cette valeur I_{imp}, le parafoudre est susceptible de faire l'objet d'une défaillance. Ce cas extrême indique qu'une durée de vie prévue est uniquement une valeur statistique qui ne peut jamais être une garantie de la durée de vie réelle.

La seule méthode possible est de prendre en considération les durées de vie (présumées) prévues. Lorsqu'un courant de choc exceptionnel se produit, un parafoudre ayant une valeur assignée de I_{imp} inférieure à ce courant de choc est détruit, même si cet événement a lieu quelques secondes après l'installation. Dans un tel cas, il est sans importance que la valeur de I_{imp} soit dix fois inférieure ou seulement deux fois inférieure à ce courant de choc exceptionnel. Cependant, pour une application donnée, la durée de vie prévue d'un parafoudre avec une valeur de I_{imp} élevée spécifiée est toujours supérieure à celle d'un parafoudre similaire avec une valeur de I_{imp} inférieure, tant que les limites de la tenue du parafoudre ne sont pas dépassées.

Il est nécessaire de choisir un parafoudre qui tienne compte des chocs attendus et de la coordination nécessaire avec d'autres parafoudres et qui ne cause pas de danger (un incendie ou un choc électrique, par exemple) en cas de défaillance.

La coordination entre le parafoudre et un dispositif de protection contre les surintensités en amont est également nécessaire si des perturbations ou une coupure de l'alimentation veulent être évitées.

7.5.5 Interaction entre les parafoudres et d'autres dispositifs

7.5.5.1 Généralités

Voir la série IEC 60364 qui donne des informations sur ce sujet.

7.5.5.2 Conditions normales

Le courant résiduel (I_{PE}) ne doit pas engendrer de dangers pour la sécurité des personnes (contact indirect, etc.) ni de perturbations pour d'autres matériels (par exemple, DDR).

NOTE 1 Il convient que le courant résiduel (I_{PE}) soit inférieur au tiers du courant résiduel assigné ($< I_{\Delta n}/3$) dans le cas des DDR. Il est préférable de tenir compte des effets cumulés des différents parafoudres et d'autres dispositifs.

NOTE 2 Si le parafoudre est situé en aval d'un DDR, d'un fusible ou d'un disjoncteur, il n'est pas en mesure de les protéger contre tout déclenchement indésirable, tout fonctionnement non prévu ou dommages dus à des chocs.

7.5.5.3 Coordination de choc entre un parafoudre et un DDR ou des dispositifs de protection contre les surintensités tels que des fusibles ou des disjoncteurs

Une capacité de tenue définie des dispositifs de protection contre les surintensités et des dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (DDR) utilisés dans les réseaux n'est pas déterminée sauf pour les DDR de type S temporisés qui, selon leurs propres normes (IEC 61008-1 et IEC 61009-1), doivent être capables de résister à 3 kA 8/20 sans déclenchement.

Lors de la coordination des parafoudres avec un dispositif de protection contre les surintensités ou un DDR, il est recommandé que, pour le courant nominal de décharge, I_n, et/ou le courant de choc I_{imp}, ce dispositif de protection contre les surintensités ou ce DDR ne doit pas fonctionner.

Cependant, pour des courants supérieurs à I_n et/ou I_{imp}, il est généralement admis de laisser le dispositif de protection contre les surintensités fonctionner. Dans le cas d'un dispositif de protection contre les surintensités réarmable, tel qu'un disjoncteur, il convient qu'il ne soit pas endommagé par le choc.

Dans ce cas, en raison du temps de réponse de tels dispositifs de protection contre les surintensités, le choc complet s'écoule totalement dans le parafoudre, même si le dispositif de protection contre les surintensités fonctionne. Ainsi, le parafoudre doit avoir une énergie admissible suffisante. Il convient que le fonctionnement du DDR ou du dispositif de protection contre les surintensités dû à ce phénomène ne soit pas considéré comme une défaillance du parafoudre, étant donné que l'installation est toujours protégée. Il convient d'utiliser des configurations particulières ou des dispositifs de protection contre les surintensités si une coupure de l'alimentation n'est pas acceptable par l'utilisateur.

NOTE 1 Les parafoudres sont soumis à l'essai avec leurs déconnecteurs selon l'IEC 61643-11 et d'autres documents. Toutefois, il est à noter qu'il existe souvent d'autres dispositifs de protection contre les surintensités en amont du parafoudre et qui peuvent compliquer la coordination de la valeur assignée d'un courant de choc du parafoudre avec ces déconnecteurs (voir l'Annexe N).

NOTE 2 En cas d'exposition à un courant élevé (en présence de systèmes de protection contre la foudre ou de lignes aériennes, par exemple), le fonctionnement du dispositif de protection contre les surintensités est acceptable en dessous de I_n et/ou I_{imp} si I_n et/ou I_{imp} est supérieur à la tenue réelle du dispositif de protection contre les surintensités utilisé dans l'installation. Dans ce cas, le choix du courant nominal de décharge du parafoudre est fondé seulement sur la capacité aux chocs.

NOTE 3 Si l'amorçage d'un parafoudre à coupure de tension se produit, la qualité du branchement électrique peut être réduite. Le courant de suite entraîne généralement le fonctionnement d'un dispositif de protection contre les surintensités, sauf si le parafoudre à coupure de tension est à coupure automatique. La coordination avec les dispositifs de protection contre les surintensités en amont du parafoudre est alors nécessaire.

NOTE 4 Pour la protection contre les contacts indirects, l'IEC 60364-5-53 s'applique.

7.5.6 Choix du niveau de protection en tension U_p

La tenue aux chocs du matériel (ou l'immunité aux chocs du matériel crucial) à protéger et la tension nominale du réseau doivent être prises en considération lors du choix de la valeur préférentielle du niveau de protection en tension du parafoudre. Plus cette valeur est faible, meilleure est la protection. Cela est limité lorsque U_c et U_T, la dégradation du parafoudre et la coordination avec les autres parafoudres sont prises en considération. Voir également 7.5.2 et 7.5.3.

Le niveau de protection en tension pour les parafoudres à limitation de tension correspond à une valeur spécifiée I_{imp} pour les essais de classe I et de I_n pour les essais de classe II. Le choix du niveau de protection en tension pour les essais de classe III est défini par l'essai de générateur d'ondes combinées (U_{oc}).

De plus, pour les parafoudres à coupure de tension ou les parafoudres de type combiné, le niveau de protection en tension correspond aussi à la tension d'amorçage.

7.5.7 Coordination entre le parafoudre choisi et les autres parafoudres

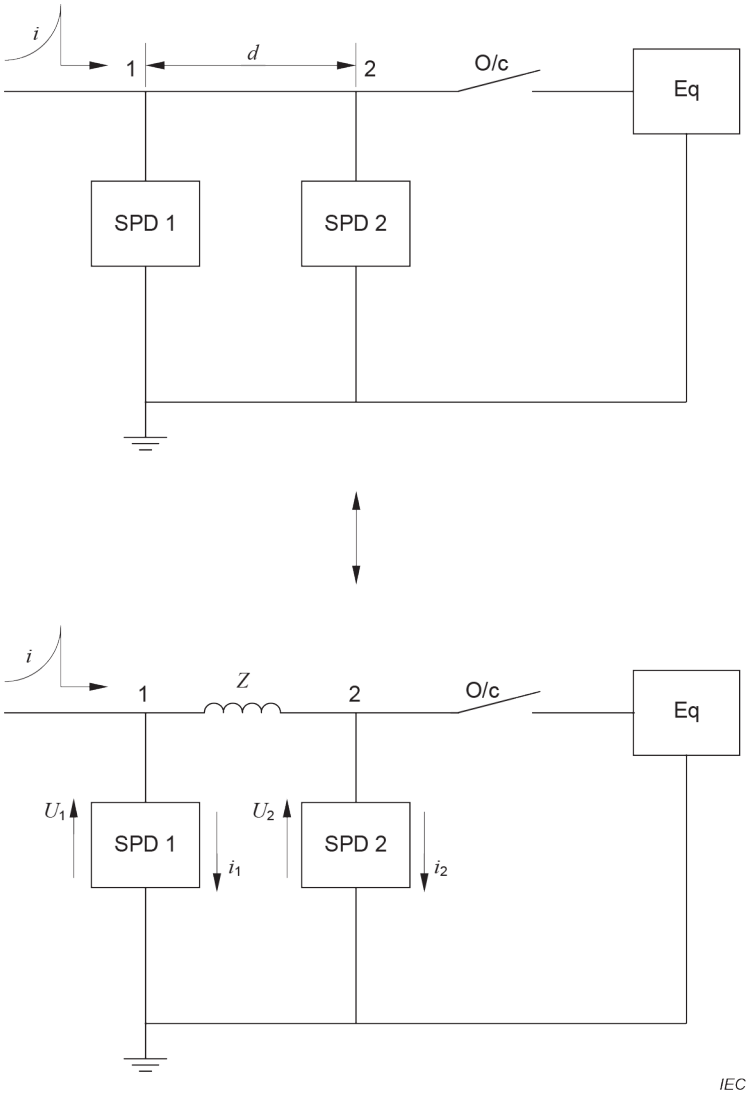
7.5.7.1 Généralités

Comme déjà vu, certaines applications peuvent exiger l'utilisation de deux parafoudres (ou plus), afin de réduire à une valeur acceptable (niveau de protection en tension plus faible) la contrainte électrique exercée sur le matériel à protéger, et pour réduire le courant transitoire à l'intérieur de la structure.

Lors de la coordination d'un grand nombre de parafoudres, il est nécessaire d'examiner deux aspects (voir l'Annexe F):

– La coordination énergétique: obtenir une répartition acceptable de la contrainte entre les deux parafoudres en fonction de leur énergie admissible pour que les parafoudres ne soient pas détruits par une quantité excessive d'énergie.
– La coordination du niveau de protection: vérifier que le niveau de protection en tension des parafoudres à limitation de tension en aval n'est pas dépassé et que la tension résiduelle d'un parafoudre en aval peut être réduite en dessous de son U_p en faisant en sorte qu'un courant plus faible passe par ce parafoudre à limitation de tension en aval.

Un exemple est représenté à la Figure 18.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

Eq Matériel à protéger en fonctionnement normal

O/c Circuit ouvert (matériel déconnecté de l'alimentation)

i Choc d'entrée

Figure 18 – Utilisation type de deux parafoudres – Schéma électrique

L'impédance Z entre les deux parafoudres (généralement une inductance) peut être physique (composant spécifique inséré dans la ligne pour faciliter la répartition de l'énergie entre les deux parafoudres) ou peut représenter l'inductance d'une longueur de câble entre les deux parafoudres (généralement, 1 μH/m). Lorsque Z représente une impédance physique, l'inductance de ligne peut être ignorée à cause de sa faible valeur par rapport à Z. Z est alors représentée de manière schématique, comme sur la Figure 18 dans les deux cas.

NOTE 1 La Figure 18 représente le cas le plus défavorable lorsque le matériel n'est pas raccordé. Aucun courant ne circule dans ce matériel, et les deux parafoudres assument la totalité de la contrainte. Une considération complémentaire est accordée si le choc se produit entre les bornes du parafoudre et la charge.

NOTE 2 Dans cet exemple, les câbles de raccordement sont ignorés. En pratique, des cas peuvent avoir une influence sur la répartition de la contrainte entre les deux parafoudres.

NOTE 3 Si les conducteurs d'aller et de retour sont étroitement couplés, la boucle d'induction est réduite et l'inductance spécifique est inférieure à 1 μH/m. Elle peut alors descendre jusqu'à 0,5 μH/m.

NOTE 4 La valeur de 1 μH/m combine déjà l'inductance des conducteurs d'aller et de retour.

7.5.7.2 Problèmes de coordination

Le problème de coordination peut être, en première approche, résumé par la question suivante: dans le cas où un choc d'entrée i est généré, quelle partie du courant i va circuler à travers le parafoudre 1 (i_1) et quelle partie va circuler à travers le parafoudre 2 (i_2). De plus, les deux parafoudres sont-ils capables de résister à ces contraintes?

Si la distance entre les deux parafoudres est faible par rapport à la durée du choc, l'effet d'inductance est négligeable et le parafoudre 2 est susceptible d'être soumis à de fortes contraintes.

Une bonne coordination est obtenue en choisissant des parafoudres appropriés qui réduisent la valeur de i_2 à un niveau acceptable, en tenant compte de l'impédance entre les deux parafoudres. Cette action réduit aussi, bien sûr, la tension résiduelle du deuxième parafoudre à la valeur souhaitée.

Ce type de coordination est exigé pour éviter un surdimensionnement du parafoudre 2 et quelques perturbations électromagnétiques pouvant poser des problèmes dans le bâtiment si i_2 était trop élevé.

Cependant, traiter le problème de la coordination uniquement en ce qui concerne les courants n'est pas suffisant. Il est nécessaire de traiter ce problème en ce qui concerne l'énergie.

Pour être sûr que les deux parafoudres sont bien coordonnés, il est nécessaire de satisfaire à l'exigence suivante, qui est appelée critère d'énergie:

La coordination de l'énergie est obtenue si, pour toutes les valeurs de courant de choc comprises entre 0 et I_{n1}, I_{imp1} et I_{max1} (si déclarées), la valeur d'énergie dissipée à travers le parafoudre 2 est inférieure ou égale à son énergie maximale admissible (E_{max2}).

Il convient également de vérifier la tension résiduelle au niveau du parafoudre 2.

Voir l'Annexe F et l'Annexe J pour de plus amples informations.

7.5.7.3 Procédures de coordination

L'étude de la coordination peut être complexe. Si tous les parafoudres sont fournis par le même fabricant, il est plus facile de demander au fabricant, pour une bonne coordination, les exigences éventuelles concernant la distance ou l'impédance entre les parafoudres sélectionnés.

Sinon, il est nécessaire de procéder à une étude de coordination. Trois possibilités sont offertes pour la coordination de l'énergie et la coordination de protection en tension:

- Effectuer un essai en appliquant un courant de choc de zéro à un courant correspondant à E_{max1}, à la fois à onde longue et onde courte, en tenant compte du fait que la tolérance sur les composants peut avoir une influence significative sur le résultat (voir l'Annexe J).
- Effectuer une simulation tenant compte des particularités concrètes de l'installation, en ayant présent à l'esprit la nécessité d'avoir des données exactes sur les caractéristiques du parafoudre.

- Effectuer une étude analytique en comparant la courbe *U/I* des deux parafoudres, lorsqu'ils sont de type à limitation de tension.

Si seule la coordination de l'énergie est concernée, une autre méthode dite d'énergie traversante (LTE) peut être utilisée.

L'Annexe F et l'Annexe J donnent des explications supplémentaires sur les phénomènes, les études analytiques et la méthode LTE.

7.6 Caractéristiques des dispositifs auxiliaires

7.6.1 Dispositifs de déconnexion

Il existe trois fonctions de déconnexion basiques:

- la protection thermique
- la protection contre les courts-circuits
- la protection contre les contacts indirects

NOTE Pour les parafoudres à deux ports et les parafoudres à un port à bornes d'entrée et de sortie séparées, une autre fonction s'avère parfois nécessaire: la protection contre les surintensités.

Ces fonctions doivent être remplies par un seul déconnecteur, mais il peut également être nécessaire d'utiliser jusqu'à trois déconnecteurs.

Ces déconnecteurs peuvent être incorporés à l'intérieur du parafoudre ou lui être associés. Certaines fonctions du déconnecteur peuvent être réalisées par le dispositif de protection contre les surintensités du réseau et peuvent ensuite être situées à une certaine distance du parafoudre.

Le fait que les déconnecteurs dédiés soient dans la branche du parafoudre ou en ligne dans l'installation dépend de la coordination avec d'autres dispositifs de protection contre les surintensités et de l'équilibre entre la nécessité de continuité de l'alimentation par rapport à la continuité de la protection (voir Annexe J, Article J.2).

D'autres fonctions du déconnecteur peuvent être nécessaires, par exemple dans le cas de surtensions temporaires très élevées.

Le déconnecteur thermique est, dans la plupart des cas, inclus dans le parafoudre en cas de besoin.

Le déconnecteur de surintensité est soit inclus dans le parafoudre soit placé en amont du parafoudre. Un déconnecteur de surintensité peut être un fusible, un disjoncteur ou un dispositif spécialement développé pour cette application. Parfois, il peut s'agir d'un DD (DDR avec protection de surintensité, voir l'IEC 61009-1).

Le déconnecteur de contact indirect est, dans la plupart des cas, fourni par l'installation (en installant le parafoudre en aval d'un DDR, par exemple). Si l'installation n'assure pas une protection suffisante, il convient que le fabricant du parafoudre propose des mesures supplémentaires.

7.6.2 Compteurs de chocs et d'événements

Les compteurs de chocs donnent généralement des informations sur le nombre de chocs détectés et, quelquefois, leurs amplitudes et formes d'ondes. Les compteurs de chocs peuvent être utilisés pour déterminer la densité de foudre de l'emplacement ou pour décider d'une politique de remplacement. Quelques compteurs perfectionnés donnent des indications statistiques comme la fréquence d'apparition, l'heure et la date, l'énergie impliquée, etc. Il convient que les compteurs de chocs soient conformes à l'IEC 62561-6.

Les compteurs d'événements qui font partie intégrante du jeu de parafoudre ne donnent en général que des informations sur le nombre de surtensions transitoires détectées. Dans ce cas, la conformité à l'IEC 62561-6 n'est pas exigée.

NOTE Les utilisateurs sont informés du fait que si le niveau de seuil est trop bas, il y a un risque que les informations données par un tel dispositif puissent être erronées.

7.6.3 Indicateur d'état

Si un déconnecteur est fourni (qu'il soit intégré ou externe au parafoudre), un indicateur d'état est obligatoire. Ce dispositif est associé au fonctionnement du déconnecteur pour informer l'utilisateur que le parafoudre est opérationnel ou ne fonctionne plus selon sa conception. Il peut être utilisé pour donner une indication de remplacement du parafoudre. Certains indicateurs d'état sont intégrés au parafoudre et d'autres sont à distance. Ils peuvent transmettre des alarmes électriques, visuelles ou sonores.

Des étapes intermédiaires de l'indicateur d'état ou d'autres fonctions similaires peuvent également être fournies (pour la maintenance préventive, par exemple) avant que le parafoudre ait atteint sa fin de vie.

Annexe A
(informative)

Informations types exigées avant de choisir un parafoudre et explication des procédures d'essai

A.1 Informations types exigées avant de choisir un parafoudre

A.1.1 Données système

- U_0,
- fluctuation de tension maximale du réseau
- fréquence
- Surtensions temporaires U_{TOV}
- niveau de tension assignée de tenue aux chocs (ou immunité aux chocs du matériel crucial) à protéger

NOTE L'utilisateur est informé du fait que la force de la tenue à l'isolation peut varier avec le temps de montée et la durée de la surtension. Par exemple, il est possible que les dispositifs qui tiennent les chocs à 4 kV 1,2/50 ne tiennent que 1 kV pour les ondes plus longues.

- courant de court-circuit du réseau à l'emplacement du parafoudre
- type de schéma de distribution (IT, TT, TN, etc.)

A.1.2 Considérations sur le fonctionnement du parafoudre

a) Connexion

phase-terre

neutre-terre

phase-neutre

entre phases

b) Type de matériel à protéger

transformateurs

machines électriques

dispositifs comprenant de l'électronique

autres matériels

câbles (type et longueur), etc.

c) Longueur maximale du conducteur entre le parafoudre et le matériel à protéger (distance de protection)

NOTE Cette distance est aussi courte que possible.

d) Longueur maximale (longueur de câble) des conducteurs depuis les bornes de parafoudre en tenant compte des connexions entre le parafoudre et tous les conducteurs (phase, neutre, terre).

A.1.3 Caractéristiques du parafoudre

- Tension maximale de régime permanent U_c (une valeur pour chaque mode de protection)
- Type de réseau BT (schéma TN, schéma TT, schéma IT) incluant les tensions nominales en courant alternatif du réseau et la fluctuation de tension maximale admise pour laquelle le parafoudre est conçu.
- Connexion prévue (phase-neutre, phase-terre, neutre-terre, entre phases)
- La classification des essais et les paramètres de décharge doivent être placés les uns à côté des autres pour chaque mode de protection déclaré par le fabricant:

– Pour la classe d'essai I:

  soit "classe d'essai I" et "I_{Imp}" et la valeur en kA et/ou "T1" (T1 dans un carré) et "I_{Imp}" et la valeur en kA

– Pour la classe d'essai II:

  soit "classe d'essai II" et "I_n" et la valeur en kA et/ou "T2" (T2 dans un carré) et "I_n" et la valeur en kA

– Pour la classe d'essai III:

  soit "classe d'essai III" et "U_{oc}" et la valeur en kV et/ou "T3" (T3 dans un carré) et "U_{oc}" et la valeur en kV.

- I_{max} (facultatif).
- Courant de décharge total I_{Total} pour les parafoudres multimodes (si déclaré par le fabricant) et la classe d'essai correspondante
- Niveau de protection en tension U_P (une valeur pour chaque mode de protection)

NOTE Un parafoudre peut être classé dans plusieurs classes (classe d'essai I (T1) et classe d'essai II (T2), par exemple). Dans ce cas, le fabricant ne déclare qu'un seul niveau de protection, et le niveau de protection le plus élevé doit apparaître sur le marquage.

- Courant de charge assigné I_L pour les parafoudres à deux ports et les parafoudres à un port avec bornes d'entrée et de sortie séparées.
- Capacité de tenue aux chocs aval pour les parafoudres à deux ports (facultative)
- Nombre de ports
- Courant de court-circuit assigné I_{SCCR}
- Valeur assignée d'un courant de choc de transition pour un parafoudre de type à court-circuit I_{trans}
- Caractéristiques assignées de surtension temporaire U_T et/ou type(s) de réseau(x) pour lesquels le parafoudre est conçu
- Chute de tension pour les parafoudres à deux ports
- Comportement de fin de vie (si déclaré)
- Courant résiduel I_{PE}
- Valeur assignée d'interruption du courant de suite I_{fi} (sauf dans le cas de parafoudres de type à limitation de tension)

A.1.4 Matériels supplémentaires et fixations

- Instructions d'installation
- Méthode de montage
- Emplacement de l'installation du parafoudre (extérieur, intérieur, etc.)
- Orientation pour l'installation normale, si significative
- Distance minimale par rapport à une surface conductrice mise à la terre à laquelle le parafoudre peut être installé
- Degré de protection procuré par une enveloppe (code IP)
- Plage de températures et d'humidité
- Caractéristiques assignées et caractéristiques du ou des déconnecteurs externes, si cela est exigé.
- Informations relatives aux parties remplaçables (indicateurs, fusibles, etc. si applicables)
- Sections des fils de connexion

A.2 Explication des procédures d'essai utilisées dans l'IEC 61643-11

A.2.1 Principes généraux

Si la conformité à l'IEC 61643-11 est exigée, des échantillons représentatifs d'un parafoudre doivent réussir toutes les séquences d'essais exigées. Une séquence d'essai est une suite d'essais qu'un ensemble de trois échantillons doit réussir. Selon la classification du parafoudre, au maximum huit séquences d'essais peuvent être nécessaires pour satisfaire à l'ensemble des essais de type.

Chaque essai est détaillé dans la norme de produit IEC 61643-11. Les paragraphes suivants récapitulent les essais et critères de réussite, mais ne peuvent pas remplacer l'utilisation de l'IEC 61643-11. En cas de doute, l'IEC 61643-11 prévaut.

A.2.2 Séquences d'essais et description des essais

A.2.2.1 Généralités

Dans la description de la séquence d'essai ci-dessous, les essais à réaliser sont les mêmes que ceux de la norme de produit, et les numéros d'article entre parenthèses ci-dessous font référence à des paragraphes spécifiques de l'IEC 61643-11:2011.

A.2.2.2 Séquence d'essai 1

A.2.2.2.1 Identification et marquage (7.1.1/7.1.2/8.2)

Le parafoudre est accompagné des caractéristiques ou informations demandées qui peuvent être soit placées sur le produit lui-même, soit indiquées dans la documentation d'installation. Si les informations sont placées sur le produit lui-même, un essai de vérification de la durabilité du marquage est réalisé.

A.2.2.2.2 Montage (7.3.1)

Les moyens de montage du parafoudre et le codage/verrouillage mécanique des parties du parafoudre permettant d'éviter l'échange éventuel sont vérifiés par examen visuel.

A.2.2.2.3 Vis, parties conductrices et connexions (7.3.2/7.3.3/8.4.2)

La fiabilité des vis, parties conductrices et connexions est vérifiée par examen visuel et une série d'essais.

Les vis de connexion sont vissées sur les conducteurs selon le couple spécifié et dévissées plusieurs fois. Elles ne doivent pas se désolidariser ni ne doivent endommager le produit (y compris les enveloppes, les capots et la connexion).

Un essai de traction consistant à appliquer la force de traction sur le câble connecté est réalisé sur chaque connexion. Des réglages particuliers sont demandés (force de traction) en fonction des caractéristiques de connexion (section de câble admissible max et min, par exemple) et du type de connexion (vis, sans vis, à perçage d'isolant, bornes plates à connexion rapide ou conducteurs volants par queue de cochon, par exemple). À la fin de cet essai, le ou les conducteurs ne doivent pas se déplacer dans le produit.

A.2.2.2.4 Essai de protection contre les contacts directs (7.2.1/8.3.1)

Il est vérifié que les parties sous tension du parafoudre ne sont pas accessibles. Les parafoudres doivent être conçus de sorte que les parties sous tension ne puissent pas être touchées par un doigt d'essai (conformément à l'IEC 60529) dans toutes les positions possibles lorsque le parafoudre est installé.

A.2.2.2.5 Environnement, code IP (7.4.1/8.5.1)

L'enveloppe du parafoudre pour la protection contre la pénétration d'objets solides et d'eau est soumise à l'essai selon le code IP déclaré (voir l'IEC 60529).

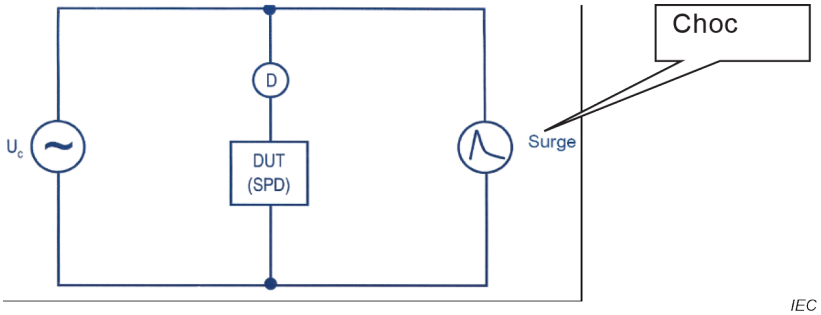
A.2.2.2.6 Courant résiduel (7.2.2/8.3.2)

Le courant résiduel mesuré par rapport à la protection de terre lorsque le parafoudre est alimenté à sa tension nominale, y compris les éventuelles variations acceptées, est comparé au courant résiduel déclaré I_{PE}.

A.2.2.2.7 Essai de fonctionnement en service (7.2.4/8.3.4)

Cet essai est réalisé en deux parties: "Essai de fonctionnement en service pour les classes d'essai I, II et III" (8.3.4.2 / 8.3.4.3/ 8.3.4.5)" et "Essai de fonctionnement en service supplémentaire pour la classe d'essai I (8.3.4.4)".

Le montage d'essai est représenté à la Figure A.1.



Légende:

U_C: source à fréquence industrielle conformément à l'IEC 61643-11

D: déconnecteurs du parafoudre, comme cela est spécifié par le fabricant

DUT: Dispositif en essai (SPD)

Choc: courant 8/20 pour essai de fonctionnement en service de classe I et II

Courant de choc de décharge I_{imp} pour essai de régime de fonctionnement supplémentaire

Générateur d'ondes combinées pour essai de régime de fonctionnement classe III

Figure A.1 – Montage d'essai pour essai de fonctionnement en service

Les conditions de service sont simulées par l'application de:

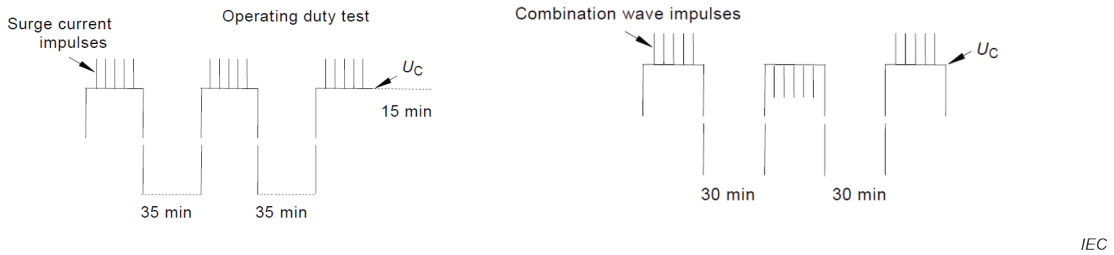
– 15 chocs sur des parafoudres d'essai de classes I (I_{imp}), II (I_n) et III (U_{oc}) et
– 5 chocs supplémentaires à I_{imp} fois: 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 et 1 pour les parafoudres de classe d'essai I

Les 15 chocs d'essai pour les parafoudres de classe I et de classe II sont générés par un générateur de forme d'onde 8/20 capable de délivrer, dans l'échantillon d'essai, un courant de crête équivalent à la valeur déclarée de I_{imp} ou de I_n. Les 15 chocs d'essai pour le parafoudre d'essai de classe III sont générés par un générateur d'ondes combinées (impédance interne de 2 Ohms) dont la tension en circuit ouvert est égale à la valeur déclarée de U_{oc}.

Les 15 chocs sont appliqués par 3 ensembles de 5 chocs toutes les 50 s à 60 s, avec 30 min à 35 min entre les ensembles, voir la Figure A.2.

Pour les 15 chocs de l'essai de classe I et de classe II, chaque choc est positif et est synchronisé sur la fréquence industrielle commençant selon un angle de synchronisation de 0° augmenté par incréments de 30°.

Pour les 15 chocs de l'essai de classe III, les premier et dernier groupes de chocs sont positifs, le deuxième groupe étant négatif. Chaque choc est synchronisé sur la fréquence industrielle à la valeur de crête positive pour les premier et dernier groupes, et à la valeur de crête négative pour le deuxième groupe.



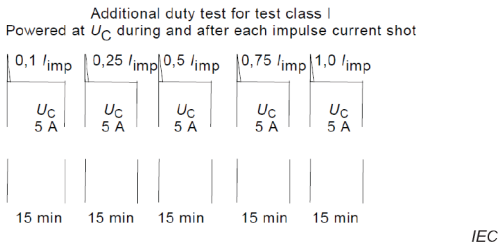
Essai de classe I et de classe II **Essai de classe III**

Anglais	Français
Surge current impulses	Courant de choc
Operating duty test	Essai de fonctionnement en service
Combination wave impulses	Chocs à ondes combinées

Figure A.2 – Chronogramme d'essai de fonctionnement pour les 15 premiers chocs

Pour les chocs supplémentaires à appliquer aux parafoudres d'essai de classe I, le générateur de courant de choc est réglé pour générer dans le parafoudre un courant de 0,1 I_{imp}, 0,25 I_{imp}, 0,5 I_{imp}, 0,75 I_{imp} et I_{imp} (afin de déterminer un éventuel point aveugle), voir la Figure A.3. Les chocs sont appliqués à la valeur de crête positive. Un refroidissement est respecté entre chaque choc.

NOTE Un point aveugle correspond à une valeur de courant plus faible que *I*imp pouvant créer une défaillance du parafoudre alors que le parafoudre fonctionne correctement à I_{imp}. Un exemple typique est celui d'une varistance à oxyde métallique (MOV) en parallèle avec un éclateur. Si l'éclateur ne se déclenche pas, la charge totale est appliquée sur la varistance. Cette varistance peut ne pas être capable de résister à la même contrainte que l'éclateur et peut subir une défaillance.



Anglais	Français
Additional duty test for test class I	Essai de fonctionnement en service supplémentaire pour la classe d'essai I
Powered at Uc during and after each impulse current shot	Alimenté à Uc pendant et après chaque courant de choc

Figure A.3 – Chronogramme d'essai de fonctionnement pour 5 chocs supplémentaires

Lorsque les 15 chocs sont appliqués, le parafoudre doit être mis sous tension à U_c. La caractéristique de la source d'alimentation en courant alternatif doit être sélectionnée en fonction du comportement du parafoudre à générer ou pas un courant de suite (en présence de composants à coupure de tension, par exemple). Un essai pour déterminer la présence d'un composant de commutation (crowbar) et l'amplitude du courant de suite doit être réalisé pour cette raison:

– Pas de courant de suite ou courant de suite inférieur à 500 A: L'impédance ou la capacité de la source d'alimentation en courant alternatif doit être telle que, lorsque le courant de suite circule, la valeur de crête de la tension à fréquence industrielle ne soit pas inférieure de plus de 10 % à la valeur de crête de U_c.
– Le courant de suite est supérieur à 500 A: le courant de court-circuit présumé de la source de courant alternatif est égal à la valeur assignée d'interruption du courant de suite I_{fi} déclarée par le fabricant ou à 500 A, selon la valeur la plus élevée.

Le courant de court-circuit présumé doit être au moins de 100 A pour les parafoudres raccordés entre le neutre (N) et la terre de protection (PE) dans un schéma TN et/ou TT.

Lorsque les 5 chocs supplémentaires sont appliqués, le parafoudre est mis sous tension à U_c par une source en courant alternatif capable de délivrer au moins 5 A.

Après cet essai, deux derniers chocs sont appliqués pour vérifier si la tension résiduelle est toujours inférieure au niveau de protection déclaré. Le parafoudre doit rester opérationnel sans aucun dommage visible.

A.2.2.2.8 Stabilité thermique (7.2.5.2/8.3.5.2)

Les parafoudres sont protégés contre les surchauffes provoquées par une dégradation ou une surcharge. Cet essai est réalisé uniquement sur des parafoudres à limitation de tension et sur des parafoudres de type combiné comportant des composants à limitation de tension et des composants à coupure de tension en série. Dans ce cas, il est nécessaire de court-circuiter les composants à coupure de tension. Le parafoudre est soumis à des contraintes avec une tension en courant alternatif suffisamment élevée pour obliger le courant à circuler. Ce courant est surveillé et défini sur une valeur de départ de 2 mA. Le courant est augmenté à l'issue de chaque période de stabilité thermique par incréments de 2 mA. La température extérieure du parafoudre en essai est surveillée.

L'essai est arrêté lorsque le courant est interrompu par un déconnecteur (interne ou externe).

Si la tension appliquée au parafoudre devient inférieure à U_c, une alimentation définie sur U_{ref} avec un courant de court-circuit substantiel est appliquée, ce qui peut déclencher le fonctionnement du déconnecteur externe.

Le parafoudre est contrôlé afin de vérifier son intégrité, son échauffement étant comparé, pendant et après l'essai, aux valeurs maximales (120 K pendant et 80 K après 5 min).

A.2.2.2.9 Distances dans l'air et lignes de fuite (7.3.4/8.4.3)

Les distances dans l'air et les lignes de fuite sont vérifiées et mesurées sur l'échantillon, puis comparées aux tableaux donnés dans l'IEC 61643-11. Les distances dans l'air indiquées dépendent de la tension de crête maximale mesurée pendant tous les essais de chocs réalisés sur le parafoudre. Les distances varient en fonction des parties analysées (par exemple, les exigences diffèrent pour les lignes de fuite entre les parties sous tension et les surfaces ou organes de fixation du parafoudre).

Les lignes de fuite varient en fonction de la tension nominale et de l'aptitude de la surface à isoler les parties conductrices (y compris les aspects liés à la pollution).

Les distances dans l'air sont définies pour une altitude donnée.

A.2.2.2.10 Essai de pression à la bille (7.4.2/8.5.3)

Le parafoudre est soumis à une pression de 20 N exercée par une bille de 2,5 mm de rayon pendant 1 h et à différentes températures (70 °C et 125 °C selon la fonction des parties de l'enveloppe). La déformation est mesurée et ne doit pas dépasser 2 mm.

A.2.2.2.11 Résistance à la chaleur normale et au feu (7.4.3/8.5.4)

Le parafoudre est soumis à une contrainte avec un fil incandescent dont la température est comprise entre 650 °C et 850 °C selon la fonction des parties de l'enveloppe. Le matériau ne doit pas brûler ou doit s'autoéteindre en moins de 30 s.

A.2.2.2.12 Résistance au cheminement (7.4.4/8.5.5)

Deux électrodes sont placées sur la surface du matériau isolant, à une distance de 4 mm et alimentées entre 100 V et 600 V en courant alternatif. Une solution est versée sur la surface d'essai, et l'essai est arrêté lorsque le courant augmente ou que le matériau se dégrade. L'indice de résistance peut alors être déterminé et comparé à la déclaration du fabricant.

A.2.2.3 Séquence d'essai 2

A.2.2.3.1 Niveau de protection en tension (7.2.3/8.3.3)

Cet essai est réalisé en trois parties: "Tension résiduelle (8.3.3.1)", "Tension d'amorçage sur le front d'onde (8.3.3.2)" et "Tension de limitation avec onde combinée (8.3.3.3)".

Pour les essais de classe I et de classe II, la tension résiduelle est mesurée à 0,1, 0,2, 0,5, 1,0 fois I_n ou I_{imp} pour les deux polarités à l'aide d'un générateur d'ondes combinées 8/20. De plus, pour un parafoudre se comportant comme un composant de commutation, cinq chocs de polarité négative et cinq chocs de polarité positive supplémentaires avec une forme d'onde 1,2/50 sont appliqués au parafoudre (un générateur de tension de choc 1,2/50 réglé sur une tension en circuit ouvert de 6 kV avec une impédance interne de 500 Ohms).

Pour l'essai de classe III, la tension résiduelle est mesurée lors de l'application des chocs générés par un générateur d'ondes combinées réglé sur 0,1, 0,2, 0,5 et 1,0 fois la valeur déclarée d'U_{OC}.

La tension résiduelle utilisée pour déterminer la tension de limitation mesurée est la tension la plus élevée mesurée à I_n, I_{imp} ou U_{OC}, en fonction de la classe d'essai du parafoudre.

La tension résiduelle doit être inférieure ou égale au niveau de protection en tension déclaré U_p.

Si I_{max} est déclaré, un choc 8/20 supplémentaire à I_{max} est appliqué au parafoudre, et la tension résiduelle est mesurée.

La valeur permettant de déterminer U_{max} est la tension résiduelle la plus élevée mesurée avec I_n, I_{max} (si déclaré) ou I_{imp}, en fonction de la classe d'essai du parafoudre.

A.2.2.3.2 Capacité de tenue aux chocs aval si déclarée par le fabricant (7.6.2.2/8.7.3)

Fondamentalement, l'essai de choc correspondant à l'essai de classe II ou de classe III est répété en aval des parafoudres à deux ports. À l'exception de la classe III, les chocs sont toujours positifs et sont synchronisés comme cela est indiqué en A.2.2.2.7 pour la classe II. Le parafoudre doit rester fonctionnel sans modification externe ou interne, la tension résiduelle restant inférieure au niveau de protection en tension déclaré.

A.2.2.3.3 Comportement vis-à-vis des courants de court-circuit aval des parafoudres à deux ports et des parafoudres à un port à bornes d'entrée/de sortie séparées (7.5.1.3/8.6.1.3)

Le parafoudre est connecté à une source à U_c avec, en premier lieu, un courant de court-circuit présumé défini sur I_{SCCR} , puis une valeur égale à 5 fois la caractéristique assignée maximale de la protection en amont déclarée. Les sorties sont court-circuitées. Le parafoudre doit être en mesure de résister sans être endommagé par les courants tant qu'il n'a pas été interrompu soit par lui-même soit par un déconnecteur interne ou externe.

A.2.2.4 Séquence d'essai 3

A.2.2.4.1 Résistance d'isolement (7.2.6/8.3.6)

Après avoir été exposée à l'humidité pendant 48 h, la résistance d'isolement entre toutes les parties conductrices accessibles est mesurée. Il est vérifié que la mesure de la résistance est supérieure aux valeurs minimales spécifiées dans la norme de produit.

A.2.2.4.2 Rigidité diélectrique (7.2.7/8.3.7)

Une source de haute tension en courant alternatif réglée à une tension d'essai en fonction de la tension de régime du parafoudre, est appliquée pendant 1 min entre toutes les parties conductrices accessibles. Pendant l'essai, aucun amorçage n'est admis. Pour les parafoudres en extérieur, cet essai est en outre réalisé dans des conditions humides (aspersion).

A.2.2.4.3 Isolation entre les circuits séparés des parafoudres à circuits isolés séparés (7.5.3/8.3.6, 8.3.7)

Les essais de résistance d'isolement et de rigidité diélectrique sont répétés entre le circuit auxiliaire interne et le circuit d'alimentation.

A.2.2.4.4 Résistance mécanique (7.3.5/8.4.4)

Les échantillons sont soumis à l’essai sous contrainte de choc appliquée par un poids fixé à un levier articulé lâché de différentes hauteurs. Cet essai peut être comparé à un essai au marteau, dans lequel le marteau frappe l'échantillon avec une force différente et en différents endroits (à l'avant, sur les côtés, à l'arrière, etc.). L'échantillon réussit l'essai si aucun dommage significatif ne peut être constaté.

A.2.2.4.5 Tenue en température (7.2.5/8.3.5.1)

Le parafoudre est exposé à une température de 80 °C pendant 24 h. Aucun dommage externe ou interne ne doit se produire. Le déconnecteur ne doit pas fonctionner. Chute de tension si déclarée par le fabricant (7.6.2.1/8.7.2)

La chute de tension (perte de tension entre l'entrée et la sortie du parafoudre) est mesurée lorsque le parafoudre est alimenté et que la charge est ajustée à une valeur donnant lieu au courant de charge maximal. Ce mesurage est comparé à la valeur déclarée.

A.2.2.5 Séquence d'essai 4

A.2.2.5.1 Résistance à la chaleur (7.4.2/8.5.2)

Après avoir été placé dans une enceinte pendant 1 h à une température de 100 °C, le parafoudre ne doit pas présenter de dégradation visible importante ni de dégradation à l'origine de problèmes de fonctionnalité, même si le fonctionnement d'un déconnecteur interne est admis.

A.2.2.5.2 Essais de surtension temporaire (7.2.8/8.3.8)

Cet essai est réalisé en deux parties: Surtensions temporaires provoquées par des défauts ou des perturbations dans le réseau à basse tension: (7.2.8.1 / 8.3.8.1)", "TOV dues à des défauts du réseau haute (moyenne) tension" (7.2.8.2/8.3.8.2).

Les échantillons sont alimentés à différentes tensions pendant des durées différentes et avec différentes capacités de courant de court-circuit. Ces contraintes spécifiques sont réputées simuler trois événements de surtension temporaire possibles. Les différents événements produisent différentes tensions de contrainte à différents modes de protection en fonction du type de système BT et de sa configuration de mise à la terre:

– les surtensions temporaires provoquées par un défaut à la terre côté haute tension du transformateur HT/BT peuvent donner lieu à une augmentation de tension entre N-PE et L-PE. L'essai est réalisé avec une source dont le courant est limité à 300 A pendant 200 ms.
– les surtensions temporaires côté BT du réseau dues à un défaut à la terre dans les schémas TT, à un défaut de PEN dans les schémas TN ou à un défaut du Neutre dans les schémas TT et IT. L'essai est réalisé avec une source non limitée pendant 5 s.
– les surtensions temporaires côté BT dues à une rupture du neutre dans les réseaux BT biphasés/triphasés en fonction du côté charge. L'essai est réalisé avec la pleine tension entre phases et un courant limité de 10 A pendant 120 min.

L'état demandé du parafoudre après l'essai peut également varier en fonction du type d'événement de surtension temporaire et du comportement déclaré du parafoudre dans ces conditions.

Après chaque contrainte TOV, le réseau reprend un fonctionnement normal et l'état du parafoudre est vérifié pour constater l'absence de problèmes de sécurité (pas d'explosion, pas de fissure ni d'autres événements potentiellement dangereux).

Les modes de tenue aux TOV doivent être déclarés par le fabricant du parafoudre (voir le Tableau E.3).

A.2.2.6 Séquence d'essai 5

A.2.2.6.1 Comportement vis-à-vis des courants de court-circuit (7.2.5.3/8.3.5.3)

Pour les modes de protection destinés à être reliés à l'alimentation avec un éventuel courant de court-circuit présumé, le parafoudre est soumis à l’essai selon deux montages d'essai différents, avec un ensemble séparé d'échantillons pour chacun d'eux.

La préparation consiste à remplacer un ou des composants actifs dans chaque chemin de courant différent par une barre en cuivre. Cet essai vise à vérifier l'aptitude du chemin de courant interne à résister à la contrainte générée par un court-circuit du parafoudre sans provoquer de phénomènes dangereux (un incendie, une explosion ou un choc électrique, par exemple).

Le courant de court-circuit présumé pendant l'essai est en premier lieu réglé sur I_{SCCR}, puis sur une valeur égale à 5 fois la caractéristique assignée maximale de la protection en amont (si elle n'est pas déclarée, elle est réglée sur 300 A)

Ces courants sont appliqués deux fois pour I_{SCCR} et une seule fois pour le courant plus faible. Ils sont initiés à 45 degrés électriques après le passage à zéro de la tension.

L'essai est arrêté lorsque le courant est interrompu par un déconnecteur interne ou externe ou que 5 s se sont écoulées après l'application du courant de court-circuit présumé inférieur. Cette durée de 5 s est choisie pour être représentative de la durée maximale de coupure du défaut.

Si I_{fi} est déclaré et que I_{sccr} est supérieur à I_{fi}, l'essai avec le réglage sur I_{sccr} est répété, mais sans préparer l'échantillon. Le composant à coupure de tension du parafoudre est déclenché avec un courant de choc suffisamment élevé pour initier un courant de suite. Cet essai se traduit par le fonctionnement du déconnecteur externe.

A.2.2.7 Séquence d'essai 6

A.2.2.7.1 Essai de courant total de décharge pour des parafoudres multimodes (7.6.1.1/8.7.1)

Les parafoudres multimodes peuvent présenter une tenue aux chocs totale qui peut être différente de la tenue aux chocs de chaque pôle.

Cet essai vise à vérifier l'aptitude du parafoudre à résister à un courant de choc passant simultanément par toutes les bornes actives jusqu'à la borne PE (ou les fils). Toutes les bornes actives sont alors liées et le générateur d'onde est connecté à ce point commun et à la borne PE. L'essai est réalisé de telle sorte que le courant de choc soit partagé de manière égale dans tous les modes de protection du PE.

Le choc n'est appliqué qu'une seule fois au courant I_{total} déclaré, et le parafoudre ne doit présenter aucun dommage. I_{total} peut être une forme d'onde 8/20 ou 10/350 pour correspondre à la Classe d'essai I ou II déclarée du parafoudre.

A.2.2.8 Séquence d'essai 7

A.2.2.8.1 Parafoudres classés "extérieur" (7.5.2/8.6.2)

Pour les parafoudres déclarés pour une utilisation en extérieur, des essais supplémentaires doivent être réalisés:

– Essai de vieillissement accéléré par exposition au rayonnement UV
– Essai d'immersion dans l'eau
– Essai diélectrique
– Essai de cycle thermique
– Vérification de la résistance à la corrosion

Ces essais sont décrits à l'Annexe F de l'IEC 61643-11:2011.

A.2.2.9 Séquence d'essai 8 – Parafoudre à court-circuit (7.5.4/8.6.4)

Cet essai est réalisé en trois parties: "Procédure de modification des caractéristiques (préconditionnement à l'état court-circuité) (8.6.4.1)", "Essai de tenue aux chocs (à l'état court-circuité) (8.6.4.2)" et "Comportement vis-à-vis des courants de court-circuit (à l'état court-circuité) (8.6.4.3)".

Cet essai applique un courant de choc de transition déclaré I_{trans}, destiné à mettre les échantillons dans un état de court-circuit, mais sans dommage externe. Ensuite, l'essai de comportement vis-à-vis du courant de court-circuit décrit en A.2.2.6.1 est réalisé sur les échantillons.

Annexe B
(informative)

Exemples de relations entre U_c et la tension nominale du réseau et exemple de relation entre U_p et U_c pour les varistances à oxyde métallique (MOV)

B.1 Relation entre U_c et la tension nominale du réseau

Les relations entre U_c d'après les valeurs indiquées dans l'IEC 60364-5-53 et la tension nominale du réseau selon l'IEC 60664-1 sont présentées dans le Tableau B.1.

Tableau B.1 – Relation entre U_c et la tension nominale du réseau

Tension nominale du réseau selon l'IEC 60664-1		Exemples de valeurs de U_c d'après les valeurs données dans l'IEC 60364-5-53			
Réseau triphasé à quatre fils, neutre à la terre	**Réseau triphasé à trois ou quatre fils, non mis à la terre**	**U_c min. pour un parafoudre installé entre la phase et la terre de protection ou PEN dans le cas des schémas TN[a] ou entre la phase et le neutre dans le cas des schémas TT[a]**	**U_c min. pour un parafoudre installé entre phase et terre ou neutre et terre dans le cas de schémas TT[a]**	**U_c min. pour un parafoudre installé entre phase et terre ou neutre et terre dans le cas des schémas IT**	**U_c min. pour un parafoudre installé entre phases dans le cas des schémas TT, TN ou IT**
Schémas TT et TN	Schéma IT	Cas où la fluctuation de tension est égale à 10 %	Cas où une valeur de 1,5 × U_0 a été utilisée	Cas où une valeur de √3 × U_0 a été utilisée	Cas où la fluctuation de tension est égale à 10 %
V	V	V	V	V	V
120/208		132	180		229
127/220	220	140	191	220	242
	230, 240			240	264
	260, 277, 347			347	382
220/380, 230/400	380 400	253	345	400	440
240/415, 260/440	415	286	390	415	484
277/480	440, 480	305	416	480	528

[a] Des valeurs supérieures peuvent être nécessaires dans certaines conditions (par exemple, la rupture du neutre dans les schémas TT).

B.2 Relation entre U_p et U_c pour les varistances à oxyde métallique (MOV)

Le rapport U_p/U_c est un paramètre intéressant pour caractériser un parafoudre. Ce rapport dépend du composant utilisé. Le Tableau B.2 ci-dessous donne des valeurs typiques du rapport U_P/U_c pour des varistances à oxyde métallique (MOV) qui varient en fonction de la taille du composant et du courant appliqué I_n.

Tableau B.2 – Exemple de valeurs de U_p/U_c pour les varistances à oxyde métallique (MOV)

I_n (8/20) kA	Diamètre mm	U_p/U_c pour les varistances à oxyde métallique (MOV)
1	14	3,3
2,5	20	3,8
5	32	4,1
10	40	4,6
20	60	4,6

Des rapports plus bas et plus hauts peuvent être obtenus à partir de dispositifs utilisant d'autres technologies.

NOTE D'autres paramètres, tels que la tenue aux chocs, varient aussi avec la technologie.

Annexe C
(informative)

Environnement – Tensions de chocs dans les réseaux BT

C.1 Généralités

Les surtensions apparaissent dans les réseaux à basse tension comme la résultante de trois types d'événements:

- un phénomène naturel tel qu'un impact de foudre direct sur l'installation ou induction de surtensions par impact sur d'autres objets;
- des actions intentionnelles sur le réseau, telles que l'interruption en charge ou du condensateur dans les réseaux de transmission ou de distribution par le service responsable ou dans le réseau à basse tension par des opérations d'utilisateurs finaux;
- des événements non intentionnels tels que défauts de l'alimentation et leur élimination ou couplage entre différents réseaux, comme les interactions entre alimentations et réseaux de signalisation/communication, par exemple.

Les surtensions prises en considération dans le présent document sont celles dépassant deux fois la tension de fonctionnement crête (deux par unité ou 2 p.u.) et ayant une durée comprise entre une fraction de microseconde et une milliseconde. Les surtensions inférieures à deux par unité ne sont pas prises en considération ici, ni les transitoires de plus longue durée résultant du fonctionnement du matériel de puissance et de modes de défaillance. Dans la mesure où des surtensions de faible amplitude et de longue durée ne sont dans la plupart des cas pas sujettes à la suppression par des parafoudres conventionnels, elles exigent des techniques de protection différentes de celles exposées dans le présent document.

La présente annexe présente et résume des informations importantes relatives aux tensions de choc dans les réseaux à basse tension d'après l'IEC TR 62066, afin de faciliter l'utilisation du présent document.

C.2 Surtensions de foudre

C.2.1 Généralités

La foudre est un phénomène inévitable qui affecte les réseaux à basse tension (alimentations ainsi que réseaux de signalisation/communication) à travers plusieurs mécanismes. L'interaction évidente est un impact direct sur le réseau, mais d'autres mécanismes de couplage peuvent aussi créer des surtensions dans les réseaux. Trois types de mécanismes de couplage susceptibles de produire des surtensions dans les réseaux à basse tension sont présentés. Tout en se référant aux "surtensions", il faut considérer que le courant associé aux surtensions, ou le courant qui est initialement à l'origine de la surtension est un aspect important concernant ce sujet. Les trois catégories sont les suivantes:

a) Les impacts directs sur le réseau, qui peuvent se produire au primaire du transformateur de distribution MT/BT, sur le réseau de distribution BT (aérien ou souterrain) et sur les différents services des bâtiments individuels.

b) Les impacts indirects sur des objets à proximité, qui peuvent produire des surtensions dans le réseau de distribution BT par couplage inductif ou par couplage commun. Si les surtensions et courants de choc résultant de ces impacts peuvent être moins sévères que ceux associés à un impact direct, leur fréquence est beaucoup plus élevée.

c) Les impacts directs sur les systèmes de protection contre la foudre ou sur des éléments extérieurs des bâtiments (structure en acier, composants non électriques tels que canalisations d'eau, chauffage et climatisation, gaines d'ascenseurs, etc.). Ces impacts ont deux sortes d'effets: un couplage inductif venant de courants de foudre conduits par des éléments extérieurs et l'injection de courant de foudre du bâtiment vers le réseau BT, rendant nécessaire la mise en œuvre de parafoudres entre les conducteurs BT et la terre locale ou la liaison équipotentielle ainsi appelée de l'installation. Pour un impact donné, la sévérité de la surtension apparaissant dans l'installation de l'utilisateur final correspond aux caractéristiques du trajet de couplage, telles que la distance et la nature du réseau entre le point d'impact et l'installation de l'utilisateur final, les méthodes de mises à la terre et l'impédance de mise à la terre, la présence de parafoudres le long du trajet et le branchement hors du réseau de distribution.

C.2.2 Surtensions transmises du réseau MT au réseau BT

Les surtensions générées dans le réseau MT par la foudre sont transmises au réseau de distribution BT de deux manières différentes:

– par couplage capacitif et inductif à travers le transformateur MT/BT;
– par couplage à la terre.

L'amplitude de choc transmise dépend d'un grand nombre de paramètres, tels que:

– le schéma de liaison à la terre BT (TT, TN, IT);
– les caractéristiques de la ligne BT et de la charge BT;
– les dispositifs de protection contre les surtensions BT;
– les conditions de couplage entre la mise à la terre MT et BT;
– la conception du transformateur.

Dans le cas de coups de foudre directs sur la ligne MT, le fonctionnement du parafoudre ou un amorçage de l'isolateur détourne le courant de choc dans le schéma de liaison à la terre et peut produire un couplage à la terre résistif entre les réseaux MT et BT et une surtension est transmise au réseau BT. En fonction des valeurs d'impédance de mise à la terre, cette surtension de couplage à la terre peut être bien supérieure à celle du couplage capacitif à travers le transformateur.

Dans un schéma TN, si le neutre est également mis à la terre au niveau de l'installation de l'utilisateur, des surtensions plus faibles se produisent. Il convient aussi de noter que ce type de couplage résistif peut être évité en utilisant un schéma de liaison à la terre distinct pour la partie BT du transformateur.

Une valeur type de la surtension transmise par couplage capacitif et inductif au secondaire du transformateur MT/BT est égale à 2 % de la tension phase-terre MT entre les conducteurs de phase et de neutre et à 8 % entre le conducteur de phase et la terre. Ces valeurs sont des valeurs types pour un circuit BT en charge. Lorsque le côté BT du transformateur est ouvert, ou chargé très légèrement, les valeurs peuvent être significativement supérieures, en fonction du réseau BT.

Les surtensions de foudre induites sur le réseau MT produisent un courant de choc bien inférieur (généralement inférieur à 1 kA) que les impacts directs, et les surtensions sont en pratique transmises au réseau BT uniquement par couplage capacitif et ne dépassent pas quelques kilovolts. Dans de tels cas, la surtension induite directement dans le réseau BT (au moins dans la partie qui n'est pas éloignée du point d'impact de foudre) est en général supérieure à celle transmise du côté MT. Si un parafoudre fonctionne ou si un amorçage se produit, le courant est faible et le couplage résistif négligeable.

C.2.3 Surtensions dues à des impacts directs sur les réseaux de distribution BT

L'impédance réelle du canal de foudre est élevée, et le courant de foudre peut être considéré comme une source de courant idéale. Les surtensions produites sont donc déterminées par l'impédance réelle momentanée vue par le courant de foudre.

Pour un impact sur le réseau, les tensions sont en premier lieu déterminées par l'impédance caractéristique (impédance d'onde) du réseau. Le courant (I) est initialement divisé en deux parties et les tensions de choc (U) générées sont:

$$U = Z \times I/2$$

où

U est la tension de choc, en kV;

Z est l'impédance d'onde du réseau, en Ω;

I est le courant de choc, en kA.

Si un courant modéré de 10 kA et une impédance d'onde de 400 Ω sont pris pour hypothèse, la tension de choc présumée est de 2 000 kV. Sur un réseau à basse tension, des contournements apparaissent par conséquent généralement entre tous les conducteurs de ligne et, dans la plupart des cas, avec la terre. Après un contournement, l'impédance réelle est réduite, particulièrement en fonction des résistances de terre impliquées. Cependant, même pour une impédance réelle plutôt faible (10 Ω, par exemple), la tension est de 100 kV sur la ligne pour un exemple de courant de foudre estimé de 10 kA.

Pour un réseau combiné aérien/souterrain, les surtensions sont quelque peu réduites en raison d'une impédance d'onde plus faible des câbles par rapport aux lignes aériennes. La quantité de réduction dépend de la durée du courant et de la capacité totale vis-à-vis de la terre du réseau. Toutefois, cette réduction n'est généralement pas suffisante pour éviter des surtensions dépassant des niveaux normaux d'isolement dans des réseaux à basse tension. Par conséquent, dans la plupart des cas, il convient de prévoir que les impacts directs endommagent ces types de réseaux.

C.2.4 Surtensions induites dans les réseaux de distribution BT

En raison des variations du champ électromagnétique lors d'un coup de foudre, des surtensions sont induites dans des lignes aériennes, quel que soit leur type, même à une distance considérable de l'impact. Une approximation grossière des surtensions (U) présumées susceptibles de se produire sur la ligne peut être estimée par l'équation suivante:

$$U = 30 \times k \times (h/d) \times I$$

Où

U est la surtension présumée, en kV

I est le courant de foudre, en kA;

h est la hauteur des conducteurs au-dessus du sol, en m;

k est un facteur dépendant de la rapidité de l'impact de retour dans le canal de foudre;

d est la distance depuis le point d'impact, en m.

La variation du paramètre k est faible (1,0 à 1,3).

Pour un courant de foudre moyen de 30 kA et pour une ligne située à 5 m au-dessus du sol, la tension dépasse 5 kV pour des impacts à une distance de 1 km. Un courant de 100 kA produit une tension présumée de 1,8 kV même à une distance de 10 km.

C.2.5 Surtensions causées par des impacts sur un système de protection contre la foudre ou sur une structure à proximité immédiate

Lorsque la foudre frappe une structure, qui est l'une de celles alimentées en parallèle par un réseau BT, la circulation d'un courant de foudre vers la terre se divise entre les différents trajets disponibles. Ces derniers comprennent la terre locale (mise à la terre des bâtiments), ainsi que les points de mise à la terre distants à travers tous les circuits métalliques, principalement le câble d'alimentation.

Le courant de choc injecté circule du dispositif de capture du système de protection contre la foudre (LPS) au réseau de raccordement à la terre, en passant par le conducteur de descente. À ce point, le courant de foudre se divise en au moins deux composants, un composant circulant dans la terre locale du bâtiment, et l'autre circulant dans le câble d'alimentation en direction de la terre distante (le courant peut également suivre d'autres trajets, tels que des canalisations métalliques et d'autres services conducteurs). Ces courants se divisent selon le rapport inverse des impédances. Dans la phase initiale du courant de choc, la répartition du courant est déterminée par le rapport des inductances. Dans la phase finale, où la vitesse de variation du courant est faible, la répartition est déterminée par le rapport des résistances.

Avec plusieurs bâtiments reliés électriquement, la résistance efficace diminue, ce qui signifie que la partie du courant de foudre qui circule du bâtiment frappé par la foudre au réseau BT augmente lorsque plus de bâtiments sont reliés dans la chaîne.

Différentes pratiques relatives à la mise à la terre du neutre sont observées dans différents pays, de telle sorte que certaines différences peuvent être attendues concernant la manière dont le courant de foudre se répartit parmi les trajets disponibles. Il convient que les concepteurs de réseaux prennent ces différences en considération.

La dispersion du courant dans les trajets disponibles produit des surtensions, principalement entre les conducteurs et la terre locale. En fonction de la configuration de l'installation BT et de la présence ou de l'absence des parafoudres, ces surtensions peuvent être importantes ou modérées. L'expérience démontre l'effet bénéfique d'une meilleure mise à la terre du neutre à l'entrée de l'installation et du rôle de la prise en considération des effets du couplage résistif, inductif et mutuel.

Il convient de noter que l'augmentation du potentiel de terre résultant d'un impact direct sur un bâtiment ou une structure dépasse généralement le niveau d'isolement de l'installation à basse tension et produit par conséquent des contournements et des surtensions qui se propagent à des bâtiments (installations) adjacents reliés au même réseau de distribution à basse tension, à moins que des parafoudres de liaison équipotentielle ne soient installés.

Par conséquent, même un bâtiment non frappé par un coup de foudre peut être exposé à des surtensions en raison de la propagation le long du réseau de distribution. De plus, pour une densité de foudroiement donnée dans la zone, la présence d'un bâtiment de hauteur importante accroît la probabilité de surtensions conduites, bien que ceci réduise la probabilité d'impacts directs sur des bâtiments plus petits à proximité.

Les surtensions entre les conducteurs et la terre locale imposent des contraintes sur l'isolation des matériels raccordés, qui ont généralement des niveaux de tenue suffisants, conformément aux recommandations de l'IEC 60664-1, tandis que les composants du matériel de puissance sont soumis à des contraintes par les surtensions apparaissant entre les conducteurs. À première vue, il est possible de justifier le fait que la situation la plus menaçante soit l'application de surtensions aux composants du matériel de puissance. Cependant, les surtensions à la terre peuvent devenir un problème, pas tant pour l'isolation du matériel de puissance, mais du fait de décalages des potentiels de référence entre le réseau et le système de communication susceptible d'être relié au matériel.

C.3 Surtensions de manœuvre

C.3.1 Généralités

Il convient de prendre en considération la protection contre les surtensions de manœuvre dans le cas des matériels susceptibles d'en générer ou de générer des perturbations dépassant les valeurs en fonction de la catégorie de surtension de l'installation, par exemple lorsqu'un générateur BT alimente l'installation ou que des charges inductives ou capacitives (par exemple, des moteurs, des transformateurs, des batteries de condensateurs,etc.), des unités de stockage ou des charges de courant élevé sont installées. Il convient alors de considérer l'installation de parafoudres comme étant située le plus près possible de l'origine de ce type de menace.

Ces contraintes, en ce qui concerne le courant, la tension et la durée, sont généralement plus faibles que les contraintes dues à la foudre. Cependant, dans certains cas, particulièrement profondément à l'intérieur d'une structure ou à proximité de sources de surtensions de manœuvre, les contraintes de coupure peuvent être plus importantes que celles provoquées par la foudre. Il est nécessaire de connaître l'énergie de ces surtensions de coupure pour choisir les parafoudres appropriés. La durée dans le temps des surtensions de coupure, incluant des transitoires dus à des défauts et des fonctionnements de fusibles, peut être beaucoup plus longue que la durée de la surtension de foudre.

Dans la plupart des cas, une opération de coupure, un défaut, une interruption, etc., dans une installation électrique, est suivi(e) par un phénomène transitoire dans lequel des surtensions peuvent se produire. La variation soudaine dans un réseau peut induire des oscillations amorties à haute fréquence (déterminées par des fréquences de résonance du réseau) jusqu'à retour de l'équilibre du réseau.

L'amplitude des surtensions de manœuvre dépend d'un grand nombre de paramètres, par exemple le type de circuit, le type de coupure (fermeture, ouverture, nouveau coup de foudre), les charges, le disjoncteur ou le fusible.

Les fréquences des oscillations lors des coupures sont déterminées par les caractéristiques du réseau et un phénomène de résonance peut apparaître de temps en temps. Dans de tels cas, des surtensions très élevées peuvent se produire. La probabilité de résonance avec les harmoniques de la fréquence industrielle du réseau est généralement faible. Cependant, si la fréquence caractéristique d'une partie commutée d'un réseau est à proximité d'une ou de plusieurs fréquences de résonance du reste du réseau, une résonance transitoire peut alors se produire.

C.3.2 Description générale

La forme typique des surtensions de coupure est déterminée par la réponse de l'installation à basse tension. Ceci entraîne, dans la plupart des cas, une onde en boucle. La fréquence est généralement de l'ordre de plusieurs centaines de kilohertz par microseconde. Le temps de montée maximale est généralement de l'ordre de quelques kilovolts par microseconde. La durée des chocs se fait sur une plus grande durée. Si des surtensions de manœuvre dues à un fonctionnement de fusibles sont exclues, la durée typique (durée jusqu'à mi-valeur) est de 1 μs à 50 μs. Une estimation statistique indique que l'amplitude et la probabilité d'apparition des chocs d'une durée plus longue (supérieure à 100 μs) sont faibles.

C.3.3 Manœuvres de disjoncteurs et d'interrupteurs

C.3.3.1 Généralités

Les disjoncteurs et interrupteurs sont largement utilisés dans chaque installation, soit pour la protection des matériels électriques contre les surcharges ou les courts-circuits, soit pour la commande de matériels par ouverture et fermeture. La fréquence de coupure dépend du champ d'application avec des taux plus élevés dans les sites industriels et des taux relativement plus faibles pour des applications domestiques.

Les courants commutés, en cas de charges ohmiques, sont du même ordre que les courants assignés des matériels. Toutefois, pour des matériels à alimentation à découpage, les courants commutés sont beaucoup plus élevés que le courant assigné. Par exemple, pour un récepteur de télévision de 100 W, le courant assigné est de 0,4 A, tandis que le courant d'appel est approximativement de 20 A, soit 50 fois plus élevé.

L'appareillage mécanique déclenché soit manuellement, soit par fonctionnement électromécanique, produit un arc électrique pendant chaque coupure. Une oscillation à haute fréquence est générée par la variation soudaine de tension associée aux inductances et capacités de l'environnement de l'interrupteur. Cette oscillation est superposée à la tension entre les conducteurs de ligne et entre un conducteur de ligne et la terre, et la tension totale contraint l'isolation des matériels électriques à des éléments conducteurs exposés et à d'autres circuits. Contrairement aux surtensions transitoires transmises par le réseau de distribution public vers l'installation de l'utilisateur, les transitoires de coupure induits à l'intérieur de l'installation de l'utilisateur par des disjoncteurs et des interrupteurs affectent les matériels électriques sans atténuation significative, et de ce fait l'amplitude de ces transitoires est relativement élevée.

C.3.3.2 Manœuvres de disjoncteurs et d'interrupteurs dans les installations d'utilisateur

Généralement, des amplitudes plus élevées sont générées en fermant le dispositif plutôt qu'en l'ouvrant. Pendant la fermeture, la surtension de coupure sur la charge a une amplitude et une énergie plus élevées que sur le côté de l'installation. Cependant, ceci est principalement un problème lié à la conception de ce type de matériel, particulièrement pour ce qui est de leur isolation. Si d'autres matériels sont connectés en parallèle, ils sont aussi soumis à des contraintes. La surtension côté installation a une plus grande importance pour l'ensemble du réseau et les matériels qui lui sont connectés que pour le côté charge.

C.3.3.3 Manœuvres de disjoncteurs et d'interrupteurs dans le réseau d'alimentation (HT et BT)

Les surtensions transitoires contraignant les matériels électriques peuvent être observées dans chaque réseau d'alimentation. Dans les réseaux d'alimentation souterrains, presque tous les transitoires sont générés par un appareillage électromécanique de sources similaires.

Dans les installations à haute et à basse tension, la coupure d'inductances telles que transformateurs, bobines d'impédance, contacteurs de bobines et relais installés en parallèle avec la source d'alimentation, peut causer des surtensions de manœuvre avec des amplitudes pouvant atteindre plusieurs kilovolts. Le même phénomène existe dans le cas de coupures d'inductances longitudinales telles que boucles de conducteurs et impédances longitudinales de bobines, ou même par ouverture du réseau d'alimentation associé aux inductances propres de câblage.

Côté alimentation, les surtensions de manœuvre peuvent aussi être dues au fonctionnement de commandes à portes, aux arcs de frottement de moteurs à contacts glissants, aux pertes soudaines de charges brutales de machines électriques ou de transformateurs et au fonctionnement d'unités de condensateurs utilisées pour la correction du facteur de puissance.

La fréquence et l'énergie de surtensions de ce type peuvent, dans de rares occasions, être nettement plus élevées que celles d'origine atmosphérique en ce qui concerne leur influence sur les installations à basse tension.

Les surtensions transitoires dues à des coupures dans l'alimentation à basse tension peuvent atteindre des amplitudes de plusieurs kilovolts, bien qu'il puisse être pris pour hypothèse que les valeurs maximales sont limitées par certaines conditions lors de manœuvres sur le réseau à basse tension. Pour ces réseaux d'alimentation où sont mis en œuvre des dispositifs de protection contre les surtensions, il peut être prévu qu'une amplitude maximale de 6 kV ne soit dans la plupart des cas pas dépassée dans l'installation à basse tension de l'utilisateur.

Un autre phénomène comparable aux surtensions de manœuvre est l'apparition de courts-circuits et de défauts à la terre dans le réseau de distribution à haute tension. Les défauts à la terre peuvent induire une surtension phase-terre dans les conducteurs de ligne non en défaut, dans la plage de valeurs de la tension entre phases. De plus, dans de tels cas, des surtensions transitoires peuvent également se produire. De tels transitoires sont transmis depuis le réseau à haute tension vers le réseau à basse tension.

C.3.4 Fonctionnements des fusibles (fusibles limiteurs de courant)

Les fusibles sont largement utilisés dans les réseaux de distribution et les installations électriques pour la protection contre les surintensités et l'interruption de courts-circuits. Si un fusible fonctionne, par exemple dans un réseau de distribution pour éliminer un court-circuit, ce fonctionnement crée une surtension de forme d'onde grossièrement triangulaire et de fréquence relativement faible. La surtension apparaît entre les conducteurs de ligne du réseau, mais aussi entre le conducteur de ligne et le conducteur de terre de protection, en raison de la mise à la terre du conducteur de neutre ou, en cas de schéma IT, en raison des capacités entre réseau et terre. Ainsi, cette surtension contraint également l'isolation en ce qui concerne les parties conductrices exposées et autres circuits. Bien sûr, ceci arrive très rarement par rapport aux surtensions induites par la coupure de courant de fonctionnement. Cette surtension est aussi transmise par le jeu de barres aux autres matériels d'utilisation alimentés par le même réseau de distribution.

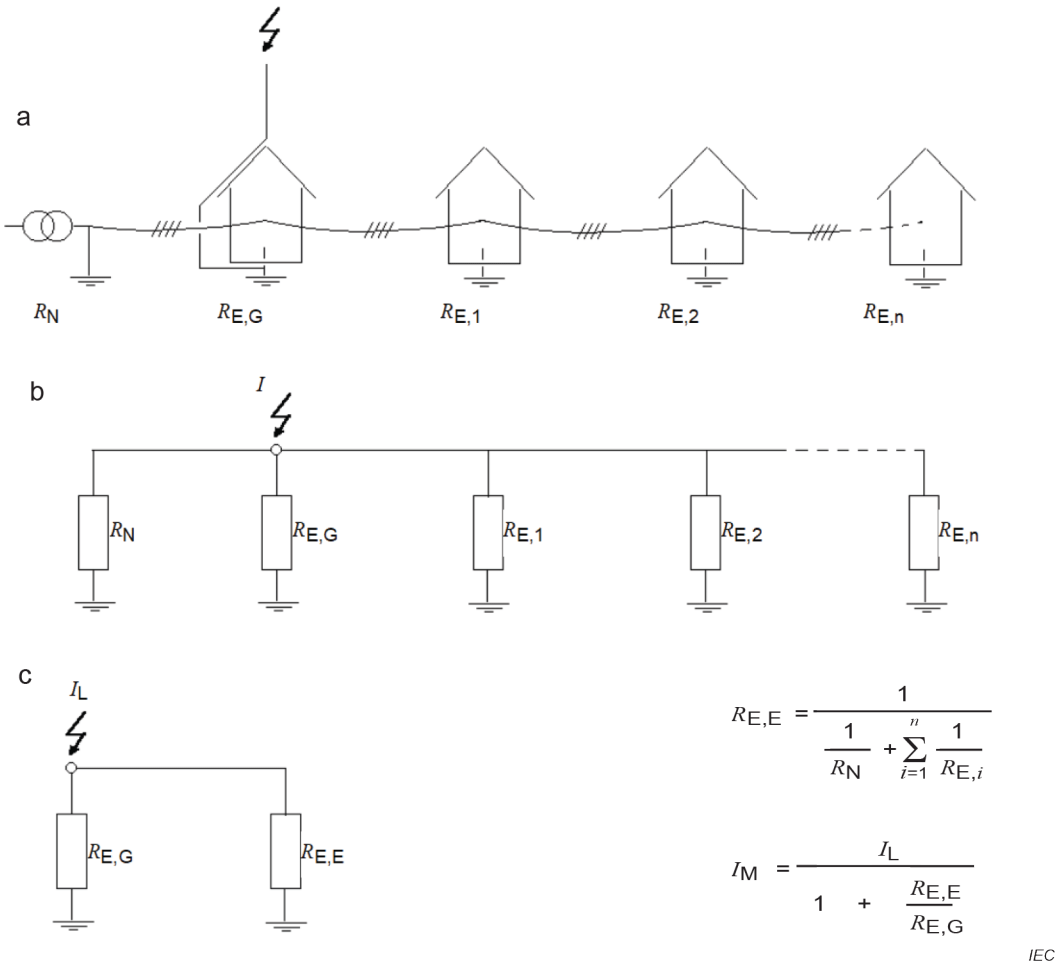
Par comparaison avec les autres surtensions de manœuvre, l'apparition de surtensions dues au fonctionnement de fusibles est moins fréquente. Toutefois, en cas d'interruption due à un court-circuit, des surtensions très élevées peuvent se produire. Ceci est essentiellement influencé par le temps de montée du courant de court-circuit, les caractéristiques du fusible, son courant assigné et l'inductance du circuit.

L'interruption d'un court-circuit dans une artère d'un réseau de distribution par un fusible proche du jeu de barres est un sujet important, car la surtension générée par la fusion du fusible affecte tous les autres matériels d'utilisation alimentés par le même jeu de barres. L'expérience fondée sur des statistiques a démontré qu'un tel défaut est très rare sur les réseaux de distribution publique à basse tension. Toutefois, ce type de défaut est d'importance plus grande dans les réseaux de distribution industriels, où l'apparition d'un court-circuit n'est pas rare.

Annexe D
(informative)

Calculs de courants de foudre partiels

Selon la Figure D.1, un bâtiment avec un système de protection contre la foudre est touché par un foudroiement. Le courant de foudre I_L est dirigé par le paratonnerre vers le schéma de liaison à la terre du bâtiment frappé par la foudre. Ceci provoque une augmentation du potentiel et entraîne par conséquent un contournement et/ou un fonctionnement des parafoudres dans l'installation, de sorte que le courant de foudre I_L soit distribué partiellement dans les quatre fils du réseau.



Légende

R_N Résistance de mise à la terre du neutre

$R_{E,G}$ Résistance de mise à la terre du bâtiment touché par la foudre

$R_{E,i}$ Résistance de la mise à la terre du bâtiment n° i

$R_{E,E}$ Résistance totale de toutes les mises à la terre, sauf celles du bâtiment touché par la foudre

I_L Courant de foudre frappant le bâtiment touché par la foudre

I_M Courant circulant dans le réseau

Figure D.1 – Calcul simple de la somme des courants de foudre partiels dans un réseau de distribution

Pour ce calcul, il convient que la résistance du schéma de liaison à la terre du bâtiment proche RE,E soit inférieure ou égale à la résistance du schéma de liaison à la terre RE,G du bâtiment frappé par la foudre.

Le courant partiel distribué I_M génère des surtensions dans le réseau et les installations, contraignant l'isolation et les appareils connectés. Par conséquent, non seulement le bâtiment touché par la foudre est menacé, mais aussi les bâtiments et les installations à proximité.

Le réseau simplifié (Figure D.1 b) et c)) permet un calcul simplifié du courant partiel I_M dans le réseau de distribution.

NOTE Ce calcul n'est valable que pour la répartition de l'énergie (fin de l'onde de courant de foudre).

La contrainte à laquelle un parafoudre est soumis dans des conditions de surtension dépend d'un grand nombre de paramètres complexes et étroitement liés. Ceux-ci comprennent:

- L'emplacement du ou des parafoudres à l'intérieur de la structure: sont-ils situés à l'entrée du tableau de distribution principal ou à l'intérieur de l'installation au niveau du répartiteur secondaire, voire en face de l'appareil de l'utilisateur final?
- Les composants installés en amont du parafoudre: par exemple les fusibles, la section du câblage, etc., peuvent limiter la capacité de tenue aux chocs de l'ensemble du système et par conséquent les contraintes maximales sur le parafoudre.
- La méthode de couplage du foudroiement sur l'installation – par exemple, ceci est-il réalisé par un impact direct sur le système de protection contre la foudre de la structure ou par induction sur le câblage du bâtiment en raison d'un impact proche?
- La distribution des courants de foudre à l'intérieur de la structure – par exemple, quelle partie du courant de foudre pénètre dans le schéma de liaison à la terre, et quelle partie restante cherche un chemin vers la terre éloignée par l'intermédiaire du réseau de distribution et des parafoudres de liaison équipotentielle?
- Le type de réseau de distribution – la distribution du courant de foudre sur un réseau de distribution est fortement influencée par la méthode de mise à la terre pour le conducteur de neutre. Par exemple, dans le schéma TN-C avec plusieurs neutres mis à la terre, un trajet plus direct et d'impédance plus faible vers la terre est prévu pour les courants de foudre que dans un schéma TT.
- Des services conducteurs supplémentaires reliés à l'installation – ces derniers transportent une partie du courant de foudre direct et réduisent par conséquent la partie qui circule à travers le réseau de distribution par l'intermédiaire du parafoudre de liaison équipotentielle. Il convient de porter une attention particulière à la permanence de tels services en raison du remplacement éventuel par des parties non conductrices.
- Le type de forme d'onde concerné – il n'est pas possible de prendre simplement en considération le courant de crête que le parafoudre doit transporter dans des conditions de surtension, il faut également prendre en considération la forme d'onde de cette surtension.

De nombreuses tentatives ont été entreprises afin de quantifier l'environnement électrique et le "niveau de menace" auquel un parafoudre est soumis en différents emplacements d'une installation. L'IEC 62305-4 a cherché à traiter cette question en considérant l'amplitude de choc la plus élevée pouvant être reçue par un parafoudre, en se basant sur le niveau de protection contre la foudre (LPL – *lightning protection level*) concerné. Par exemple, le présent document pose comme principe qu'à un niveau de protection contre la foudre I, l'amplitude d'un impact direct sur le système de protection contre la foudre de la structure peut atteindre 200 kA 10/350. Tandis que ce niveau est possible, sa probabilité statistique d'apparition n'est que de 1 %. En d'autres termes, 99 % des décharges sont inférieures à ce niveau de courant de crête hypothétique de 200 kA.

De plus, une hypothèse est émise selon laquelle 50 % de ce courant est transporté par le schéma de liaison à la terre du bâtiment, et 50 % cheminent par l'intermédiaire des parafoudres de liaison équipotentielle reliés à un réseau de distribution à trois fils plus neutre. Il est également pris pour hypothèse qu'aucun service conducteur supplémentaire n'existe. Ceci implique que la partie de la décharge initiale de 200 kA à laquelle est soumis chaque parafoudre est de 25 kA.

Des hypothèses simplifiées de dispersion du courant sont utiles en tenant compte du niveau de menace possible que le ou les parafoudres peuvent rencontrer, mais il est important de garder dans le contexte les hypothèses émises. Dans l'exemple ci-dessus, une décharge de foudre de 200 kA a été prise en considération. Il s'ensuit que le niveau de menace pour les parafoudres de liaison équipotentielle est inférieur à 25 kA pour 99 % des cas. De plus, il a été pris pour hypothèse que la forme d'onde de cette composante de courant à travers le ou les parafoudres est de la même forme d'onde que la décharge initiale, tandis qu'en réalité la forme d'onde peut avoir été altérée par l'impédance du câblage du bâtiment, etc.

De nombreuses normes ont cherché à fonder leurs considérations sur le niveau de menace que le parafoudre peut rencontrer en cours de fonctionnement sur l'expérience sur le terrain acquise avec le temps. Par exemple, le guide IEEE sur l'environnement C62.41.1 et la méthode recommandée C62.41.2 présentent différents niveaux d'exposition dans chacune de ces conditions en fonction de l'emplacement dans lequel le parafoudre est installé.

D'après les éléments ci-dessus, il apparaît que le choix de la valeur appropriée de I_{imp}, I_n ou I_{max} (si déclarée) d'un parafoudre dépend d'un grand nombre de paramètres complexes et étroitement liés. Il est non seulement nécessaire que l'utilisateur prenne en considération la façon dont le courant d'injection est réparti à l'intérieur de la structure et de son réseau de distribution, mais aussi qu'il tienne compte des probabilités statistiques associées à l'amplitude de cette décharge et des formes d'ondes impliquées.

Il est important de garder à l'esprit que la probabilité des dommages sur les systèmes électroniques à l'intérieur du bâtiment en raison de surtensions pénétrant par les lignes d'alimentation, téléphoniques et de données, est bien plus importante que celle due à un impact direct sur le bâtiment lui-même.

Un grand nombre de bâtiments ne possèdent pas ou peuvent ne pas exiger un système de protection contre la foudre, et ainsi des parafoudres soumis aux essais de classe I à courant élevé peuvent ne pas être aussi nécessaires qu'un parafoudre soumis aux essais de classe II conçu correctement avec un niveau de protection faible U_p.

En traitant de telles complexités, il est nécessaire de garder à l'esprit que l'aspect le plus important dans le choix d'un parafoudre est sa performance de tension de limitation au cours de l'événement de choc attendu, et non l'énergie admissible (I_{imp}, I_n, U_{oc} ou I_{max}, si déclarées) qu'il peut accepter. Un parafoudre avec une tension de limitation faible assure une protection adéquate du matériel, tandis qu'un parafoudre avec une énergie admissible élevée peut uniquement entraîner une durée de vie plus longue.

Annexe E
(informative)

Surtension temporaire dans le réseau à basse tension due à des défauts entre le réseau à haute tension et la terre

E.1 Généralités

Les événements suivants sont à l'origine des surtensions temporaires les plus sévères définies dans l'IEC 60050-614-03-13 et proposées dans l'IEC 60364-4-44. Il convient de prendre en considération les surtensions temporaires dues à des défauts à la terre dans le réseau à haute tension et à des défauts dans le réseau à basse tension. Les conditions suivantes doivent être prises en considération:

– un défaut entre le réseau à haute tension et la terre dans un poste de transformation qui alimente le réseau de distribution à basse tension, en fonction des différents réseaux BT (TN, TT, IT) et des différentes configurations de mise à la terre entre le réseau HT et le réseau BT.
– une rupture du neutre d'alimentation dans le réseau à basse tension ou l'installation,
– un court-circuit dans le réseau à basse tension ou l'installation,
– une mise à la terre involontaire (défaut à la terre) d'un conducteur de ligne d'un schéma IT à basse tension

Les exigences relatives à l'installation de mise à la terre au niveau du poste de transformation au-dessus de 1 kV sont données dans l'IEC 61936-1.

Dans les schémas IT, les parties actives doivent être isolées de la terre ou y être reliées par une impédance suffisamment élevée. En cas de mise à la terre involontaire (défaut à la terre en premier défaut), aucune déconnexion n'est exigée, les schémas IT étant donc de plus en plus utilisés pour assurer la continuité de l'alimentation, même dans des conditions de premier défaut.

La condition suivante doit être satisfaite: $U_f \leq R_A \times I_d \leq 50$ V

Un contrôleur d'isolement est fourni pour indiquer l'occurrence d'un premier défaut. Il est recommandé d'éliminer un premier défaut le plus rapidement possible. C'est la raison pour laquelle la situation est différente entre les schémas TT/TN et les schémas IT BT. Dans les schémas IT, le défaut à la terre dans le réseau à haute tension peut se produire en même temps qu'un défaut à la terre dans le réseau à basse tension pendant une durée indéfinie.

Pour les parafoudres connectés entre la phase et la terre (PE) à l'intérieur d'une installation à basse tension IT, il est exigé que U_C soit supérieur ou égal à la tension maximale du réseau entre phases afin de couvrir le premier défaut BT dont la durée est indéfinie.

Les lignes directrices de la présente annexe donnent des informations particulières relatives au choix correct des parafoudres à l'intérieur de l'installation à basse tension, en cas de défaut entre le réseau d'alimentation à haute tension et la terre dans le poste de transformation qui alimente le réseau de distribution à basse tension.

Les parafoudres connectés au réseau de distribution à basse tension peuvent être affectés par les tensions de contrainte à fréquence industrielle lors d'un défaut à la terre côté haute tension dans le poste de transformation. L'éventuel courant de contrainte à fréquence industrielle est important pour le comportement vis-à-vis des défaillances du parafoudre sélectionné. Dans les réseaux à basse tension, différents types de connexions de terre sont connus et peuvent donner lieu à différentes tensions de contrainte (U_1 et U_2) et à différents courants de contrainte selon le type de connexion de terre. Selon le type de connexion de terre, U_1 et U_2 peuvent être différents, différentes tensions de contrainte à fréquence

industrielle pouvant donc se produire côté basse tension du poste de transformation et dans l'installation à basse tension côté utilisateur (charge). Pour les schémas IT, il faut tenir compte de l'existence d'un premier défaut à la terre BT soit dans le poste de transformation, soit dans l'installation BT de l'utilisateur. Les articles suivants donnent des informations pertinentes et des méthodes de calcul de la surtension temporaire $U_{TOV(BT)}$.

E.2 Références

– IEC 60364-5-53

– IEC 60364-4-44

– IEC 60364-1

– IEC 61936-1

E.3 Symboles

Les symboles suivants sont utilisés:

I_E partie du courant de défaut à la terre du réseau à haute tension s'écoulant dans l'installation de mise à la terre du poste de transformation.

R_E résistance de l'installation de mise à la terre du poste de transformation

R_A résistance de l'installation de mise à la terre des parties conductrices exposées du matériel de l'installation à basse tension.

R_B résistance de l'installation de mise à la terre du neutre du réseau à basse tension, pour les réseaux à basse tension dans lesquels les installations de mise à la terre du poste de transformation et du neutre du réseau à basse tension sont indépendantes d'un point de vue électrique.

U_O dans les schémas TN et TT: valeur nominale de la tension alternative efficace de ligne à la terre.

NOTE 1 Dans les schémas IT: valeur nominale de la tension alternative entre le conducteur de ligne et le conducteur neutre ou le conducteur de point milieu, selon le cas. Dans les schémas IT sans neutre, le symbole U est en principe utilisé, et la référence est la tension entre phases.

U_f tension de défaut à fréquence industrielle qui apparaît dans le réseau à basse tension entre les parties conductrices exposées et la terre pendant la durée du défaut.

U_1 tension de contrainte à fréquence industrielle entre le conducteur de ligne et les parties conductrices exposées du matériel à basse tension du poste de transformation pendant le défaut.

U_2 tension de contrainte à fréquence industrielle entre le conducteur de ligne et les parties conductrices exposées du matériel à basse tension de l'installation à basse tension pendant le défaut.

NOTE 2 La tension de contrainte à fréquence industrielle (U_1 et U_2) est la tension qui apparaît dans l'isolation du matériel à basse tension et dans les parafoudres entre les fils actifs et la terre de protection (PE) reliée au réseau à basse tension.

Les symboles supplémentaires suivants sont utilisés en ce qui concerne les schémas IT dans lesquels les parties conductrices exposées du matériel de l'installation à basse tension sont reliées à une installation de mise à la terre indépendante d'un point de vue électrique de l'installation de mise à la terre du poste de transformation.

I_h courant de défaut qui circule à travers l'installation de mise à la terre des parties conductrices exposées du matériel de l'installation à basse tension, pendant une durée au cours de laquelle l'installation à basse tension fait l'objet d'un défaut à haute tension et d'un premier défaut.

I_d courant de défaut qui circule à travers l'installation de mise à la terre des parties conductrices exposées de l'installation à basse tension pendant le premier défaut dans un réseau à basse tension.

Z impédance (impédance interne du CPI, impédance neutre artificielle, par exemple) entre le réseau à basse tension et l'installation de mise à la terre. Dans les schémas IT sans neutre et les schémas IT-Delta, le conducteur de référence est un conducteur de ligne.

E.4 Surtensions dans les réseaux BT pendant un défaut à la terre à haute tension

En cas de défaut à la terre côté HT du poste, les types de surtensions suivants peuvent avoir un impact sur l'installation BT:

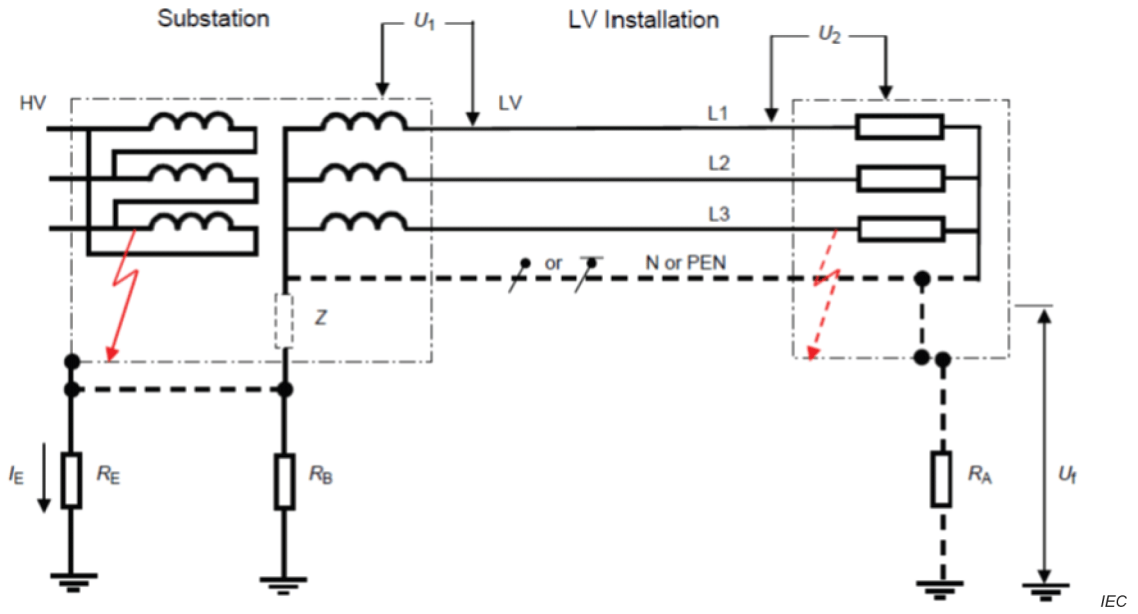
– tension de défaut à fréquence industrielle (U_f);

– tensions de contrainte à fréquence industrielle (U_1 et U_2)

Les éventuelles tensions de contrainte à fréquence industrielle sur le matériel et les parafoudres sont données dans le Tableau E.1.

Tableau E.1 – Tensions de contrainte à fréquence industrielle admissibles conformément à l'IEC 60364-4-44

Durée du défaut à la terre dans le réseau à haute tension t	Tension de contrainte à fréquence industrielle admissible dans les installations à basse tension U
> 5 s	U_o + 250 V
≤ 5 s	U_o + 1200 V
Dans les réseaux sans conducteur de neutre, U_o doit être la tension entre phases.	
NOTE 1 La première ligne du tableau est relative aux réseaux à haute tension ayant des temps de coupure longs (les réseaux à haute tension à neutre isolé ou compensé par bobine d'extinction, par exemple). La seconde ligne du tableau est relative aux réseaux à haute tension ayant des temps de coupure courts (les réseaux à haute tension mis à la terre à faible impédance, par exemple). Les deux lignes ensemble sont des critères de conception à prendre en considération quant à l'isolation des matériels à basse tension en ce qui concerne les surtensions à fréquence industrielle temporaires (voir l'IEC 60664-1). NOTE 2 Dans un réseau dont le neutre est relié à l'installation de mise à la terre du poste de transformation, cette surtension à fréquence industrielle temporaire est également à prévoir dans l'isolation qui n'est pas dans l'enveloppe mise à la terre lorsque le matériel est à l'extérieur du bâtiment.	



Anglais	Français
Substation	Poste
LV Installation	Installation BT
N or PEN	N ou PEN

Figure E.1 – Schéma représentatif des connexions possibles à la terre dans les postes et dans les installations BT, et surtensions apparaissant en cas de défauts

En présence de schémas de liaison à la terre à haute tension et à basse tension séparés à proximité l'un de l'autre, deux méthodes sont actuellement utilisées:

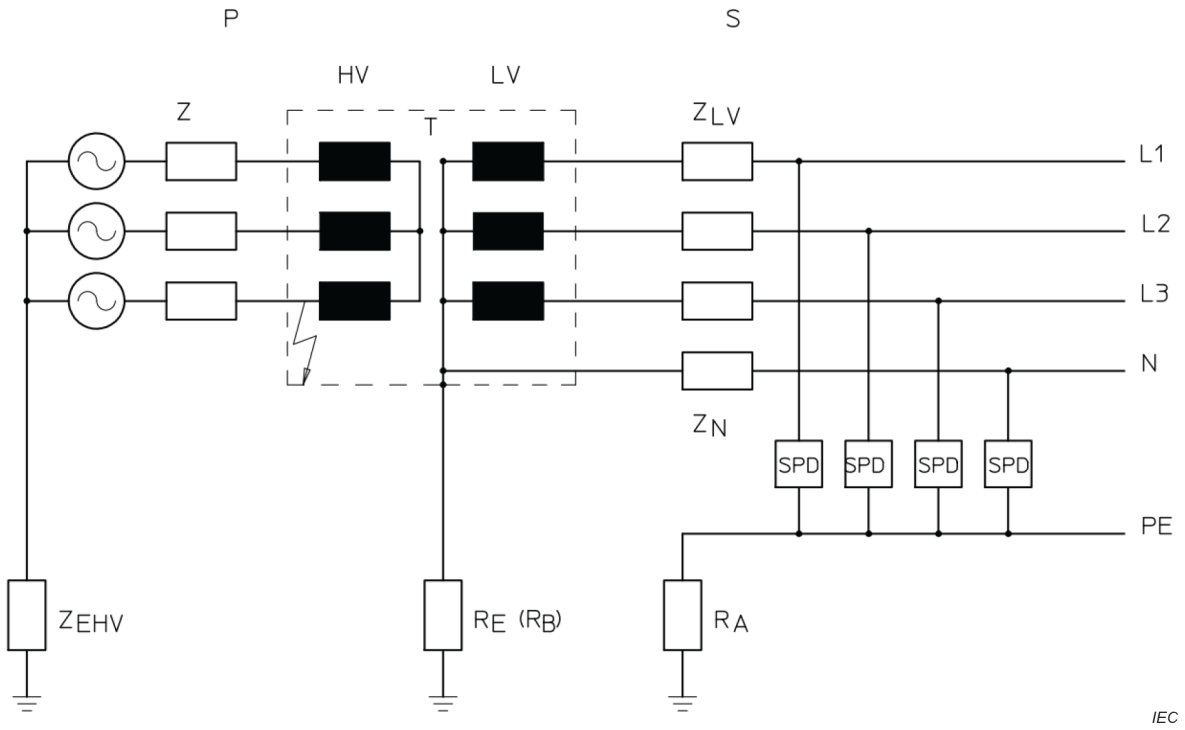
– interconnexion de tous les schémas de liaison à la terre à haute tension (R_E) et à basse tension (R_B) dans le schéma TN/TT
– interconnexion de tous les schémas de liaison à la terre à haute tension (R_E) et à basse tension (Z et R_A) dans le schéma IT
– séparation des schémas de liaison à la terre à haute tension (R_E) et à basse tension (R_B) dans le schéma TN/TT
– séparation des schémas de liaison à la terre à haute tension (R_E) et à basse tension (Z et R_A) dans le schéma IT

La méthode générale utilisée est l'interconnexion. Les schémas de liaison à la terre à haute tension et à basse tension doivent être interconnectés si le réseau à basse tension est intégralement confiné à l'intérieur de la zone couverte par le schéma de liaison à la terre à haute tension (voir l'IEC 61936-1).

NOTE Les détails des différents types de mises à la terre du réseau (TN, TT, IT) sont présentés dans l'IEC 60364-1

E.5 Exemple d'un schéma TT – Calcul de surtensions temporaires possibles

E.5.1 Contraintes possibles sur des matériels dans des installations à basse tension dues à des défauts à la terre dans le réseau à haute tension



Anglais	Français
SPD	Parafoudre
HV	HT
LV	BT

Légende

P: Réseau HT; S: Réseau BT; T: Transformateur;

Z_{EHV}: Impédance de l'installation de mise à la terre du réseau à haute tension (dépendant du régime de point neutre du réseau à haute tension)

Z_{LV}, Z_N: Impédance de ligne et impédance du conducteur de neutre

Figure E.2 – Exemple de schéma TT avec mise à la terre combinée du poste de transformation R_E avec mise à la terre de point milieu BT (neutre mis à la terre) R_B

Un défaut à la terre dans le réseau HT influence les tensions du réseau BT si le point neutre du transformateur côté basse tension est mis à la terre (Figure E.2). En l'absence de conducteur de terre commun des points neutres du transformateur, un défaut à la terre (claquage du transformateur, amorçage d'un éclateur ou défaut interne du transformateur, par exemple) induit une élévation de tension du réseau BT au point neutre. Le courant à la terre du réseau HT s'écoulant dans l'impédance R_E explique l'élévation de tension au point neutre du transformateur. C'est la raison pour laquelle la valeur de R_E et la valeur du courant à la terre déterminent la valeur de la surtension à fréquence industrielle temporaire dans le réseau BT.

E.5.2 Caractéristiques du réseau à haute tension

E.5.2.1 Réseau à haute tension avec courant à la terre limité

En réalisant la mise à la terre du réseau HT par une bobine de Petersen, le courant à la terre est limité à I_E = 50 A à 60 A, afin d'assurer l'autoextinction de l'arc.

L'impédance résiduelle de terre du réseau HT est donc Z_{EHT} = 100 Ω à 500 Ω et le courant à la terre est seulement déterminé par Z_{EHT}. La puissance de court-circuit et la résistance de terre R_E (R_B) et R_A n'ont aucune influence notable.

Dans les réseaux BT alimentés par des réseaux HT avec courant à la terre limité, il convient que l'impédance de l'installation de mise à la terre au niveau du poste de transformation soit de R_E = 2,5 Ω à 5 Ω. Avec un courant à la terre I_E = 50 A, la tension entre neutre et terre s'élève à $U_{TOV(HT)}$ ≈ 125 V à 250 V. Dans un schéma TT, cette surtension temporaire contraint l'isolation et les éléments de protection contre les surtensions s'ils sont installés. Le courant maximal conduit par $U_{TOV(HT)}$ à travers un élément de protection contre les surtensions installé entre neutre et terre est définitivement inférieur à 50 A. C'est pourquoi il convient que des éclateurs entre neutre et terre soient aptes à interrompre des courants alternatifs faibles.

NOTE Dans certains pays, la valeur de $U_{TOV(HT)}$ atteint parfois 500 V, étant donné que la résistance de terre R_E peut atteindre 10 Ω.

E.5.2.2 Réseaux à haute tension avec mise à la terre du neutre par faible résistance ohmique

Pour les réseaux complètement souterrains, la limitation du courant de terre n'est plus une possibilité d'autoextinction du courant de terre (un défaut d'isolement dans le câble endommage l'isolation). Pour cette raison, un nombre croissant de réseaux HT fonctionnent avec mise à la terre du neutre par faible résistance ohmique. En général, il convient que la résistance à la terre Z_{EHT} limite le courant de court-circuit à la terre à I_E ≈ 2 kA.

Pour un réseau HT de tension assignée U_n = 20 kV, une résistance à la terre Z_{EHT} ≈ 5 Ω satisfait à cette exigence. Des petits postes de transformation ont souvent une protection non onéreuse contre les surintensités. C'est pourquoi les fusibles sont utilisés pour interrompre les courants de court-circuit. La durée d'interruption est de l'ordre de 100 ms, en fonction du courant assigné du fusible.

En prenant pour hypothèse un réseau typique de 20 kV avec les paramètres suivants:

$$Z_{EHT} = 5\ \Omega;\ P_{\text{court-circuit}} = 100\ \text{MVA};\ U_n = 20\ \text{kV (L-L)};$$

et un réseau BT caractérisé par:

$$R_E = 1\ \Omega \qquad U_n = 230\ \text{V}$$

$$R_A = 5\ \Omega \qquad Z_{BT} = Z_N = 150\ \text{m}\Omega$$

une surtension temporaire dans R_E de $U_{TOV(HT)}$ ≈ 1 200 V apparaît.

Le courant maximal s'écoulant dans un élément de protection contre les surtensions installé entre neutre et terre dépend du rapport entre R_E et la somme de R_A et Z_N. Pour cet exemple de schéma TT, un courant ≈ 200 A peut être calculé.

E.6 Surtensions à fréquence industrielle temporaires en fonction des réseaux BT et des différents types de configurations de mise à la terre

E.6.1 Généralités

Les tensions de contrainte à fréquence industrielle et la tension de défaut à fréquence industrielle dans les réseaux à basse tension pendant un défaut à la terre à haute tension sont présentées dans le Tableau E.2.

Tableau E.2 – Tensions de contrainte à fréquence industrielle et tension de défaut à fréquence industrielle dans les réseaux à basse tension pendant un défaut à la terre à haute tension

Type de mise à la terre du réseau	Types de connexions de terre	*Emplacement du premier défaut à la terre BT*	U_1	U_2	U_f
TT	*Configuration 1* *Figure E.4a:* R_E et R_B connectés $R_E = R_B$, séparés R_A	*N.A.*	U_O	$R_E \times I_E + U_O$	*0*
	Configuration 2 *Figure E.4b:* R_E et R_B séparés et R_A séparé	*N.A*	$R_E \times I_E + U_O$	U_O	*0*
TN	*Configuration 3* *Figure E3a:* R_E et R_B connectés $R_E = R_B = R_A$	*N.A.*	U_O	U_O	$R_E \times I_E$
	Configuration 4 *Figure E.3b:* R_E et R_B séparés $R_B = R_A$	*N.A.*	$R_E \times I_E + U_O$	U_O	*0*
IT	*Configuration 5* *Figure E6:* R_E et Z connectés $R_E = R_B$ et R_A séparés [1]	*sans défaut BT*	U_O	$R_E \times I_E + U_O$ *****	0 ***
		côté transformateur	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_E \times I_E + U_O \times \sqrt{3}$	0 ***
		côté utilisateur	$R_E \times I_E + U_O \times \sqrt{3}$	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_A \times I_E \times R_E / Z$ ***
	Configuration 6 *Figure E.5:* R_E et Z connectés $R_E = R_B$ et R_A interconnecté [2)]	*sans défaut BT*	U_O	U_O	$R_E \times I_E$
		côté transformateur	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_E \times I_E$
		côté utilisateur	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_E \times I_E$
	Configuration 7 *Figure E.7:* R_E et Z séparés R_E et R_A séparés	*sans défaut BT*	$R_E \times I_E + U_O$ **)***)	U_O	0 ***
		côté transformateur	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_E \times I_E + U_O \times \sqrt{3}$	0 ***
		côté utilisateur	$R_E \times I_E + U_O \times \sqrt{3}$	$U_O \times \sqrt{3}$ *	$R_A \times I_E \times R_E / Z$ ***

* Il n'est pas nécessaire de formuler de prise en considération, car l'U_C du parafoudre doit être choisi comme étant supérieur ou égal à la tension entre phases pour être utilisé dans des schémas IT.

** Dans ces conditions de défaut à la terre HT, la tension de contrainte maximale peut apparaître, mais le courant de contrainte est limité par l'impédance *Z*.

*** Il est nécessaire de prendre en considération le fait qu'une action de limitation en tension d'un parafoudre en un emplacement se traduit immédiatement par une contrainte similaire pour les parafoudres de l'installation BT en d'autres emplacements, si les parafoudres sont installés des deux côtés.

Type commun et préférentiel d'installation de mise à la terre dans des réseaux BT IT

Type commun et préférentiel d'installation de mise à la terre dans des réseaux BT IT industriels

NOTE 1 Pour le schéma IT, un premier défaut BT simultané est considéré comme étant présent au niveau du poste de transformation côté BT ou de l'installation BT côté utilisateur.

NOTE 2 Dans les schémas TT et TN, les déclarations "connecté" et "séparé" font référence à la connexion électrique entre R_E et R_B. Pour les schémas IT, elles font référence à la connexion électrique entre R_E et Z et à la connexion entre R_E et R_A.

E.6.2 Conclusion – Courant de contrainte des parafoudres le plus défavorable pour le comportement HT-TOV des parafoudres

En cas de défaut à la terre côté HT du poste, les valeurs de courant suivantes peuvent avoir un impact sur les parafoudres, s'ils sont reliés à la terre (N à PE, L à PE), dans différents réseaux et avec différentes installations de mise à la terre, conformément au tableau ci-dessus:

Dans les schémas IT:

– Jusqu'à 300 A dans tous les réseaux, où une séparation entre les installations de mise à la terre HT (R_E) et BT (R_A) est réalisée et où un premier défaut à la terre BT est présent.
– Aucune tension de contrainte et aucune contrainte de courant n'apparaît dans les schémas IT, où les installations de mise à la terre HT et BT sont interconnectées, même en cas de premier défaut à la terre BT.
– Dans les schémas IT, où une séparation entre la mise à la terre HT et la mise à la terre BT est réalisée, le courant de contrainte est limité par l'impédance Z tant qu'il n'existe aucun premier défaut à la terre BT, mais cette situation idéale est influencée par l'action de limitation de tension d'un parafoudre, qu'elle ait lieu côté transformateur ou côté utilisateur. Le courant de contrainte HT-TOV dans l'installation BT peut augmenter jusqu'à 300 A.

Dans les schémas TT:

– jusqu'à 300 A côté transformateur uniquement, où une séparation entre les installations de mise à la terre HT (R_E) et BT (R_B) est réalisée.
– jusqu'à 300 A côté utilisateur uniquement, où une connexion entre les installations de mise à la terre HT (R_E) et BT (R_B) est réalisée.

Dans les schémas TN:

– jusqu'à 300 A côté transformateur uniquement, où une séparation entre les installations de mise à la terre HT (R_E) et BT (R_B) est réalisée.
– Aucune tension de contrainte et aucune contrainte de courant n'apparaît dans les schémas TN, où les les installations de mise à la terre HT et BT sont connectées (interconnectées).

E.6.3 Conclusion – Source d'essai du cas le plus défavorable pour le comportement HT-TOV des parafoudres, si le parafoudre est relié à la terre entre N-PE et/ou L-PE:

Pour les configurations 1, 5 et 7: 1 200 V en courant alternatif (N-PE); U_o + 1 200 V en courant alternatif (L-PE)/300 A pour 200 ms (si le parafoudre est utilisé côté utilisateur BT ou s'il est inconnu)

Pour les configurations 2 et 4: 1 200 V en courant alternatif (N-PE); U_o + 1 200 V en courant alternatif (L-PE)/300 A pour 200 ms (si le parafoudre est utilisé côté transformateur BT ou s'il est inconnu)

Pour les configurations 3 et 6: Aucun essai n'est nécessaire si le parafoudre est uniquement utilisé dans les schémas TN et IT dans lesquels les installations de mise à la terre HT et BT sont interconnectées.

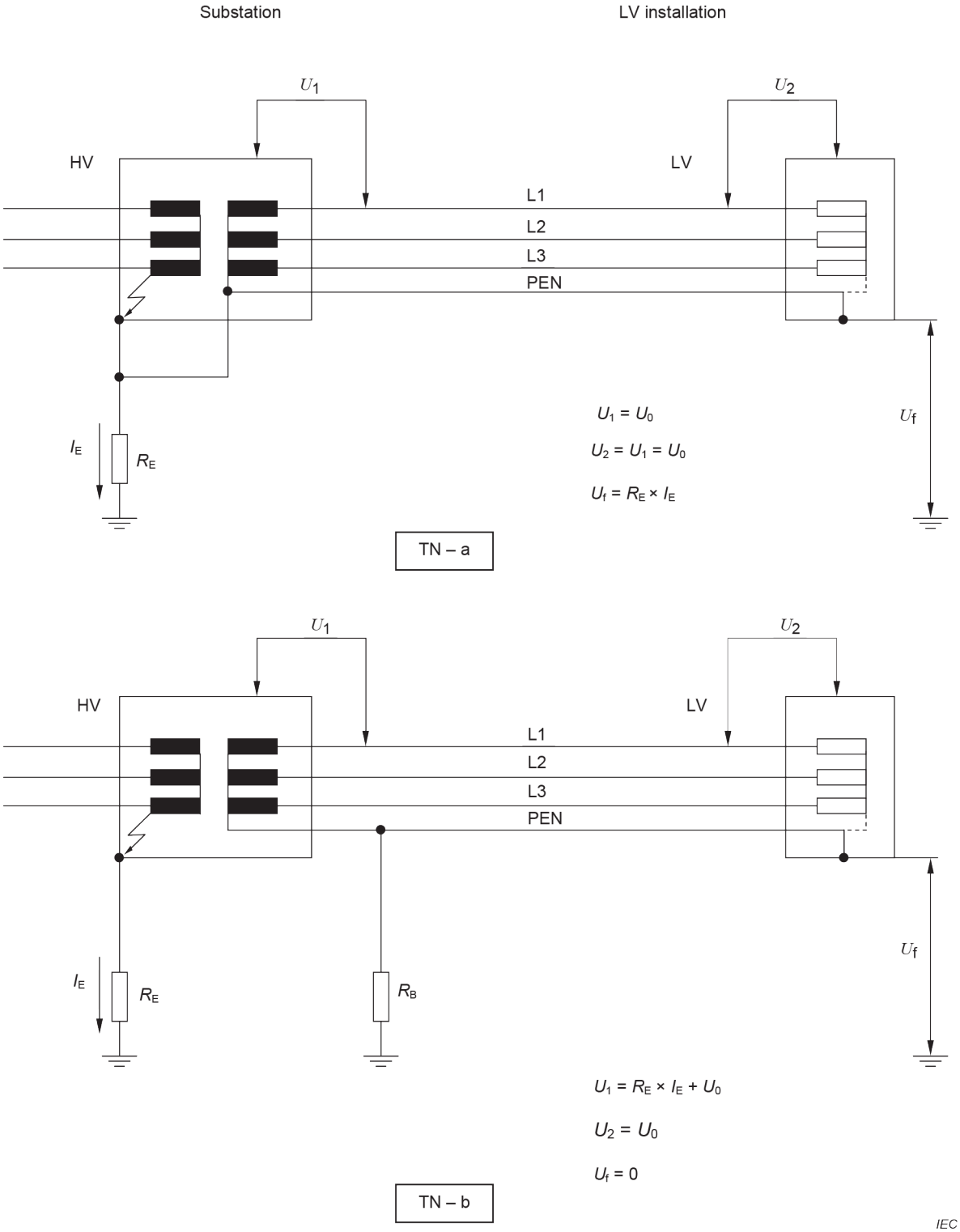
NOTE 1 Dans les réseaux sans conducteur de neutre, U_o est la tension entre phases.

Le parafoudre doit réussir ce type d'essai en mode de tenue ou en comportement de fin de vie sûr pour les applications et les configurations système fournies par le fabricant (IEC 61643-11).

Pour le choix et l'installation des parafoudres, les critères de réussite doivent correspondre à ceux de l'IEC 60364-5-534.

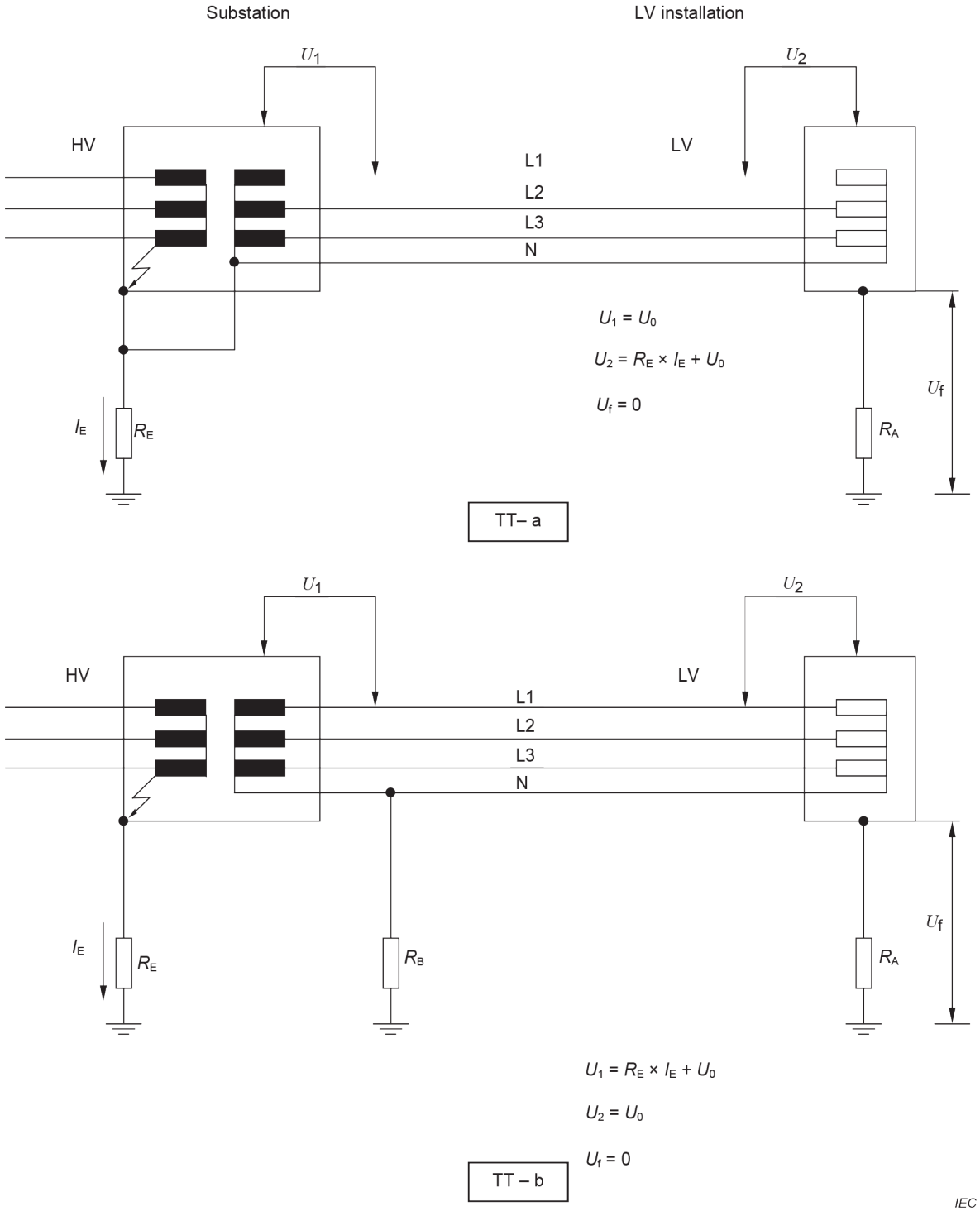
NOTE 2 Les parafoudres dont le fabricant déclare dans les instructions d'installation qu'ils sont installés dans des schémas TT entre le neutre et la terre de protection (PE), en amont du DDR principal, doivent être pris en considération avec les critères du mode de tenue TOV. Cela couvre l'application décrite en 534.2.3.3 de l'IEC 60364-5-53:2001.

E.6.4 Exemples de différents réseaux BT et de leurs possibles configurations de mise à la terre



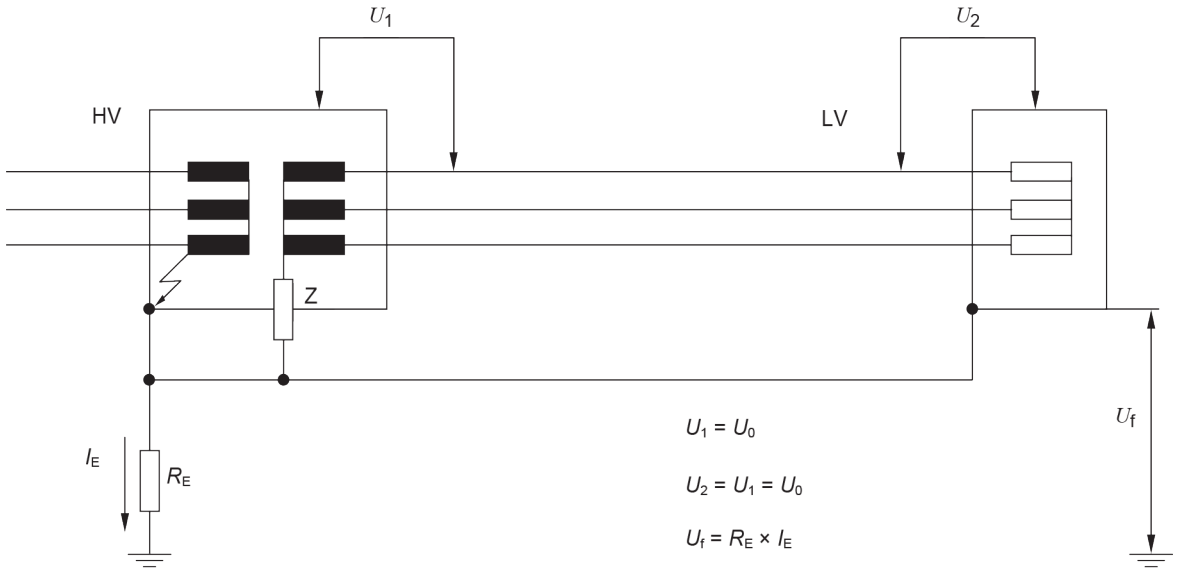
Anglais	Français
Substation	Poste
LV installation	Installation BT
LV	BT
HV	HT

Figure E.3 – Schéma TN (Figure 44B de l'IEC 60364-4-44:2007)

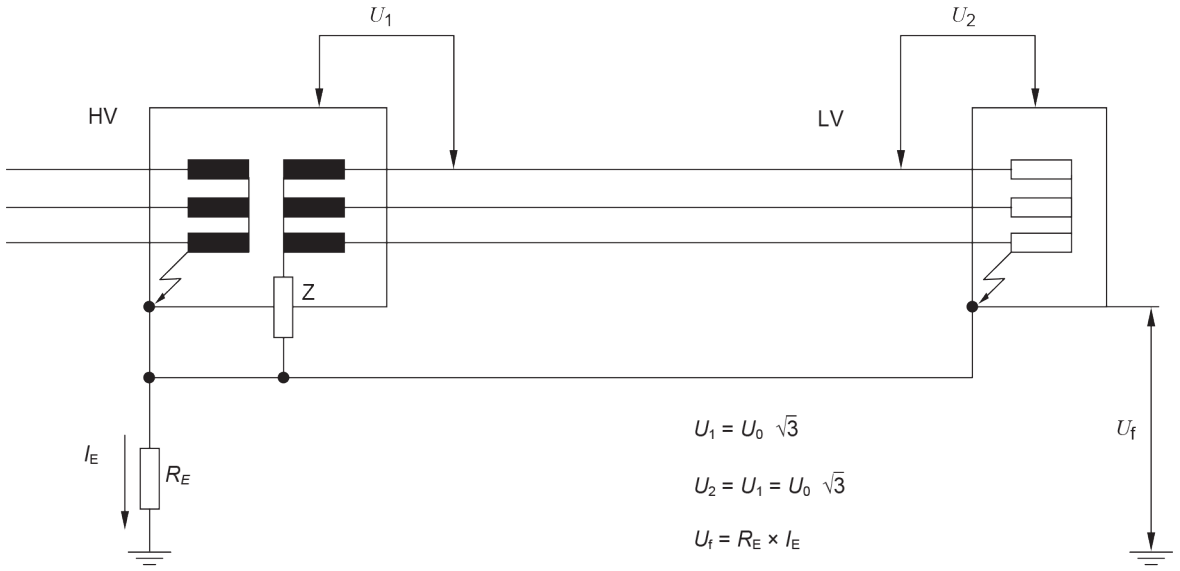


Anglais	Français
Substation	Poste
LV installation	Installation BT
LV	BT
HV	HT

Figure E.4 – Schéma TT (Figure 44C de l'IEC 60364-4-44:2007)



1. No fault exists in the LV system

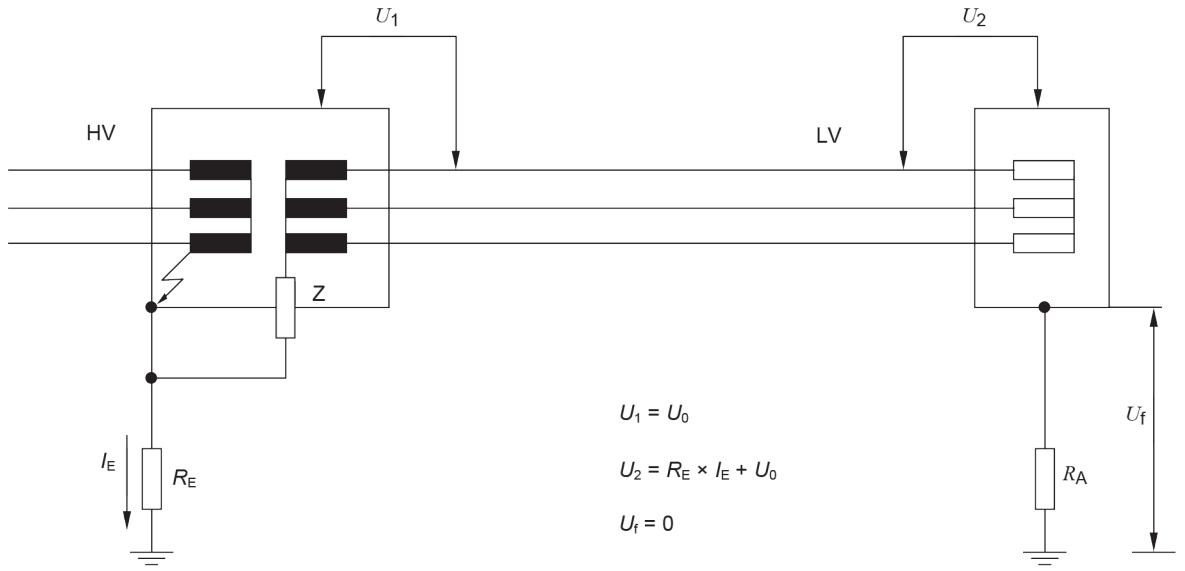


2. A first fault exists in the LV system

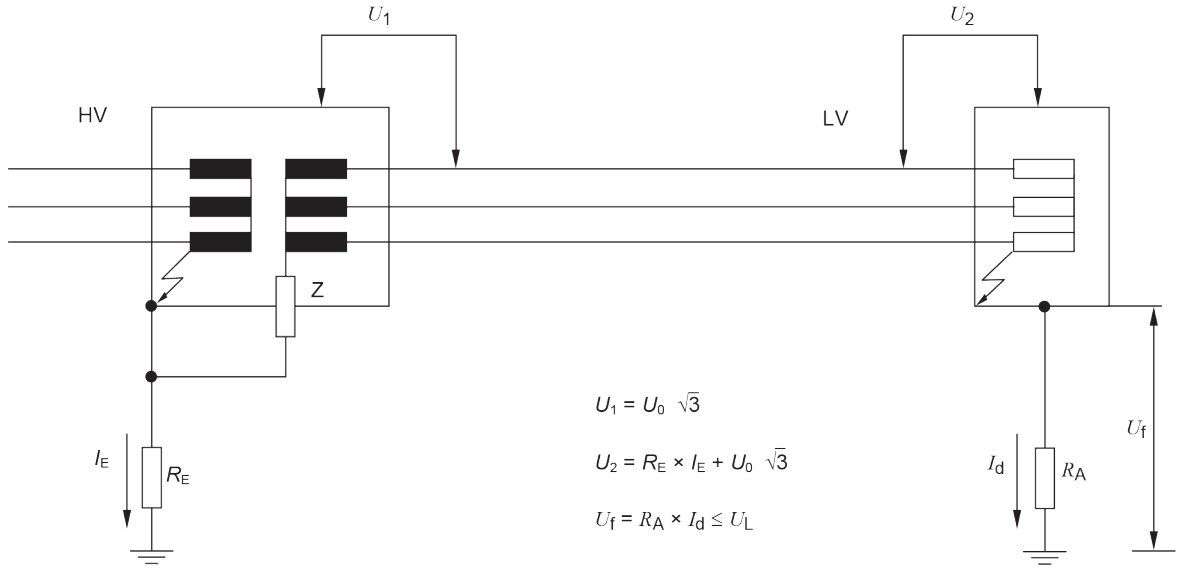
IEC

Anglais	Français
No fault exists in the LV system	Absence de défaut dans le réseau BT
A first fault exists in the LV system	Présence d'un premier défaut dans le réseau BT
LV	BT
HV	HT

Figure E.5 – Schéma IT, exemple a (Figure 44D de l'IEC 60364-4-44:2007)



1. No fault exists in the LV system

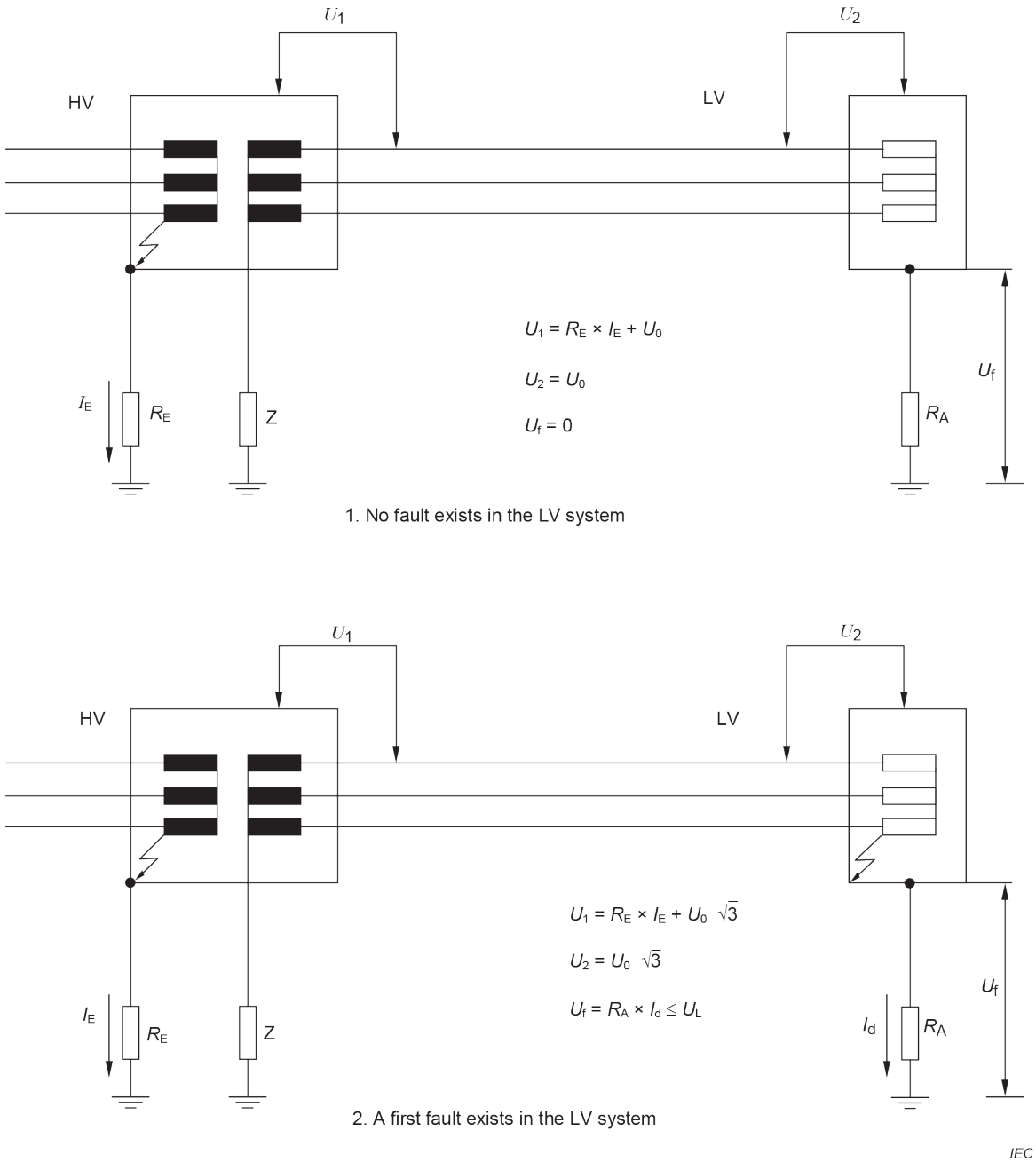


2. A first fault exists in the LV system

IEC

Anglais	Français
No fault exists in the LV system	Absence de défaut dans le réseau BT
A first fault exists in the LV system	Présence d'un premier défaut dans le réseau BT
LV	BT
HV	HT

Figure E.6 – Schéma IT, exemple b (Figure 44F de l'IEC 60364-4-44:2007)



Anglais	Français
No fault exists in the LV system	Absence de défaut dans le réseau BT
A first fault exists in the LV system	Présence d'un premier défaut dans le réseau BT
LV	BT
HV	HT

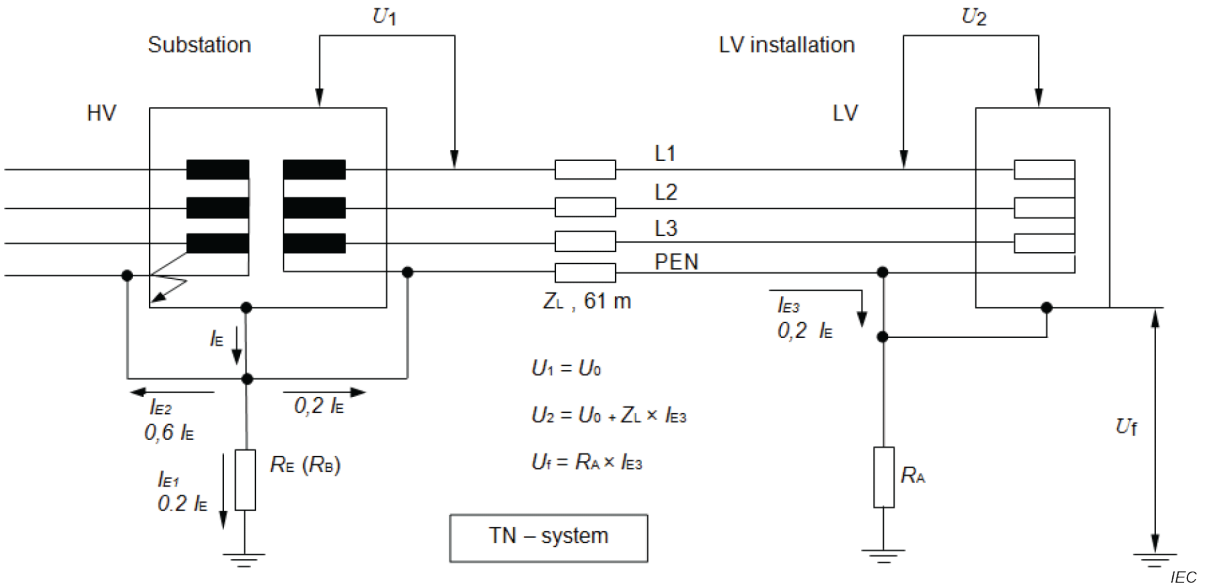
Figure E.7 – Schéma IT, exemple c1 (Figure 44E de l'IEC 60364-4-44:2007)

E.7 Valeurs des surtensions temporaires pour le schéma TN C des USA

La Figure E.8 donne un exemple de répartition du courant de défaut pour un défaut côté haute tension d'un transformateur de distribution. Dans cet exemple, il est pris pour hypothèse que la résistance de terre du transformateur et de l'entrée de l'installation est de 15 Ω.

$U_1 = U_0$, où U_0 est la tension maximale de fonctionnement au secondaire.

Z_L est l'impédance des conducteurs de ligne entre le transformateur et le tableau de distribution.



Anglais	Français
Substation	Poste
LV installation	Installation BT
LV	BT
HV	HT
TN – system	Schéma TN

Figure E.8 – Surtension temporaire résultant d'un défaut dans le primaire (réseau MT à 4 fils – mise à la terre directe) du transformateur de distribution dans un schéma TN conformément à la pratique en vigueur en Amérique du Nord

Cet exemple traite d'un cas typique représentatif d'un circuit de distribution 23 kV/13,2 kV Y d'Amérique du Nord avec un courant de défaut maximal (I_E) de 10 kA. L'impédance (Z_L) de 0,041 Ω est typique pour des conducteurs du secondaire en triplex utilisés avec une installation triphasée de transformateurs de distribution aérienne monophasés de 3 kVA à 25 kVA. Une distance d'environ 60 m en conducteurs cuivre 4/0 AWG (valeur équivalente selon l'IEC 60999-1: 25 mm^2) a été utilisée pour les calculs. L'hypothèse de la répartition du courant de défaut se fonde sur les calculs et le mesurage du champ lors d'un défaut d'un circuit de distribution avec mises à la terre multiples.

Dans cet exemple $U_0 = 132$ V

$U_1 = U_0 = 132$ V

$U_2 = U_0 + 0{,}2 \times I_E \times Z_L = 132 + 0{,}2 \times 10\,000 \times 0{,}04 = 214$ V

Bien que ceci indique une surtension de 1,78 fois la tension nominale du réseau (1,78 p.u.), en prenant pour hypothèse que $R_E >> R_A$, pour la même condition de défaut, il peut être démontré qu'une valeur $U_2 = 294$ V ou 2,45 fois la tension nominale du réseau (2,45 p.u.) peut être obtenue. Cette surtension temporaire (TOV) dure jusqu'à ce que le défaut soit éliminé soit par un fusible, soit par l'ouverture de disjoncteurs en amont ou de contacteurs. Le temps de fonctionnement de ces dispositifs varie de 0,016 s à 1,5 s en fonction des caractéristiques du dispositif d'isolation de défaut. Des longueurs plus courtes des

conducteurs de branchement et des courants de défaut plus faibles entraînent des conditions moins sévères.

Bien que cet exemple indique qu'un premier défaut peut induire une surtension temporaire de 2,45 par unité de la tension nominale du réseau, il s'agit d'une condition extrêmement rare. Il est rare que des circuits de distribution aient des courants de défaut réels de 10 kA. La moyenne des courants de défaut dans le circuit de distribution est inférieure à 4 kA. Ainsi, la surtension temporaire est très réduite. Des distributions secondaires de grande longueur sont inhabituelles. Les longueurs de distribution inférieure induisent des surtensions plus faibles. En général, les longueurs secondaires ne dépassent pas 30 m. C'est pourquoi, si le courant de défaut est de 4 kA et que la longueur secondaire est inférieure à 30 m, la surtension temporaire est d'environ 1,24 fois par unité de la tension nominale du réseau, ou 148,4 V.

E.8 Valeurs des surtensions temporaires utilisées dans l'IEC 61643-11 avec des explications

E.8.1 Généralités

La procédure d'essai dépend de l'application prévue d'un parafoudre dans un réseau de distribution à basse tension selon les instructions d'installation données par le fabricant.

Pour les réseaux définis dans la série IEC 60364, les tensions maximales du réseau tenant compte de la fluctuation de tension sont fournies dans le Tableau E.4, les valeurs de surtension temporaire obtenues étant indiquées dans le Tableau E.3.

Le Tableau E.3 donne les valeurs d'essai les plus défavorables les pour l'emplacement du parafoudre côté utilisateur d'un réseau BT (voir l'IEC 60364). Aucun essai HT-TOV n'est exigé dans les réseaux BT IT lorsque la configuration de mise à la terre entre le côté utilisateur HT et BT est interconnectée. Pour ces types de schémas IT interconnectés, des informations supplémentaires sont données à l'Article E.6.

Tableau E.3 – Valeurs d'essai de TOV pour des réseaux conformes à la série IEC 60364

Application	Paramètres d'essai TOV		
Parafoudres raccordés à:	Pour t_T = 5 s (défauts du réseau BT dans l'installation de l'utilisateur)	Pour t_T = 120 min (défauts du réseau BT dans le réseau de distribution et rupture du neutre	Pour t_T = 200 s (défauts du réseau HT)
	Mode de tenue exigé	Mode de tenue ou comportement de fin de vie sûr acceptable	Mode de tenue ou comportement de fin de vie sûr acceptable
	Valeurs d'essai de TOV U_T (V)		
Schémas TN			
L-(PE)N ou L-N connecté	1,32 × U_{REF}	√3 × U_{REF}	
N-PE connecté			
L-L connecté			
Schémas TT			
L-PE connecté	√3 × U_{REF}	1,32 × U_{REF}	1 200 + U_{REF}
L-N connecté	1,32 × U_{REF}	√3 × U_{REF}	
N-PE connecté			1 200
L-L connecté			
Schémas IT			
L-PE connecté			1 200 + U_{REF}
L-N connecté	1,32 × U_{REF}	√3 × U_{REF}	
N-PE connecté			1 200 + U_{REF}
L-L connecté			

U_{REF} tension d'essai de référence utilisée pour les essais et tenant compte de la fluctuation de tension maximale du réseau (voir l'Annexe A).

U_o dans des schémas TN et TT: valeur nominale de la tension alternative efficace de ligne à la terre; dans des schémas IT: tension alternative nominale entre le conducteur de ligne et le conducteur neutre ou le conducteur de point milieu, selon le cas (voir 442.1.2 de l'IEC 60364-4-44).

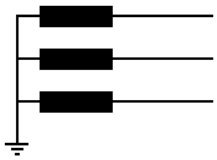
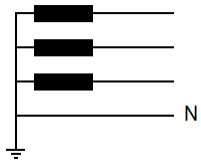
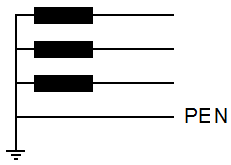
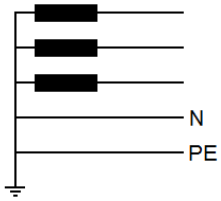
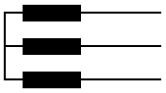
1,32 × U_{REF} est égale à 1,45 × U_o si les fluctuations de tension ne dépassent pas +10 % (voir 442.5 de l'IEC 60364-4-44).

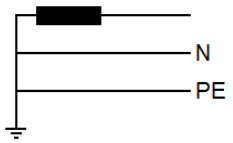
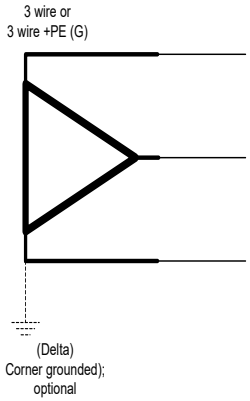
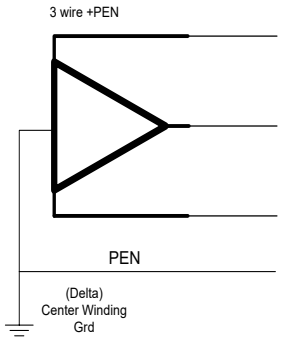
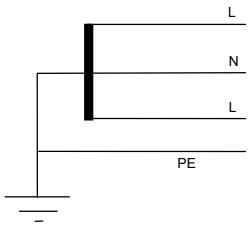
NOTE Sachant que les fluctuations de tension du réseau dépassent 10 % dans certains pays, la valeur U_{REF} est utilisée dans le présent document pour application générale uniquement. De plus amples informations sur la fluctuation de tension peuvent être trouvées dans l'IEC 60038.

Les valeurs du Tableau E.3 s'appliquent pour tous les parafoudres qui doivent être soumis à l'essai et déclarés conformément à l'IEC 61643-11. Pour les applications spécifiques et dans des conditions différentes de celles indiquées dans le Tableau E.1 et autres que les exigences particulières relatives au réseau de distribution ci-dessous, les valeurs d'essai de TOV supplémentaires U_T et la durée de l'essai peuvent être définies entre le fabricant et l'utilisateur, en fonction des configurations et conditions réelles du réseau. Ces valeurs de U_T et la ou les durées correspondantes doivent être déclarées sur la fiche technique du parafoudre en plus des valeurs demandées dans le Tableau E.3.

Certains pays exigent des valeurs d'essai de TOV supplémentaires et des durées d'essai comme cela est indiqué ci-dessous (voir E.8.1 et E.8.2).

Tableau E.4 – Valeurs de tension d'essai de référence pour des réseaux conformes à la série IEC 60364

Réseau de distribution		Valeur nominale de la tension alternative du réseau L-PE / L-L V	Fluctuations de tension maximales prévues du réseau de distribution +(%)	Tension d'essai de référence U_{REF} (selon le mode de protection) V			
				L – N (PEN	L – PE	L – L	N – PE
Schéma TT triphasé Sans PE ni neutre distribué	3 câbles 	230 / 400	10	---	255	440	---
Schéma TT triphasé Avec neutre distribué	4 câbles 	230 / 400	10	255	255	440	255
Triphasé Schéma TN-C Avec PEN distribué	4 câbles 	230 / 400	10	255	255	440	---
Triphasé Schéma TN-S avec PE et neutre distribué	5 câbles 	230 / 400	10	255	255	440	255
		240 / 415	6	255	255	440	255
		120 / 208	10	132	132	230	132 [a]
		277 / 480	10	305	305	530	305 [a]
Schéma IT triphasé avec neutre distribué	4 câbles 	230 / 400	10	255	440	440	255
Schéma IT triphasé sans neutre distribué	3 câbles 	230	10	---	255	255	---

Réseau de distribution		Valeur nominale de la tension alternative du réseau L-PE / L-L V	Fluctuations de tension maximales prévues du réseau de distribution +(%)	Tension d'essai de référence U_{REF} (selon le mode de protection) V			
				L – N (PEN	L – PE	L – L	N – PE
monophasé Schéma TN-S	3 câbles  	230	10	255	255	---	255
		120		132	132		132
Triphasé (Triangle) schéma TN, TT ou IT, enroulement mis à la terre à une borne	 	230	10	---	264	264	---
		200 (202)			222	222	
		460		---	528	528	---
Triphasé (Triangle) schéma TN ou TT mis à la terre à prise médiane	 	230	10	132	264	264	---
		200 (202)		---	129 192	222	
		460		---	528	528	---
Schéma TN à phases séparées	 	120 / 240	10	132	132	264	132

NOTE Si des valeurs plus élevées de fluctuation de tension sont exigées pour certaines applications (+ 15 %, par exemple), elles font l'objet d'un accord particulier entre le fabricant et l'utilisateur.

[a] ces valeurs sont corrigées par rapport au Tableau A.1 de l'IEC 61643-11:2011 (correction rédactionnelle)

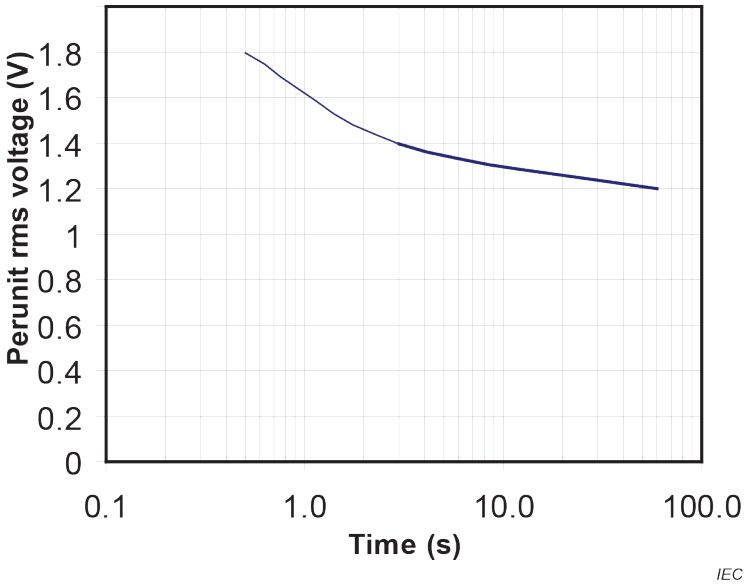
E.8.2 Valeurs des surtensions temporaires pour les réseaux américains

Pour les réseaux américains, les valeurs du réseau sont indiquées dans le Tableau E.5 conformément à l'IEEE 1159.

Tableau E.5 – Paramètres de TOV pour les réseaux américains

N° d'article et catégorie du Tableau 2 de l'IEEE 1159-2009	Durée maximale classique (s)	Tension efficace maximale classique (V)	Tension de crête classique (V)	Tenue aux TOV du parafoudre -+ 5 %
2.0 Variation de courte durée – 2.1 Instantanée – 2.1.2 Gonfler	0,5	1,8*U_0	2,55*U_0	1,89
2.0 Variation de courte durée – 2.2 Momentanée – 2.2.2 Gonfler	3,0	1,4*U_0	1,98*U_0	1,47
2.0 Variation de courte durée – 2.3 Temporaire – 2.3.3 Gonfler	60,0	1,2*U_0	1,70*U_0	1,26

À la Figure E.9, par unité (p.u.) est un facteur de multiplication de U_0. Il présente les TOV US dans un format différent de celui du Tableau E.5.



Anglais	Français
Per unit rms voltage (V)	Tension efficace par unité (V)
Time (s)	Temps (s)

Figure E.9 – Tensions efficaces p.u. maximales de TOV classiques (V) (Tableau 2 de l'IEEE 1159-2009)

Toutefois, pour soumettre à l'essai les parafoudres aux États-Unis, la norme UL 1449 demande plus que les valeurs ci-dessus (voir le Tableau E.6).

NOTE En Amérique du Nord, la norme UL 1449 s'applique pour les essais de parafoudre TOV.

Tableau E.6 – Valeurs de TOV UL utilisées pour soumettre les parafoudres à l'essai dans les réseaux américains

Nominal voltage rating	Phase	Test voltage[a]
0 – 109V	Single	Twice Rated Voltage
110 – 219V	Single	240
220 – 229V	Single	380
230 – 239V	Single	400
240 – 345V	Single	480
346 – 399V	Single	600
400 – 499V	Single	690
500 – 1000V	Single	Twice Rated Voltage Up to Max 1000V
110 – 120/220 – 240V	Split	240
120/208V	3-WYE	208
220/380V	3-WYE	380
230/400V	3-WYE	400
220 – 240/380 – 415V	3-WYE	415
240/415V	3-WYE	415
254 – 277/440 – 480V	3-WYE	480
346/600V	3-WYE	600
400/690V	3-WYE	690
120/240V	High leg delta	240
240/480V	High leg delta	480
240V	Delta	c
480V	Delta	c
600V	Delta	b

[a] For device ratings not specified in this table, the test voltage shall be the maximum phase voltage (if available) or twice the conductor pair voltage rating up to 1000Vmax.
[b] Abnormal Overvoltage Tests are not required to be conducted on 600V delta rated units, but short circuit testing shall be performed.
[c] The Short Circuit and Intermediate Current tests are performed at the full phase voltage.

Anglais	Français
Nominal voltage rating	Tension nominale assignée
Test voltage	Tension d'essai
Single	Monophasé
Split	Phase séparée
High leg delta	Triangle grands côtés
Delta	Triangle
Twice Rated Voltage	Deux fois la tension assignée
Twice Rated Voltage Up to max 1000V	Deux fois la tension assignée jusqu'à 1 000 V max
For device ratings not specified in this table, the test voltage shall be maximum phase voltage (if available) or twice the conductor pair voltage rating up to 1000V max	Pour les caractéristiques assignées du dispositif non spécifiées dans le présent tableau, la tension d'essai doit être la tension de phase maximale (si disponible) ou deux fois la caractéristique assignée de tension de paire de conducteurs jusqu'à 1 000 V max
Abnormal Overvoltage Tests are not required to be conducted on 600V delta rated units, but short-circuit testing shall be performed	Il n'est pas exigé de procéder à des essais de surtension anormale sur des unités assignées en triangle de 600 V, mais des essais de court-circuit doivent être réalisés
The Short-Circuit and Intermediate Current tests are performed at the full phase voltage	Les essais de court-circuit et de courant intermédiaire sont réalisés à la tension de phase totale

E.8.3 Valeurs des surtensions temporaires pour les réseaux japonais

La tension nominale et la tension d'essai de référence des réseaux japonais sont indiquées dans le Tableau E.7.

Les paramètres d'essai de surtension temporaire dans les réseaux japonais sont indiqués dans le Tableau E.8.

Tableau E.7 – Tension nominale et tension d'essai de référence pour les réseaux japonais

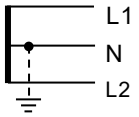
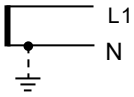
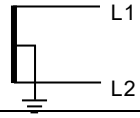
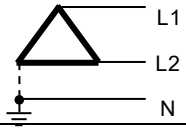
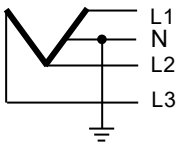
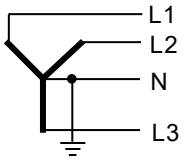
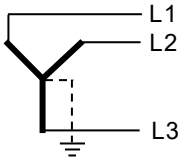
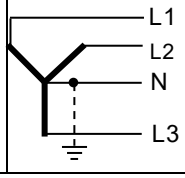
Réseau de distribution			Tension nominale [V]		Tension d'essai de référence U_{REF} [V]			
					L – N	L – PE	L – L	N – PE
Mis à la terre à prise médiane monophasé 100 V/200 V Schéma TT (schéma IT)			L1-N L2-N	100	110	110	220	110
			L1-L2	200				
monophasé 100 V Schéma TT (schéma IT)			100		110	110	–	110
monophasé 200 V Schéma TT (schéma IT)			200		220	220	–	220
Mis à la terre à prise médiane monophasé 200 V Schéma TT			200		–	110	220	–
Mis à la terre à une borne (triangle) triphasée 200 V Schéma TT (schéma IT)			200		220	220	220	220
Partager la mise à la terre à prise médiane monophasée et triphasée Schéma TT	Mono phasé L1, N, L2		L1-N L2-N	100	110	110	220	110
			L1-L2	200				
	Triphasé L1, L2 ,L3		200		–	110 (L1) 110 (L2) 191 (L3)	220	191
Triphasé avec neutre 100/173 V Schéma TT			L1-N L2-N L3-N	100	110	110	191	110
Triphasé sans neutre distribué 400 V Schéma TT (schéma IT)			400		–	255	440	–
Triphasé avec neutre distribué 230/400 V Schéma TT (schéma IT)			400		255	255	440	255

Tableau E.8 – Paramètres d'essai de TOV pour les réseaux japonais

Application	Paramètres d'essai TOV			
Parafoudres raccordés à:	Pour t_T = 120 min (défauts du réseau BT dans le réseau de distribution et rupture du neutre)		Pour t_T = 1 s (défauts du réseau HT)	
	Mode de tenue ou fin de vie sûre acceptable		Mode de tenue ou fin de vie sûre acceptable	
	Valeurs d'essai de U_T V	**Courant de court-circuit présumé A**	**Valeurs d'essai de U_T V**	**Courant de court-circuit présumé A**
Valeur nominale de la tension alternative du réseau 100 V				
L-PE connecté	330	20	710	30
L-N connecté	330	20		
N-PE connecté			600	30
L-L connecté				
Valeur nominale de la tension alternative du réseau 200V				
L-PE connecté	330	20	820	30
L-N connecté	330	20		
N-PE connecté			600	30
L-L connecté				
Valeur nominale de la tension alternative du réseau 400V				
L-PE connecté	440	20	855	300
L-N connecté	440	20		
N-PE connecté			600	300
L-L connecté				
NOTE Ces valeurs sont exigées par décret du ministère de la normalisation et des installations électriques.				

Les tensions TOV U_T par des défauts dans le réseau à basse tension au Japon sont les suivantes.

La Figure E.11 représente des valeurs de tension TOV particulières par des défauts dans le réseau à basse tension au Japon. Au Japon, il existe de nombreuses situations de partage de la terre d'un réseau 100 V/200 V mis à la terre à prise médiane monophasé et d'un réseau 200 V à une borne (Triangle) triphasé mis à la terre. Dans ce cas, par exemple, si une ligne du réseau 200 V à une borne (Triangle) triphasé mis à la terre présente un défaut à la terre (point de défaut à la terre (d) de la Figure E.10), la tension entre une ligne du réseau 100 V/200 V mis à la terre à prise médiane monophasé (t de la Figure E.10) et la terre de protection est de 300 V en courant alternatif. De la même manière, si une ligne du réseau 100 V/200 V mis à la terre à prise médiane monophasé présente un défaut à la terre (point de défaut à la terre (a) de la Figure E.10), la tension entre une ligne du réseau 200 V à une borne (Triangle) triphasé mis à la terre (u de la Figure E.10) et la terre de protection est de 300 V en courant alternatif. La tension TOV de 330 V à la tension nominale de 100 V, 200 V du Tableau E.7 est la valeur obtenue en ajoutant la fluctuation de tension prévue maximale du réseau de distribution 10 % à 300 V du Tableau E.8.

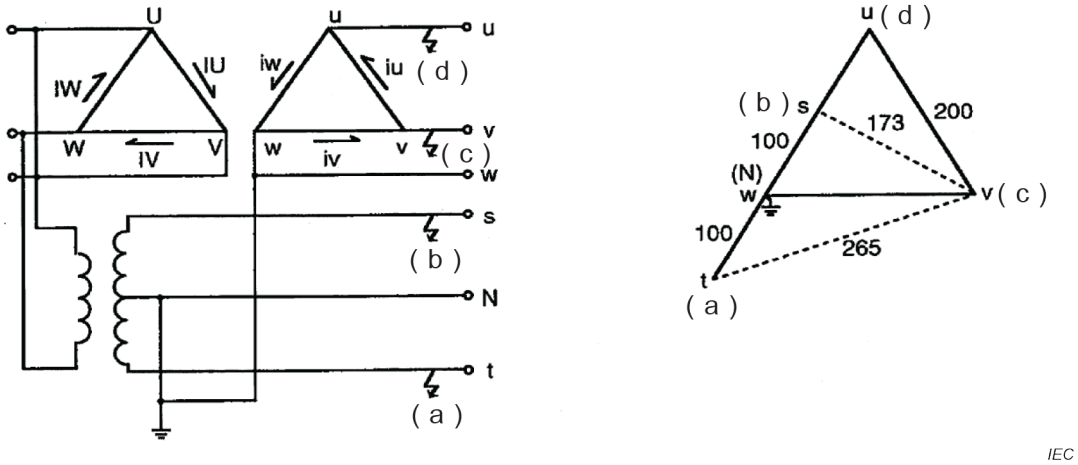


Figure E.10 – Exemple de partage de la terre d'un réseau 100 V/200 V mis à la terre à prise médiane monophasé et d'un réseau 200 V à une borne (Triangle) triphasé mis à la terre

Tableau E.9 – Valeur maximale de la tension TOV aux différents points de défaut à la terre

Point de défaut à la terre	Mis à la terre à une borne (Triangle) triphasée 200 V			Mis à la terre à prise médiane monophasé 100 / 200 V	
	u	v	w	s	t
(a)	300 V	265 V	100 V	200 V	0 V
(b)	100 V	173 V	100 V	0 V	200 V
(c)	200 V	0 V	200 V	173 V	265 V
(d)	0 V	200 V	200 V	100 V	300 V

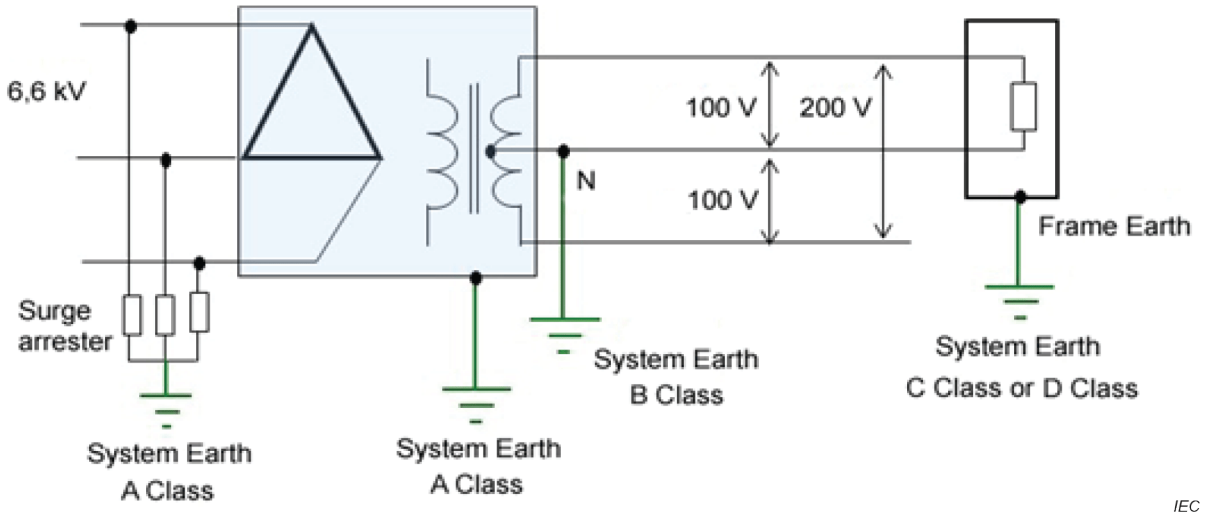
Au Japon, les surtensions temporaires par défauts dans le réseau à haute tension se produisent en raison d'un défaut à la terre et d'un défaut du réseau (entre le réseau à haute tension et le réseau à basse tension). Dans ce cas, les courants générés par les surtensions temporaires (courant de défaut à la terre ou courant de défaut du réseau) sont les suivants.

Au Japon, tous les réseaux de distribution 100 V en courant alternatif et 200 V en courant alternatif sont alimentés par un réseau à haute tension 6,6 kV non mis à la terre. Par conséquent, le courant généré par les surtensions temporaires au niveau des défauts dans le réseau à haute tension circule à travers la capacité entre la ligne à haute tension 6,6 kV et la terre. Ensuite, au Japon, le courant généré par les surtensions temporaires au niveau des défauts dans le réseau à haute tension atteint 30 A dans le réseau de distribution 100 V en courant alternatif et 200 V en courant alternatif.

Au Japon, 90 % du réseau de distribution 400 V en courant alternatif est alimenté par un réseau à haute tension 6,6 kV non mis à la terre. Toutefois, 10 % du réseau de distribution 400 V en courant alternatif est alimenté par une tension qui dépasse le réseau à haute tension 6,6 kV mis à la terre. Cela équivaut au réseau européen (IEC). Par conséquent, au Japon, le courant généré par les surtensions temporaires au niveau des défauts dans le réseau à haute tension est de 300 A (ce qui est conforme à l'IEC 61643-11:2011, 8.3.8.2) dans le réseau de distribution 400 V en courant alternatif.

La Figure E.11 représente des réseaux de distribution classiques d'un réseau 100 V/200 V mis à la terre à prise médiane monophasé au Japon.

La Figure E.12 représente une configuration de réseau classique au Japon.



Anglais	Français
Surge arrester	Parafoudre
System Earth A Class	Terre du réseau – Classe A
System Earth B Class	Terre du réseau – Classe B
System Earth D Class	Terre du réseau – Classe D
System Earth C Class or D Class	Terre du réseau – Classe C ou Classe D
Frame Earth	Terre du châssis

Figure E.11 – Réseaux de distribution classiques d'un réseau 100 V/200 V mis à la terre à prise médiane monophasé au Japon

Il existe 4 types de classes de prises de terre conformes aux réglementations japonaises (voir le Tableau E.10).

Tableau E.10 – Classe de prise de terre et valeur maximale de la résistance de terre

Classe	Valeur maximale de la résistance de terre (Ω)	Référence
A	10	Matériel de l'application à haute tension
B	150/*I*	Pour assurer la protection contre les défauts à la terre et les défauts du réseau
C	10	Application pour le matériel à utiliser sur 300 V en courant alternatif
D	100	Application pour le matériel à utiliser sur 300 V en courant alternatif ou moins

La valeur maximale de la résistance de terre du réseau de terre de classe B (R) doit être déterminée afin d'être calculée à l'aide des formules suivantes conformément aux réglementations japonaises (voir le Tableau E.10).

$$R = 150 / I$$

Si le potentiel de tension de la prise de terre de classe B augmente de plus de 150 V, le disjoncteur sous vide doit être interrompu dans les limites de la caractéristique temps/courant (voir la Figure E.13).

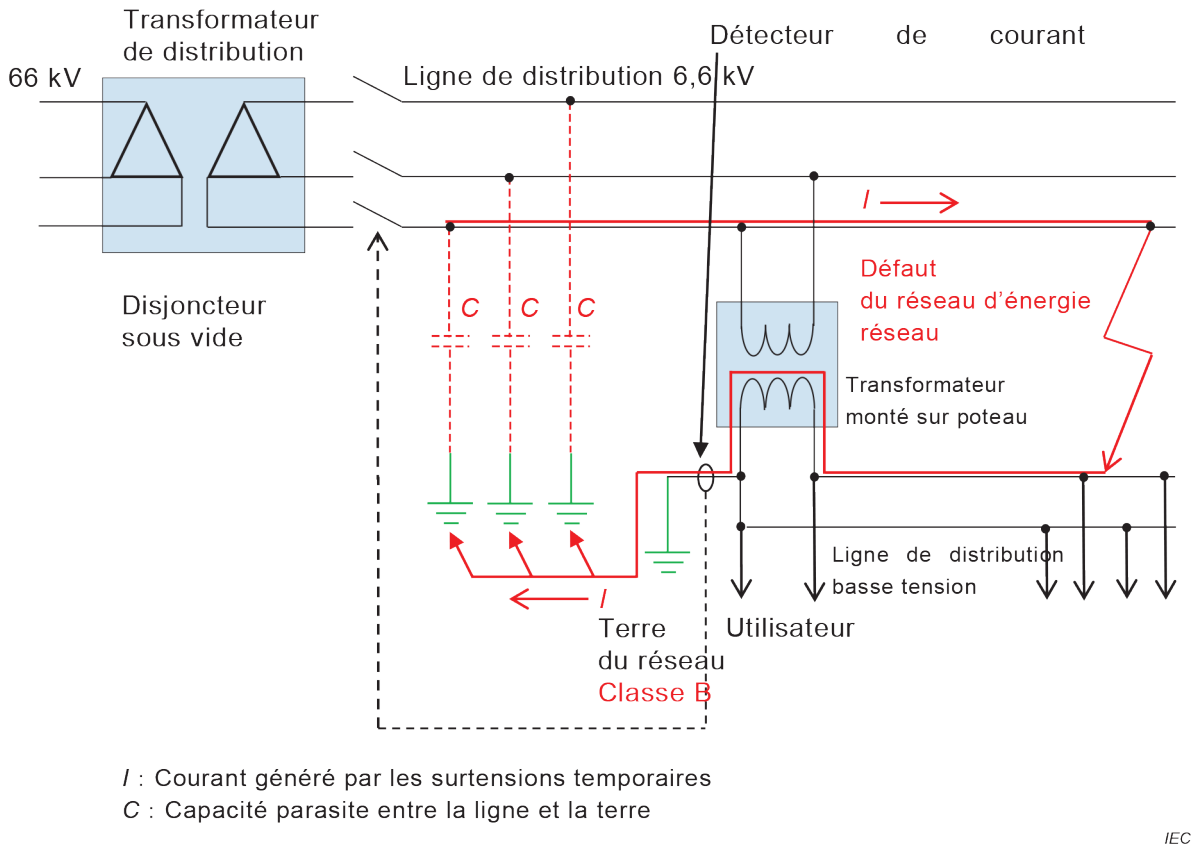


Figure E.12 – Configuration de réseau classique au Japon

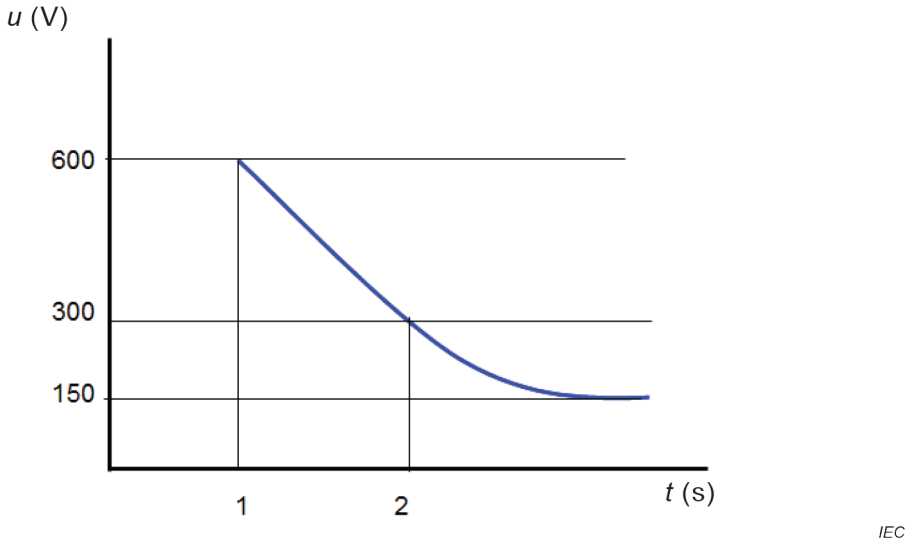


Figure E.13 – Caractéristiques TOV par des défauts dans le réseau à haute tension au Japon

Annexe F
(informative)

Règles et principes de coordination

F.1 Généralités

Comme cela est indiqué en 7.2.7, la coordination entre les parafoudres est réalisée pour assurer en même temps la coordination de l'énergie et le niveau de protection en tension.

F.2 Coordination de l'énergie

F.2.1 Généralités

La coordination de l'énergie repose sur l'énergie maximale admissible du second parafoudre. Toutefois, cette énergie dépend parfois de la forme d'onde et des essais tels que décrits dans l'IEC 61643-11. Dans la plupart des cas, la coordination est assurée avec une seule forme d'onde (8/20 pour les essais de classe II, par exemple). C'est la raison pour laquelle il est plus judicieux et plus facile d'obtenir directement cette valeur E_{max} auprès du fabricant (la plupart du temps, cette valeur est indiquée dans la documentation technique du fabricant).

Pour bien définir l'énergie admissible d'un parafoudre, il est nécessaire de connaître les deux valeurs suivantes:

– $E_{max\ S}$ pour les formes d'ondes des courants de courte durée, par exemple 8/20 (essais de classe II);
– $E_{max\ L}$ pour les formes d'ondes des courants de longue durée, par exemple 10/350 (essais de classe I)

Pour certains domaines technologiques, ces deux valeurs $E_{max\ S}$ et $E_{max\ L}$ peuvent être identiques.

Le parafoudre est alors caractérisé par deux courants I_n pour les ondes courtes (telles que celles utilisées pour les essais de classe II) et I_{imp} pour les ondes longues (telles que celles utilisées pour les essais de classe I), associés à l'énergie admissible $E_{max\ S}$ et $E_{max\ L}$. Un parafoudre simple peut ensuite être soumis aux essais selon l'essai de classe I et l'essai de classe II.

Si I_{max} est déclaré par le fabricant, cette valeur doit être prise en considération pour $E_{max\ S}$.

Il est nécessaire de coordonner les parafoudres 1 et 2 en utilisant leur énergie maximale admissible E_{max} pour les formes d'ondes des surtensions concernées. Cela signifie qu'il est nécessaire de traiter deux cas:

- coordination avec des formes d'ondes de longue durée;
- coordination avec des formes d'ondes de courte durée.

En général, la coordination est plus facile à réaliser avec des formes d'ondes courtes.

Pour les parafoudres à coupure, il est également nécessaire de tenir compte des fronts de longue durée. Cet aspect est à l'étude par l'IEC.

F.2.2 Études analytiques: cas simple de la coordination de deux parafoudres à varistances à oxyde métallique (MOV)

F.2.2.1 Généralités

Les analyses suivantes s'appliquent uniquement aux parafoudres à limitation de tension à un port, soumis aux essais de classe I et de classe II, pour lesquels les courbes U_{res} (I) sont connues. Ces courbes sont tracées en utilisant une forme d'onde 8/20 et sont données par le fabricant dans la documentation technique relative au parafoudre. Les dispositifs de classe III et les parafoudres à deux ports nécessitent une attention particulière (à l'étude).

L'exemple donné ci-dessous permet de mieux comprendre le problème lié à la coordination. Il s'agit de traiter d'abord le cas des parafoudres 1 et 2 qui sont composés de varistances à oxyde métallique (MOV) lorsqu'il est possible de réaliser une étude analytique. Il convient de noter qu'une telle étude analytique est uniquement fondée sur la répartition du courant. Pour vérifier que le critère d'énergie est rempli, des calculs supplémentaires, en général assez fastidieux, peuvent s'avérer nécessaires.

- Si les deux varistances ont le même diamètre (et donc le même courant nominal de décharge I_n et la même énergie admissible: I_{max}, s'il est déclaré, et le même I_{imp}), mais présentent des niveaux de protection en tension U_{p1} et U_{p2} différents (épaisseurs différentes), les équations sont alors les suivantes:

  $I_{n1} = I_{n2}$

  $I_{max1} = I_{max2}$ (si déclaré)

  $I_{imp1} = I_{imp2}$

Ainsi, les courbes possibles $U_{res}(I)$ sont représentées à la Figure F.1.

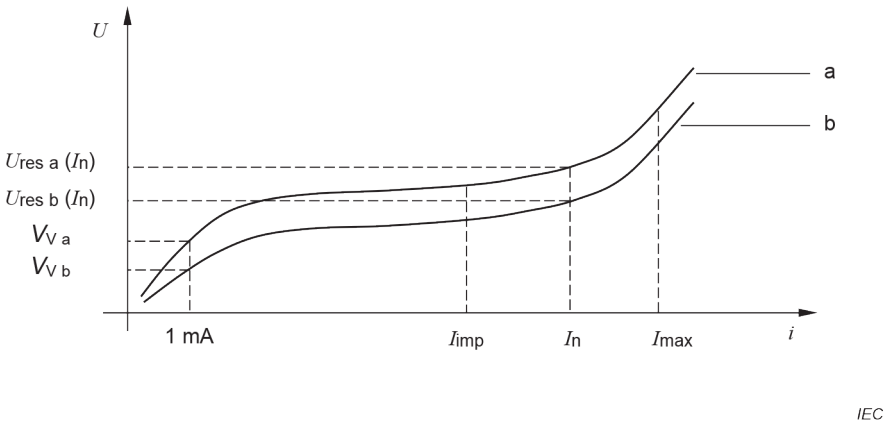


Figure F.1 – Deux varistances à oxyde métallique (MOV) ayant le même courant nominal de décharge

Si $U_{p1} > U_{p2}$: dans ce cas, la courbe a) correspond au parafoudre 1 et la courbe b) au parafoudre 2.

Cette coordination est généralement acceptable avec des formes d'ondes courtes si l > quelques mètres (habituellement entre 5 m et 10 m).

Avec des formes d'ondes longues, l'effet de découplage est réduit. Par conséquent, le parafoudre 2 peut être amené à résister au choc d'entrée total i. Le parafoudre 2 est capable de résister à la contrainte totale, étant donné que sa conception est identique à celle du parafoudre 1.

Si $U_{p1} < U_{p2}$: dans ce cas, la courbe a correspond au parafoudre 2 et la courbe b correspond au parafoudre 1, et ainsi la majorité du courant circule dans le parafoudre 1. Dans ce cas, le courant traversant le second parafoudre est inférieur au courant incident.

Le critère d'énergie est rempli dans les deux cas, car les deux parafoudres ont le même courant admissible.

Ce premier cas a été étudié dans le seul but de comprendre le mécanisme de coordination, car le fait d'avoir deux parafoudres ayant la même énergie admissible ne présente aucun intérêt.

- Si les deux varistances ont chacune un courant nominal de décharge différent

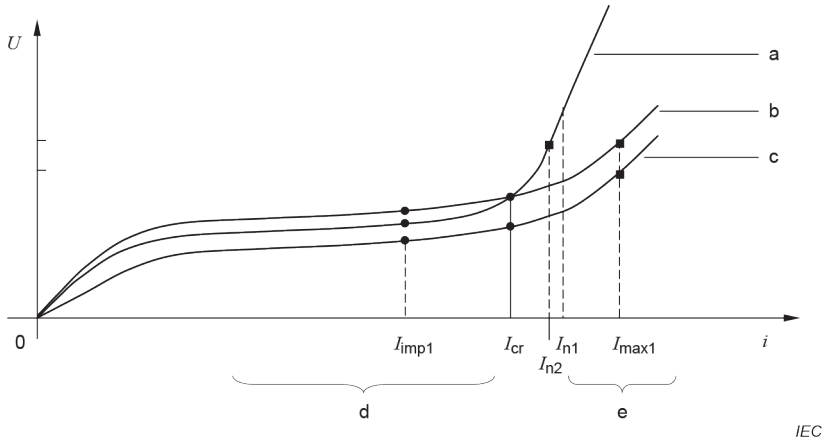
Pour cette application, le cas pratique est le suivant: $I_{n1} > I_{n2}$ et $E_{max1} > E_{max2}$. Par ailleurs, le parafoudre 1 et le parafoudre 2 peuvent avoir des caractéristiques telles que U_{res1} (I_{n1}) < U_{res2} (I_{n1}). Dans ce cas, les courbes U_{res} (I) sont telles que représentées à la Figure F.2. Aucune impédance n'est indiquée dans cette figure, car il n'est pas facile d'en tenir compte dans le cadre d'une étude analytique. Dans ce cas, il peut être observé à partir de la Figure F.2, qu'avec une forme d'onde courte, la coordination est bonne, car la majeure partie du courant circule à travers le premier parafoudre. En revanche, avec des formes d'ondes longues, la coordination peut s'avérer difficile à déterminer. Avec une forme d'onde longue et une amplitude de courant entrant inférieure à celle du courant au point d'intersection (voir la Figure F.2) des deux courbes, la coordination peut ne pas être assurée. Une portion plus grande du courant entrant traverse le parafoudre 2, car la courbe U_{res2} devient inférieure à U_{res1} à ce niveau de courant. La présence d'une inductance devient alors nécessaire entre les deux parafoudres.

Par conséquent, il est nécessaire de comparer les courbes U_{res} (i) avec I, dans l'intervalle allant de 0,1 × I_{n2} à I_{n1} ou I_{max1} (si déclaré), pour vérifier si les courbes s'entrecroisent, au lieu de comparer seulement U_{res1} (I_{n1}) et U_{res2} (I_{n2}) (U_{p1} par rapport à U_{p2}) qui sont indiquées dans la documentation technique fournie par le fabricant. Il est nécessaire que la valeur du courant, en ce point d'intersection I_{cr} (éventuel), soit aussi faible que possible.

Dans ce cas, il existe une forte probabilité pour que le critère d'énergie soit rempli, car plus I_{cr} est faible et plus cette probabilité est élevée. En cas de doute, il est nécessaire de calculer l'énergie traversant le second parafoudre, en notant l'impédance entre les parafoudres et des formes d'ondes longues. Un tel calcul est difficile à effectuer par une méthode analytique.

S'il n'est pas possible d'obtenir ces courbes, en raison d'un manque d'informations ou de la nécessité d'obtenir un résultat simple et rapide, il est alors nécessaire de comparer les courbes U_{res1} et U_{res2} au même niveau. Dans un tel cas, la condition nécessaire pour assurer une coordination facile et bonne est que U_{res1} (I_{n2}) < U_{res2} (I_{n2}). Les courbes satisfaisantes (représentées à la Figure F.2) remplissent cette condition mais, bien entendu, avec une telle varistance, une marge excessive est peut-être obtenue. En outre, la varistance peut ne pas être en mesure de résister aux contraintes provenant du réseau (une surtension temporaire, par exemple).

Dans ce cas, même si le courant circulant dans le second parafoudre est faible, le critère d'énergie peut ne pas être rempli pour des tensions de choc de longue durée. Un calcul supplémentaire de l'énergie dans le second parafoudre peut s'avérer nécessaire. En outre, il est nécessaire de vérifier que la protection du matériel est toujours assurée (car un courant de faible intensité dans le parafoudre 2 peut engendrer une tension élevée due à la non-linéarité de la varistance).



Légende

a Courbe correspondant au parafoudre 2

b Courbe correspondant au parafoudre 1 (courbe coupant celle du parafoudre 2)

c Courbe satisfaisante correspondant au parafoudre 1 (courbe ne coupant pas celle du parafoudre 2)

d Plage de courants de choc pour les ondes de longue durée

e Plage de courants de choc pour les ondes de courte durée

Figure F.2 – Deux varistances à oxyde métallique (MOV) ayant des courants nominaux de décharge différents

F.2.2.2 Conclusion

Dans tous les cas où il est nécessaire de coordonner deux varistances à oxyde métallique (MOV), il convient de suivre les cinq étapes de la procédure suivante.

a) Identifier les surtensions susceptibles de se produire en l'absence de parafoudre et faire une distinction entre des formes d'ondes courtes et des formes d'ondes longues.

b) Choisir le parafoudre 1 capable de résister à cette contrainte. S'il n'est pas possible d'obtenir les informations requises à l'étape a), utiliser un parafoudre de dimensions suffisantes (voir analyse du risque) et obtenir les valeurs I_{n1}, I_{max1} (si déclaré) et I_{imp1} auprès des fabricants. Considérer alors ces valeurs comme celles données en a).

c) Choisir le parafoudre 2 selon ses caractéristiques de protection souhaitée.

d) Comparer les courbes $U_{res}(I)$ avec I, dans l'intervalle compris entre 0,1 × I_{n2} à I_{n1} ou I_{max1} (si déclaré). Déterminer ensuite le point d'intersection I_{cr}. Si ce courant I_{cr} est suffisamment faible (habituellement 0,1 × I_{n2}), il n'est pas nécessaire de calculer l'énergie dans le second parafoudre. Le critère d'énergie est rempli, quelle que soit la distance entre les parafoudres. En cas de doute, calculer l'énergie s'écoulant dans le second parafoudre en tenant compte de l'impédance entre les parafoudres, puis vérifier le critère d'énergie. Si de telles courbes ne sont pas disponibles, choisir alors le parafoudre 2 avec les exigences simplifiées suivantes.

   Si le parafoudre 2 a le même courant nominal de décharge: U_{res1} (I_n) < U_{res2} (I_n).

   Si le parafoudre 2 a un courant nominal de décharge plus faible: U_{res1} (I_{n2}) < U_{res2} (I_{n2}).

   Il est alors judicieux de calculer l'énergie dans le parafoudre 2 pour vérifier le critère d'énergie et de vérifier que la protection est toujours assurée.

e) Répéter la procédure jusqu'à ce que l'étape c) permette d'obtenir un résultat satisfaisant.

NOTE 1 Les valeurs de tension (dans la plupart des cas désignée par tension de référence) pour un courant très faible ne sont pas applicables à la coordination.

NOTE 2 Dans tous les cas (avec ou sans varistances à oxyde métallique (MOV)), les considérations relatives à la CEM (compatibilité électromagnétique) exigent que le courant traversant le parafoudre 2 soit aussi faible que possible.

NOTE 3 Les courbes $U_{res}(I)$ sont des valeurs maximales. Elles prennent en considération la variation des caractéristiques, due à des tolérances de fabrication.

NOTE 4 Les études précédentes peuvent être généralisées à plus de deux parafoudres.

F.2.3 Étude analytique: cas de la coordination entre un parafoudre à éclateur et un parafoudre à varistance à oxyde métallique (MOV)

F.2.3.1 Généralités

Un autre cas couramment employé consiste à utiliser un éclateur en tant que parafoudre 1 et une varistance à oxyde métallique (MOV) en tant que parafoudre 2. Voir la Figure F.3. Dans ce cas, la coordination est assurée lorsqu'un amorçage se produit avant que le parafoudre 2 ne subisse une contrainte excessive.

Avant cet amorçage:

$$U_1 = U_{res2}\,(i) + L \times \mathrm{d}i/\mathrm{d}t$$

Étant donné que cette valeur $U_{res2}(i)$ n'est généralement pas connue, la formule suivante est utilisée pour obtenir un résultat satisfaisant:

$$U_1 = V_{V2}\,(i) + L \times \mathrm{d}i/\mathrm{d}t$$

où V_{V2} est la tension de référence de la varistance à oxyde métallique (MOV) 2. Cette tension de référence est un paramètre caractérisant la varistance, qui est situé très près du point d'inflexion de la caractéristique U en fonction de i.

Dès que U_1 dépasse la tension dynamique d'amorçage de l'éclateur (appelée U_{dyn} dans la présente annexe), la coordination est obtenue, et seule une petite partie du courant circule à travers le second parafoudre. La coordination dépend des caractéristiques des varistances à oxyde métallique (MOV) (parafoudre 2), de la tension dynamique d'amorçage de l'éclateur (parafoudre 1), du temps de montée et de l'amplitude du choc d'entrée, i, et de la distance d séparant les parafoudres (l'inductance L fait partie de l'impédance Z, car, dans ce cas, R est par hypothèse négligeable).

F.2.3.2 Exemple de calcul des valeurs estimées exigées pour une inductance de découplage entre un éclateur et une varistance

La réduction de place, rencontrée par exemple dans une station moderne cellulaire d'émission-réception, a permis de constater qu'un parafoudre de type varistance à oxyde métallique (MOV), situé en aval, peut rétablir le niveau d'une tension transitoire à un niveau bien inférieur à la tension d'amorçage d'un parafoudre à éclateur en tête. Ceci empêche le fonctionnement de l'éclateur, alors toute l'énergie incidente est transmise au parafoudre de type varistance à oxyde métallique. Dans un espace plus grand, la distance de câblage entre les parafoudres est plus importante, et peut ainsi garantir une inductance suffisante pour assurer l'amorçage de l'éclateur.

Il reste toujours une possibilité pour que la tension transitoire incidente se soit dispersée par des trajets parallèles à un point tel que la tension ne suffit plus à amorcer l'éclateur. Dans ce cas, le parafoudre situé en aval doit avoir des caractéristiques assignées suffisantes pour absorber à lui seul l'énergie totale.

À des niveaux d'énergie plus élevés, le non-amorçage de l'éclateur permet à une quantité excessive d'énergie d'atteindre et de détruire le parafoudre situé en aval. La coordination est réalisée en assurant la présence d'une impédance de découplage en série suffisante pour provoquer l'amorçage de l'éclateur, à tous les niveaux d'énergie qui seraient au-dessus de la limite du parafoudre situé en aval.

La valeur d'inductance exigée pour assurer la coordination peut être calculée facilement. En premier lieu, il est nécessaire de connaître les paramètres de l'éclateur. Les éclateurs fonctionnent généralement en dessous de 4 kV et en moins de 200 ns.

En second lieu, il convient de connaître les paramètres du parafoudre situé en aval. Un parafoudre classique pour une tension assignée de 275 V en courant alternatif avec la tension de varistance à 1 mA de 430 V +/-10 % commence à établir le niveau de tension à 800 V. Il peut avoir un courant I_n de 10 à 20 kA selon l'essai de classe II en utilisant une forme d'onde 8/20.

Cependant, il faut se souvenir que l'éclateur est nominalement prévu pour subir des essais de classe I prenant pour hypothèse une impulsion de 10 µs à 350 µs ou une autre impulsion de choc présentant un temps de descente de longue durée. Le courant de crête du parafoudre situé en aval doit être réduit pour tenir compte de l'énergie supplémentaire liée à cette classe d'impulsion de longue durée. Le facteur de réduction est par hypothèse de 10:1. Par conséquent, la valeur assignée du courant de crête (onde de 10/350 µs) diminue, par exemple de 12,5 kA à 1,25 kA. Un temps de montée de10 µs engendre un di/dt de 125 A/µs.

L'inductance exigée pour assurer un fonctionnement fiable de l'éclateur peut à présent être calculée à partir de l'équation:

$$U = L \times \mathrm{d}i/\mathrm{d}t + I \times R$$

où

U est la tension d'amorçage de l'éclateur;

$\mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ est le temps de montée de l'impulsion incidente;

$I \times R$ est la chute de tension aux bornes du parafoudre situé en aval (noter que R est une valeur non linéaire).

Dans ce cas $$L = \frac{U - I \times R}{\mathrm{d}i/\mathrm{d}t}$$

En prenant pour hypothèse que l'éclateur amorce en moins de 200 ns, le courant circulant dans le parafoudre situé en aval est

$$I = 0{,}2/10 \times 1\,250 \text{ A} = 25 \text{ A}$$

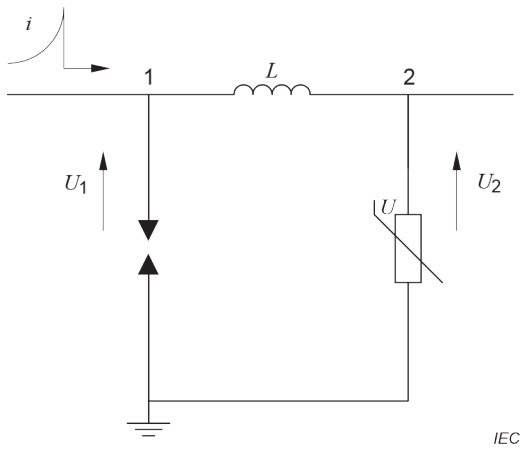
La tension $I \times R$ est de l'ordre de 600 V

Par conséquent

$$L = \frac{4\,000 - 600}{125 \times 10^6}$$

ou $$L = 27{,}2\ \mu\text{H}$$

Cette inductance peut être une simple valeur unique localisée, une longueur de câble d'alimentation de 27,2 m, en prenant pour hypothèse une inductance de 1 µH par mètre linéaire, ou elle peut être une combinaison entre une longueur de câble et une inductance de plus faible valeur.



Légende

L Inductance

Figure F.3 – Exemple de coordination entre un parafoudre à éclateur et un parafoudre à varistance à oxyde métallique (MOV)

Avec cet exemple, des conditions générales peuvent être obtenues pour étudier ce type de coordination.

F.2.3.3 Conclusion

Après le choix du parafoudre 1 (à éclateur), il est nécessaire de choisir le parafoudre 2 de manière à satisfaire à l'exigence suivante:

– pour un choc d'entrée correspondant à une onde d'essai de classe I:

$$U_{dyn} < V_{V2} + L \times I_{imp2}/10$$

– pour un choc d'entrée correspondant à une onde d'essai de classe II:

$$U_{dyn} < V_{V2} + L \times I_{n2}/8 \text{ (ou } I_{max2} \text{ si déclaré)}$$

Ces règles donnent un résultat satisfaisant. Lorsque des valeurs plus faibles de L sont exigées, il est nécessaire de procéder à une simulation sur ordinateur, pour déterminer si la coordination est obtenue.

NOTE D'autres cas peuvent donner des résultats plus sévères, notamment lors de l'utilisation de fronts d'onde de plus longue durée actuellement à l'étude. Le comité d'études 81 de l'IEC étudie actuellement une durée de front plus importante: 100 µs.

F.2.4 Étude analytique: coordination générale de deux parafoudres

L'étude du cas associant deux varistances, ou du cas associant un éclateur et une varistance à oxyde métallique (MOV), indique bien la complexité du problème de coordination. En outre, sachant que les courbes u en fonction de i sont rarement connues et qu'en réalité, il est nécessaire de tenir compte de tolérances élargies, il est clair que des études analytiques ne peuvent concerner que des cas simples. Dès que le calcul de l'énergie traversant le second parafoudre s'avère nécessaire, il est plus facile de procéder à une simulation. Le principal intérêt d'une telle méthode d'analyse réside dans le fait qu'elle permet à l'utilisateur de mieux comprendre les phénomènes qui se produisent.

Quelle que soit la technologie utilisée pour réaliser les parafoudres, les règles générales données ci-dessus, et plus particulièrement le critère d'énergie, sont toujours applicables.

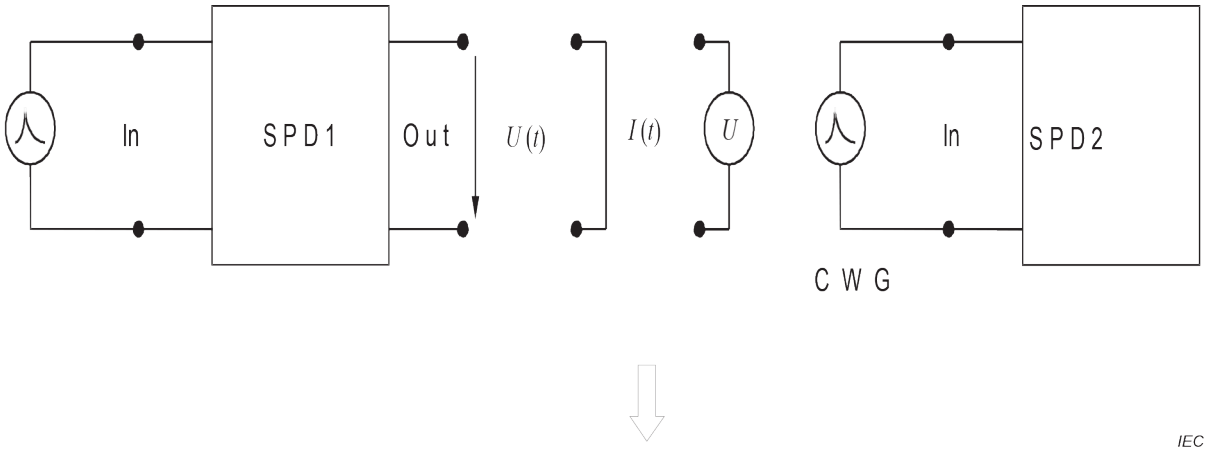
Dans la plupart des cas, l'obtention d'une coordination acceptable exige du fabricant ou de l'utilisateur qu'il procède à des simulations ou à des essais, ou qu'il emploie la méthode simplifiée présentée ci-dessous.

Il est possible qu'un matériel contienne un parafoudre interne dont la caractéristique n'est pas connue. Étant donné que le matériel en question peut être remplacé pendant la durée de vie de l'installation, il convient de veiller à ce que le parafoudre inclus dans ce matériel ne soit pas soumis à des contraintes excessives en raison d'un manque de coordination.

F.2.5 Méthode d'énergie traversante (LTE)

F.2.5.1 Généralités

La coordination de l'énergie avec les paramètres d'une impulsion normale, comme cela est décrit dans l'IEC 61312-4, est une procédure permettant de choisir et de coordonner des parafoudres. Le principal avantage offert par cette méthode réside dans le fait qu'elle permet de considérer un parafoudre comme une boîte noire (voir la Figure F.4). Ainsi, pour un choc donné appliqué au port d'entrée, non seulement la tension en circuit ouvert, mais également un courant de sortie (par exemple, dans un court-circuit) sont déterminés (principe de l'énergie traversante). Ces caractéristiques de sortie sont converties en une contrainte équivalente de "générateur d'ondes combinées 2 Ω" (tension en circuit ouvert 1,2/50, courant de court-circuit 8/20). L'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'il n'est pas nécessaire de connaître en détail la conception interne des parafoudres.



Conversion en une impulsion normale comparable – ,2/50, 8/20 with Z_i = 2 Ω.

IEC 373/02

U_{oc} SPD1/out ≤ U_{oc} SPD2/in

Anglais	Français
SPD1	Parafoudre 1
SPD2	Parafoudre 2
Out	Sortie
In	Entrée
CWG	Générateur d'ondes combinées

Légende

U Tension de charge

Figure F.4 – LTE – Méthode de coordination avec les paramètres d'une impulsion normale

Le but de cette méthode de coordination est de rendre les valeurs d'entrée d'un parafoudre 2 (par exemple, courant de décharge) comparables avec les valeurs de sortie d'un parafoudre 1 (par exemple, niveau de protection en tension).

S'il s'agit d'une protection échelonnée, il faut considérer que l'impulsion hybride équivalente d'entrée qui peut être déchargée (sans détérioration) par le parafoudre suivant est supérieure ou égale à l'impulsion hybride équivalente de sortie du parafoudre précédent.

Pour obtenir une coordination fiable, l'impulsion hybride équivalente doit être déterminée dans le cas le plus défavorable de contrainte (I_{max}, U_{max}, énergie traversante).

Le cas le plus défavorable pour la conception de l'élément de découplage est donné par un court-circuit. Mais cette méthode ne convient pas pour la coordination. Il est plus réaliste que le cas le plus défavorable soit donné par une "tension côté charge" (ci-après désignée par "contre-tension").

Le parafoudre situé en aval d'un éclateur consiste habituellement en une varistance à oxyde métallique (MOV). La tension résiduelle d'un tel parafoudre est, dans tous les cas, supérieure à la valeur de crête de la tension d'alimentation nominale (par exemple, dans un réseau en courant alternatif présentant une tension nominale de 240 V, la tension d'alimentation de crête est égale à $\sqrt{2} \times 240 = 340$ V, ce qui représente une valeur inférieure à la tension de varistance des parafoudres installés). Cette tension d'alimentation nominale de crête correspond à la tension résiduelle la plus faible possible des parafoudres. Par conséquent, cette tension de crête peut être prise comme étant la contre-tension la plus faible possible. Utiliser le courant de court-circuit au lieu de la présence d'une contre-tension donne lieu à un surdimensionnement de l'élément de découplage.

NOTE 1 Cette méthode donne des résultats satisfaisants lorsque les caractéristiques d'un parafoudre 1 sont si différentes de celles d'un parafoudre 2 que les conditions de surtension sur le parafoudre 2 correspondent à des quasi-conditions d'un courant appliqué, par exemple dans le cas de la coordination entre un éclateur et une varistance à oxyde métallique (MOV), cette condition est remplie.

Les restrictions liées à l'utilisation de la méthode sont les suivantes:

– pour assurer l'obtention d'un résultat satisfaisant, il convient que l'élément de découplage soit inclus dans la méthode en tant que partie intégrante du second parafoudre;
– pour assurer l'obtention d'un résultat satisfaisant, il convient que la "contre-tension" proposée soit égale à zéro si le second parafoudre contient un composant de commutation;
– lorsque le second parafoudre contient un composant de commutation, il y a une possibilité pour que le résultat soit sous-estimé, cette méthode n'étant pas vraiment réaliste en ce qui concerne la modélisation du composant de commutation. En pareil cas, il faut bien faire attention lors de la mise en application de la méthode;
– il convient de considérer que la forme d'onde du choc injectée à l'entrée de l'installation présente une forme d'onde de courant et une forme d'onde de tension égales à (10/350 ou 8/20). L'amplitude du courant de choc i est généralement connue. L'amplitude d'une tension de choc U dépend de l'impédance de choc du réseau;
– il convient que l'étude prenne en considération les tolérances sur les caractéristiques des parafoudres.

F.2.5.2 Méthode

Dans la plupart des cas, la méthode exposée ci-dessous donne une valeur satisfaisante pour l'élément de découplage (impédance) entre les deux parafoudres. Cela signifie que, dans la plupart des cas, si une telle impédance est placée entre les deux parafoudres, la coordination agit mieux que celle prédite par le calcul.

Le fondement de cette méthode consiste à représenter la sortie de chaque parafoudre comme un générateur d'ondes combinées (CWG) équivalent, défini par une tension à vide U_{oc} 1,2/50 et un courant de court-circuit I_{sc} 8/20, l'impédance du générateur étant égale à 2 Ω (U_{oc} = 2 × I_{sc}).

Les parafoudres soumis aux essais de classe III sont déjà soumis à l'essai par un tel générateur d'ondes combinées. Dans le cas de parafoudres soumis aux essais de classe II, il est nécessaire de considérer que I_{sc} = I_n ou I_{max} (si déclaré).

Le parafoudre situé à l'avant peut être soumis aux essais de classe I, en cas de coup de foudre direct sur la structure, ou aux essais de classe II.

La tension à la sortie de chaque parafoudre présente en général une forme d'onde qui n'est pas directement liée aux formes d'ondes 1,2/50 et 8/20. Il est alors nécessaire de normaliser les formes d'ondes réelles, afin de les convertir en ondes 1,2/50 et 8/20.

Il est possible d'y parvenir en calculant les valeurs suivantes:

$$\text{valeur de crête de } u = \hat{u},\ \int u\,\mathrm{d}t \textit{ et } \int u^2\,\mathrm{d}t$$

$$\text{valeur de crête de } i = \hat{\imath},\ \int i\,\mathrm{d}t \textit{ et } \int i^2\,\mathrm{d}t$$

NOTE Il convient que les unités utilisées dans les formules et les tableaux soient homogènes.

Ces valeurs sont ensuite utilisées dans le Tableau F.1.

Tableau F.1 –

Tension	$\hat{u}$	$\int u \, dt$	$\sqrt{\int u^2 \, dt}$
Courant	$\hat{\imath}$	$\int i \, dt$	$\sqrt{\int i^2 \, dt}$

Pour un générateur d'ondes combinées ayant une amplitude de 1 V (Tableau F.2), le tableau suivant est obtenu:

Tableau F.2 –

Tension	1	70×10^{-6}	6×10^{-3}
Courant	0,5	12×10^{-6}	2×10^{-3}

Ainsi, si chaque cellule du Tableau F.1 est divisée par la cellule équivalente du Tableau F.2, un nouveau Tableau F.3 est obtenu:

Tableau F.3 –

Tension	$\hat{u}$	$\int u \, dt$ / (70 × 10–6)	$\sqrt{\int u^2 \, dt / (6 \times 10^{-3})}$
Courant	$\hat{\imath}$ × 2	$\int i \, dt$ / (12 × 10–6)	$\sqrt{\int i^2 \, dt / (2 \times 10^{-3})}$

La valeur maximale dans le Tableau F.3 donne la valeur $U_{\text{oc (CWG)}}$, la valeur équivalente de *U*oc du générateur d'ondes combinées correspondant à la sortie du parafoudre.

Dès que le parafoudre situé en aval a été soumis aux essais de classe III avec un générateur d'ondes combinées ayant une tension à vide $U_{\text{oc essai}}$ (ou un générateur d'ondes combinées équivalent dans le cas d'essais de classe II), il est possible de dire immédiatement si la coordination est correcte ou non. Pour cela, il suffit de vérifier que $U_{\text{oc essai}} > U_{\text{oc CWG}}$.

La valeur à la sortie du parafoudre, pour une contrainte donnée à l'entrée, doit être calculée à l'aide de logiciels de simulation. Il n'est pas tout le temps nécessaire de les calculer, car ces valeurs peuvent être calculées par le fabricant lui-même. Pour chacun de ses produits, il peut calculer le choc de générateur d'ondes combinées équivalent de sortie pour une contrainte donnée (I_{imp} pour des essais de classe I, I_{n} ou I_{max} (si déclaré) pour des essais de classe II ou $U_{\text{oc max}}$ du générateur d'ondes combinées pour des essais de classe III), en faisant attention aux tolérances applicables aux caractéristiques du parafoudre ainsi qu'à toute zone aveugle (parfois, la contrainte la plus importante à la sortie du parafoudre n'est pas donnée par les valeurs maximales I_{imp}, I_{n} ou I_{max} (si déclaré) et $U_{\text{oc max}}$ mais pour des valeurs plus faibles).

F.3 Essais de coordination: coordination de l'énergie ainsi que la protection en tension

F.3.1 Introduction

Pour assurer la protection d'une installation électrique, il est nécessaire d'utiliser plusieurs types de parafoudres en fonction de la catégorie de surtension du matériel à protéger et du câblage de l'installation électrique (longueur de câble, cheminement, etc.). Dans ce cas, il convient de veiller à ce que la coordination de parafoudre soit efficace et n'impose pas de contrainte excessive sur les parafoudres situés en aval, mais aussi de limiter le niveau de

surtension à une valeur inférieure à la tension de tenue du matériel à protéger (ce nouveau critère est appelé "niveau de protection en tension" et est décrit ci-dessous). Le présent chapitre vise à donner quelques exemples de coordinations de parafoudres efficaces.

F.3.2 Critères de coordination

Comme cela est indiqué ci-dessus, la coordination des parafoudres exige d'examiner deux critères de base: l'énergie et le niveau de protection en tension.

La coordination de l'énergie peut être assurée si, pour toutes les valeurs du courant de choc/foudre total entrant, la partie de l'énergie qui est dissipée par le parafoudre en tête est supérieure à l'énergie dissipée par le parafoudre situé en aval. De plus, il convient que tous les éléments situés entre les parafoudres en tête et le parafoudre situé en aval soient en mesure de résister à la même énergie que les parafoudres situés en aval.

Par ailleurs, une autre proposition précise qu'il convient que le niveau de protection en tension des parafoudres situés en aval soit inférieur ou égal à celui des parafoudres en tête, étant donné qu'ils sont situés à proximité du matériel à protéger, où une protection en tension plus importante est exigée.

Les paramètres les plus significatifs qu'il convient de prendre en considération lors de la coordination des deux parafoudres sont les suivants:

- types de parafoudres (c'est-à-dire éclateur de type à coupure, varistance à oxyde métallique de type à limitation);
- caractéristiques du type de parafoudre (c'est-à-dire la tension d'amorçage des éclateurs, la tension maximale de régime permanent des MOV, le niveau de protection en tension, la capacité de courant de décharge maximal, etc.);
- onde injectée (c'est-à-dire 8/20, 10/350, etc.);
- type de matériel à protéger (par exemple grosse charge inductive, électronique sensible, etc.);
- distance qui sépare les deux parafoudres.

F.3.3 Techniques de coordination

Avant une coordination, il convient de suivre certaines étapes pour choisir les parafoudres appropriés ainsi que la méthode de coordination entre eux.

- Étape 1

  Identifier le niveau de surtension prévu en l'absence de parafoudre afin de choisir le type de parafoudre qui va le mieux correspondre. La réduction des surtensions rapides exige la présence de parafoudres à limitation plutôt que de parafoudres de type à coupure. Il convient que l'identification des surtensions soit suivie de l'évaluation de l'énergie maximale du courant de foudre/choc présumé en présence d'un parafoudre idéal. Le parafoudre approprié peut être choisi en fonction du niveau d'énergie maximale.

- Étape 2

  Choisir le parafoudre en tête en fonction de l'énergie maximale à laquelle il peut résister.

- Étape 3

  Choisir le parafoudre situé en aval en fonction du niveau de protection en tension souhaité du matériel.

- Étape 4

  Pour les parafoudres choisis, il convient de respecter les critères d'énergie et de niveau de protection en tension. Cela peut être réalisé essentiellement par des simulations logicielles ou des essais expérimentaux. Dans ce dernier cas, la méthode suivante peut être utilisée pour le vérifier.

F.3.4 Protocole d'essai

F.3.4.1 Généralités

La coordination entre les parafoudres repose sur la répartition de courant. Trois paramètres sont définis comme étant essentiels à l'établissement d'une règle de coordination:

- les parafoudres eux-mêmes (un parafoudre est coordonné avec un autre);
- le courant de choc à l'entrée (fixé par les caractéristiques du parafoudre en tête);
- l'impédance de découplage Z entre les 2 parafoudres (le parafoudre en tête et le parafoudre situé en aval).

L'impédance Z entre les deux parafoudres (généralement une inductance) peut être physique (composant spécifique inséré dans la ligne pour faciliter la répartition de l'énergie entre les deux parafoudres) ou peut représenter l'inductance d'une longueur de câble entre les deux parafoudres.

Un essai de coordination de parafoudre peut être réalisé par le fabricant, l'installateur ou l'utilisateur des parafoudres.

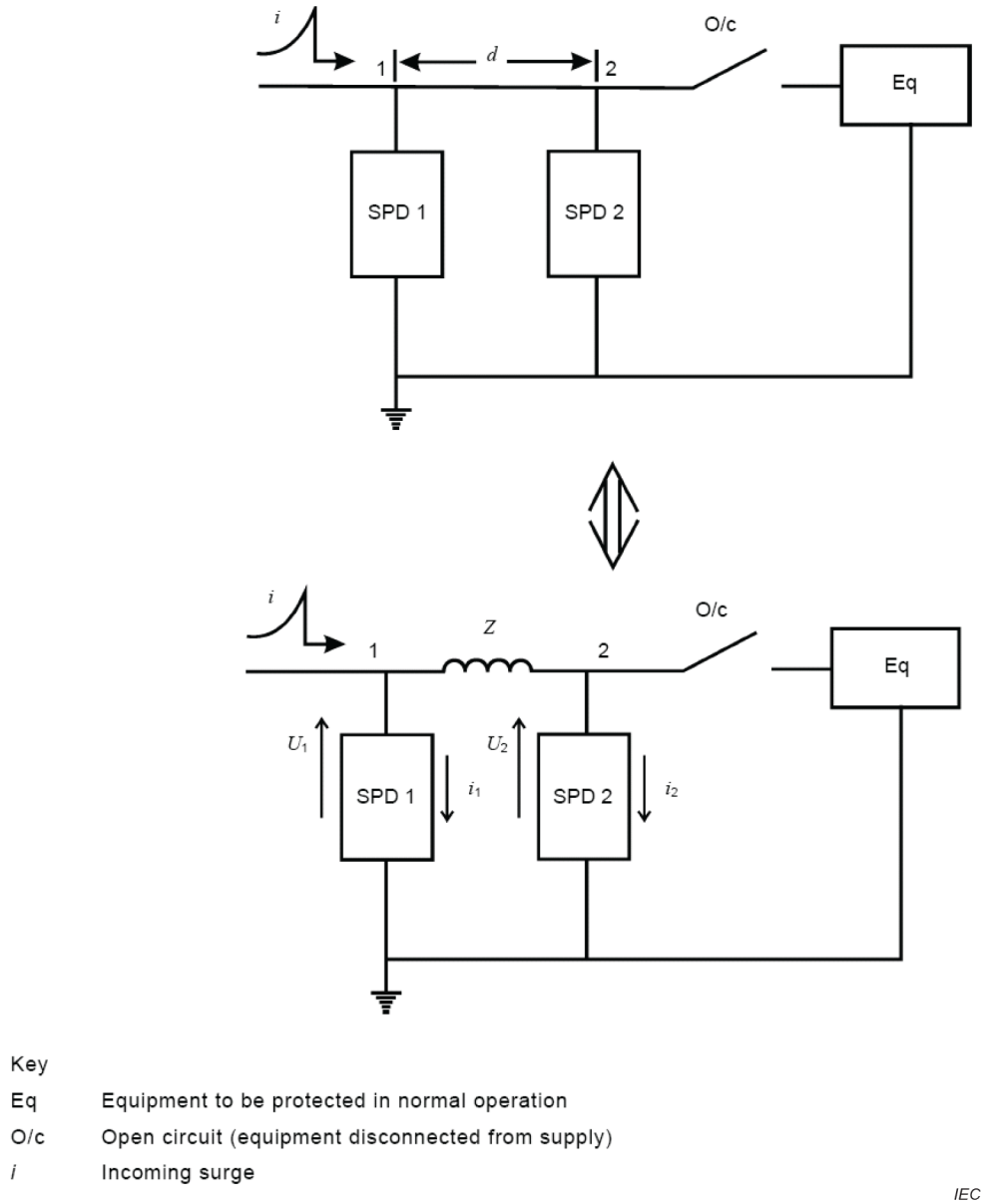
La coordination de parafoudres est, dans la plupart des cas, assurée si ces deux critères sont satisfaits:

1) La coordination de l'énergie est assurée si, pour toutes les valeurs de courant de choc entre une énergie d'essai minimale et une énergie d'essai maximale (pour la classe d'essai II avec 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 et 1 fois I_n et pour la classe d'essai I avec des courants de choc 8/20 ayant une valeur de crête égale à 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 et 1 fois I_{imp} et avec 0,1, 0,5, 0,5, 0,75 et 1 fois I_{imp} du parafoudre en tête), la partie de l'énergie dissipée à travers le parafoudre 2 est inférieure ou égale à son énergie maximale admissible (E_{MAX2}).
2) La coordination de protection est assurée si, pour toutes les valeurs de courant de choc entre une énergie d'essai minimale et une énergie d'essai maximale (pour la classe d'essai II avec 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 et 1 fois I_n et pour la classe d'essai I avec des courants de choc 8/20 ayant une valeur de crête égale à 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 et 1 fois I_{imp} et avec 0,1, 0,5, 0,5, 0,75 et 1 fois I_{imp} du parafoudre en tête), la tension résiduelle du parafoudre 2 est inférieure ou égale à son niveau de protection déclaré U_p.

L'essai avec la partie du courant I_n ou I_{imp} déclaré consiste à déterminer s'il n'existe aucun point aveugle entre une contrainte faible et une contrainte maximale. Si I_{max} est déclaré pour la classe d'essai II, I_n doit être remplacé par I_{max} et, pour la classe d'essai I pour les courants de choc 8/20, la valeur de crête doit être I_{imp} ou I_{max}, selon la valeur qui est la plus élevée.

F.3.4.2 Montage d'essai

La disposition des parafoudres pour l'essai de coordination est représentée dans la Figure F.5.



Anglais	Français
SPD1	Parafoudre 1
SPD 2	Parafoudre 2
Key	Légende
Equipment to be protected in normal operation	Matériel à protéger en fonctionnement normal
Open circuit (equipment disonnected from supply)	Circuit ouvert (matériel déconnecté de l'alimentation)
Incoming surge	Choc d'entrée

Figure F.5 – Disposition des parafoudres pour l'essai de coordination

Les câbles de raccordement sont ignorés, doivent être aussi courts que possible et doivent être disposés de la même manière pour les deux parafoudres. Les déconnecteurs externes, le cas échéant, ne sont pas pris en considération dans cet essai de coordination.

Lorsque Z représente une impédance physique, l'inductance de ligne peut être ignorée à cause de sa faible valeur par rapport à Z. Z est alors représentée de manière schématique, comme sur la Figure F.5 dans les deux cas.

Si Z représente l'inductance d'une longueur de câble entre les deux parafoudres, les conducteurs d'aller et de retour doivent être fixés selon les déclarations du fabricant, de l'installateur ou de l'utilisateur. En l'absence de disposition spécifique, les conducteurs d'aller et de retour ne doivent pas être torsadés, se trouver à une distance maximale de 10 mm et doivent éviter de créer une boucle.

L'essai doit être réalisé sur trois ensembles d'échantillons qui n'ont préalablement fait l'objet d'aucun essai.

Le type de possibilité de coordination de parafoudre doit être soumis à l'essai selon la procédure de coordination:

- Parafoudre de type 1 coordonné avec un parafoudre de type 2;
- Parafoudre de type 1 coordonné avec un parafoudre de type 3;
- Parafoudre de type 2 coordonné avec un parafoudre de type 2;
- Parafoudre de type 2 coordonné avec un parafoudre de type 3.

Pendant l'essai, le réseau de parafoudres est mis sous tension à U_c avec un courant de court-circuit suffisamment élevé pour détecter une défaillance de l'un des parafoudres en essai (au moins 5 A). Une protection de courant peut être utilisée dans la branche de l'alimentation, mais pas dans la branche de courant de choc. Si le parafoudre 1 et le parafoudre 2 sont des parafoudres multimodes, par exemple avec des bornes pour la phase, le neutre et la terre (PE), tous les modes doivent être soumis à l'essai L-N, N-PE et L-PE. Dans ce cas, il est nécessaire que la ou les bornes restantes soient interconnectées entre le parafoudre 1 et le parafoudre 2.

Si le parafoudre en tête est soumis à l'essai en tant que classe I, son I_{imp} déclaré doit être utilisé pour la procédure de coordination. Si I_{max} est déclaré, pour les courants de choc 8/20, la valeur de crête doit être I_{imp} ou I_{max}, selon la valeur qui est la plus élevée.

Si le parafoudre en tête est soumis à l'essai en tant que classe I, son I_n déclaré doit être utilisé pour la procédure de coordination. Si I_{max} est déclaré, I_{max} doit être utilisé pour la procédure de coordination.

La procédure d'essai de coordination peut être réalisée avec des courants de choc 8/20 dépassant les paramètres de décharge du parafoudre situé en aval uniquement.

Des courants de choc positifs doivent être appliqués alors que les parafoudres sont alimentés à U_C à 60° après le passage à zéro dans l'onde de tension positive. L'intervalle entre les chocs doit être suffisamment long pour permettre aux parafoudres de refroidir à la température ambiante.

La procédure d'essai est récapitulée dans le Tableau F.4, en fonction du type de parafoudre en tête.

Tableau F.4 – Procédure d'essai de coordination

Parafoudre en tête (parafoudre 1)	Parafoudre situé en aval (parafoudre 2)	Chocs d'essai
Parafoudre soumis aux essais de classe I	Parafoudre soumis aux essais de classe II ou III	avec des courants de choc 8/20 ayant une valeur de crête égale 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 et 1 fois I_{imp} ou I_{max} si déclarée, selon la valeur la plus élevée du parafoudre en tête et avec 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 et 1 fois I_{imp} du parafoudre en tête
Parafoudre soumis aux essais de classe II	Parafoudre soumis aux essais de classe II ou III	avec 0,1, 0,25, 0,5, 0,75 et 1 fois I_n ou I_{max} si déclarée, selon la valeur la plus élevée du parafoudre en tête

L'essai de coordination peut être réalisé avec des courants de choc 8/20 dépassant les paramètres de décharge du parafoudre situé en aval uniquement.

F.3.4.3 Critères de réussite

Le parafoudre a réussi l'essai si un courant de suite s'est arrêté et si la stabilité thermique est obtenue après chaque choc de l'essai de parafoudre coordonné. Les enregistrements de tension et de courant, accompagnés d'un examen visuel, ne doivent indiquer aucun signe de perforation ou de contournement des échantillons. Aucun dommage mécanique ne doit se produire pendant ces essais.

La tension résiduelle mesurée du parafoudre 2 ne doit jamais dépasser la valeur déclarée de U_p.

Annexe G
(informative)

Exemples d'utilisation

NOTE La présente annexe donne des exemples typiques de systèmes pour des installations domestiques ou industrielles, ainsi que pour des pylônes de relais hertziens où sont installés des parafoudres. La présente annexe est destinée à fournir des informations sur le choix des parafoudres dans des situations limitées pour représenter les principes d'utilisation contenus dans le présent document. Elle n'a pas pour vocation de traiter les conditions particulières susceptibles d'être rencontrées dans toutes les installations ou dans tous les réseaux.

G.1 Utilisation domestique

Réseau MT: ligne aérienne de 10 km.

Réseau BT (230/400 V): ligne aérienne de 1 000 m; câble souterrain de 200 m.

N_G: 2 coups de foudre/km^2/an (voir 5.2.2).

Emplacement de la structure à protéger: sur une surface plane.

Structure de l'installation électrique: installation protégée à l'entrée par un dispositif de protection à courant différentiel résiduel (DDR) de type S (tenue: 3 kA 8/20, voir 7.2.5.3). Le courant de court-circuit maximal admissible à l'entrée de l'installation est de 3 kA. Il y a un tableau électrique principal à l'entrée du bâtiment (rez-de-chaussée) et un tableau électrique secondaire au premier étage.

Mise à la terre de la structure à protéger: 50 Ω.

Schéma de liaison à la terre du réseau BT: Schéma TT. Une phase et le neutre distribués.

Nature des appareils à protéger: machine à laver électronique, ordinateur, alarme à l'entrée, magnétoscope et téléviseur, etc.

Compte tenu de l'analyse du risque (voir Article 4), il y a probablement intérêt à utiliser des parafoudres (valeur élevée de N_G, lignes aériennes du côté MT et BT du transformateur, appareils électroniques, etc.).

À cause des lignes aériennes, des courants de foudre moyens sont prévus; courant nominal de décharge (I_n) ≥ 5 kA 8/20 par fil au niveau de l'entrée.

À l'entrée du bâtiment, une alarme doit être protégée (matériel sensible); U_p ≤ 1,5 kV. Cette condition peut être remplie en utilisant un parafoudre à un port (voir 3.1.21) soumis à des essais de classe II avec U_p = 1,5 kV.

À l'entrée du bâtiment, le courant de court-circuit maximal admissible est de 3 kA en valeur efficace; tenue du parafoudre aux courts-circuits ≥3 kA en valeur efficace (voir 6.5.4). Pour cela, le fabricant recommande d'utiliser un fusible ou les caractéristiques de coupure en court-circuit du disjoncteur du dispositif de protection à courant différentiel résiduel (dispositif de protection contre les surintensités). Si un DDR de type S est utilisé à l'entrée, la continuité du service n'est pas assurée pour des chocs d'entrée supérieurs à 3 kA 8/20.

Aucune protection supplémentaire contre les contacts indirects n'est nécessaire à cause du DDR. Un déconnecteur thermique est incorporé dans le parafoudre proprement dit (voir 7.3.1).

Dans la mesure où il s'agit d'un schéma TT et afin d'éviter une contrainte trop élevée entre la phase et le neutre: il est recommandé d'utiliser un parafoudre possédant trois modes de protection (phase / neutre, neutre / terre et phase / terre; voir 7.1.3).

En ce qui concerne les autres dispositifs à protéger, il est uniquement nécessaire d'utiliser une protection entre la phase et le neutre, car la terre n'est reliée ni à l'un ni à l'autre, sauf pour la machine à laver pour laquelle la terre est présente pour des raisons de sécurité. Dans ce cas, une protection entre phase et terre et entre neutre et terre peut s'avérer nécessaire.

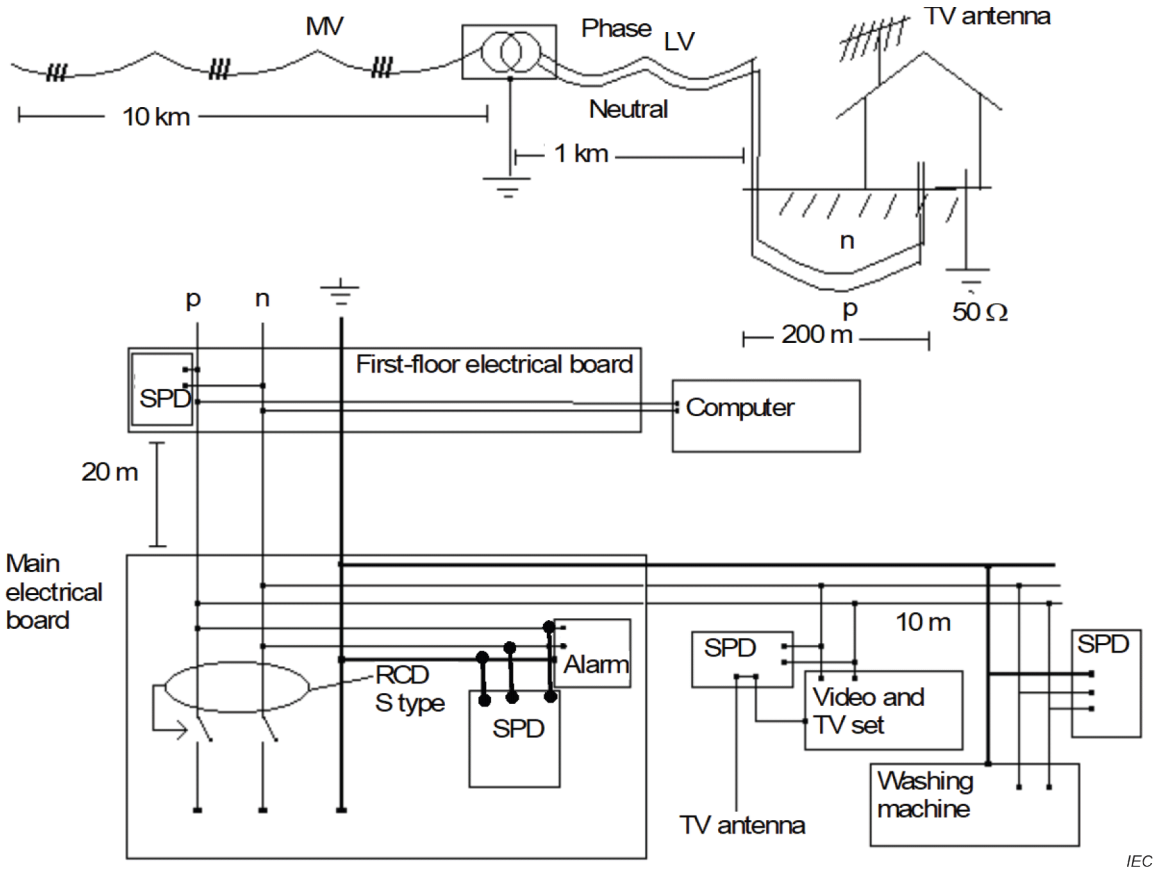
NOTE La présence d'une protection supplémentaire peut s'avérer nécessaire si l'antenne de télévision est reliée à la terre.

Dans la mesure où la distance entre le parafoudre placé à l'entrée et les autres dispositifs, notamment ceux installés au premier étage, est grande (respectivement 10 m et 20 m), la présence d'autres parafoudres est nécessaire à proximité des appareils à protéger (7.2.3). Il convient de placer un parafoudre à proximité de la machine à laver, un autre à proximité du magnétoscope et du téléviseur. Un autre est raccordé au tableau électrique du premier étage, mais qui pourrait être directement relié à la prise informatique (faible distance entre ce tableau secondaire et l'ordinateur).

Il convient que les autres parafoudres détectent un courant de choc plus faible. Ainsi, il suffit d'utiliser des parafoudres qui satisfont aux exigences des essais de classe II avec I_n = 2 kA. Une valeur de U_p = 0,8 kV est alors proposée dans le catalogue fabricant.

La distance de 20 m est suffisante pour assurer le découplage entre le parafoudre placé à l'entrée et le parafoudre situé au premier étage. En revanche, la distance de 10 m entre le parafoudre placé à l'entrée et les autres parafoudres placés au rez-de-chaussée ne suffit pas à assurer un découplage adéquat en raison de la faible valeur de U_p = 0,8 kV (voir 7.2.7). Il est alors préférable de choisir un autre parafoudre avec U_p = 1,5 kV, par exemple pour les autres parafoudres installés au rez-de-chaussée.

Pour ces parafoudres, le courant de court-circuit sur leur lieu d'installation est faible et le fabricant a incorporé les déconnecteurs nécessaires (thermiques et de court-circuit). Voir la Figure G.1.



Anglais	Français
MV	MT
Phase	Phase
LV	BT
Neutral	Neutre
TV antenna	Antenne TV
First-floor electrical board	Tableau électrique du premier étage
SPD	Parafoudre
Computer	Ordinateur
Main electrical board	Tableau électrique principal
RCD S type	DDR de type S
Alarm	Alarme
Video and TV set	Poste de télévision
Washing machine	Machine à laver

Figure G.1 – Utilisation domestique

G.2 Utilisation industrielle

Réseau MT: ligne aérienne de 10 km

Réseau BT (230 V/400 V): 2 sections de câbles souterrains de 100 m

N_G = 0,5 coup de foudre/km^2/an (voir 5.2.2)

Emplacement de la structure à protéger: sur une surface plane

Structure de l'installation électrique:

Transformateur MT/BT à l'intérieur du bâtiment principal (MB, main building)

Schéma de neutre en TN-C BT alimentant un tableau de distribution principal triphasé au niveau du bâtiment principal. Un réseau TN-C fournit une alimentation triphasée à un bâtiment séparé B1, et un réseau TN-C-S fournit une alimentation triphasée à un bâtiment B2. B1 et B2 sont situés à environ 100 m du bâtiment principal.

Matériel à protéger:

Bâtiment principal – Alimentation (transformateur MT/BT) de l'usine de fabrication industrielle, y compris installation de conditionnement d'air, éclairage d'usine, régulateurs de moteurs industriels, entraînements à vitesse variable et tours à commande numérique informatisée (CNC, computer numerically controlled).

Bâtiment B1 – Matériel général de bureau, y compris photocopieurs, télécopies, réseau informatique local, standard téléphonique (PABX), situé à proximité du tableau de distribution 1.

Bâtiment B2 – Matériel de commande de processus, y compris automates programmables (PLC, programmable logic controllers) pour le système de gestion de l'installation, de télésurveillance et d'acquisition de données (SCADA, supervisory control and data acquisition), le pont à bascule, les moniteurs, situés dans la plupart des cas, à environ 50 m du tableau de distribution 2.

Mise à la terre des structures: la mise à la terre du bâtiment principal est mesurée à 11 Ω et la terre locale pour les bâtiments B1 et B2 est égale respectivement à 49 Ω et 51 Ω soit une résistance totale du schéma de liaison à la terre d'environ 7 Ω lorsqu'ils sont reliés par le conducteur PE du TNC. Il y a une barre d'équipotentialité EB (Equipotential Bonding bar), EB1 et EB2 dans chacun des bâtiments respectifs MB, B1 et B2.

Analyse du risque (voir Article 4): l'installation est relativement peu exposée à l'influence de coup de foudre direct, mais il peut être nécessaire que le transformateur MT/BT lui-même soit protégé sur le côté MT à l'aide de parafoudres MT (en raison de l'utilisation d'une ligne aérienne MT exposée à la foudre). Les courants de choc peuvent néanmoins circuler dans le schéma de liaison à la terre locale en raison de l'augmentation du potentiel de terre du transformateur, et des parafoudres BT sont nécessaires sur le côté BT du transformateur, ainsi qu'au niveau des entrées dans les bâtiments B1 et B2.

Philosophie de la protection: Une analyse du risque classe généralement la nécessité de fonctionnements continus d'une installation industrielle de ce type comme étant de "nature cruciale". Il convient d'utiliser une protection contre les surtensions dans l'ensemble de l'installation, afin de fournir une protection au point d'entrée primaire au niveau du tableau de distribution principal, ainsi qu'au niveau des tableaux de distribution distincts DB1 et DB2 dans chacun des bâtiments B1 et B2.

Bâtiment principal – Les parafoudres sont reliés à l'intérieur du tableau de distribution principal entre chaque phase et la barre d'équipotentialité principale EB. Il convient de soumettre ces parafoudres BT aux essais de classe II. Par exemple, un courant nominal de décharge I_n de 10 kA (mêmes caractéristiques assignées que le parafoudre MT) avec un niveau de protection en tension $U_{p1} \leq 1{,}2$ kV, peut être utilisé à cet emplacement, afin d'assurer une coordination avec les parafoudres supplémentaires utilisés en aval (voir ci-dessous).

Il est nécessaire de coordonner la tenue aux courts-circuits (et la valeur assignée d'interruption du courant de suite en cas de parafoudres à coupure de tension) des parafoudres avec le courant de court-circuit présumé au niveau du tableau de distribution principal. Ceci peut être réalisé à l'aide de déconnecteurs qui peuvent être soit des dispositifs externes de protection contre les surintensités connectés en série spécifiés par le fabricant (tels que des fusibles, des disjoncteurs, etc.), soit des dispositifs situés à l'intérieur du parafoudre.

Il existe différents types de matériels à l'intérieur du bâtiment, avec différentes capacités de tenue en tension, y compris des matériels sensibles (tension assignée de tenue aux chocs U_W = 1,5 kV, conformément à l'IEC 60664-1). Le matériel est situé à 30 m du parafoudre installé à l'entrée de l'installation. Ceci peut alors entraîner des oscillations (voir 7.1.4).

En pareil cas, le niveau de tension au niveau du matériel peut avoir une valeur maximale de 2* U_{p1}, U_{p1} étant le niveau de protection du parafoudre à l'entrée. Dans cet exemple, qui décrit le cas le plus défavorable, il convient que U_{p1} soit inférieur à 1,5 kV* 0,8/2 (c'est-à-dire 600 V), conformément à 7.1.4. En raison de surtensions temporaires éventuelles, un niveau de protection si bas peut augmenter la probabilité de défaillance de ce parafoudre, et il peut être préférable de choisir un parafoudre à l'entrée ayant une valeur de *U*p plus élevée (moins sensible aux surtensions temporaires), par exemple U_{p1} = 2,5 kV. Dans pareil cas, un parafoudre supplémentaire avec $U_{p2} \leq 1\,200$ V (0,8 * U_W), est exigé en face du matériel (Eq). La division par 2 n'est plus nécessaire compte tenu de la proximité avec le matériel sensible.

Si un parafoudre d'une valeur de U_{p1} inférieure est utilisé ($U_{p1} \leq 600$ V), le second parafoudre n'est pas nécessaire. Ce processus concerne la tenue en tension U_W du matériel (coordination de l'isolement).

Un niveau de protection en tension U_p inférieur (soit U_{p2} si deux parafoudres sont utilisés, soit U_{p1} si un seul parafoudre est utilisé) peut être nécessaire pour éviter un dysfonctionnement du matériel (voir Note en 7.1.4.5, considération relative à l'immunité aux chocs).

La longueur des câbles reliant le parafoudre 1 à la barre d'équipotentialité ne satisfait pas aux critères de 7.1.4.4. C'est la raison pour laquelle un conducteur supplémentaire entre le parafoudre 1 et le conducteur PEN est utilisé. La longueur des câbles reliant le parafoudre 2 au conducteur PEN satisfait aux critères de 7.1.4.4, et donc aucun conducteur supplémentaire n'est utilisé.

La protection des circuits de données et de commande est fondée sur l'IEC 61643-22.

Bâtiment 1 – Étant donné que la distance entre B1 et le bâtiment principal est de 100 m, il convient que les parafoudres soumis aux essais de classe II (parafoudre 3) soient reliés entre chaque phase et la barre d'équipotentialité. Prendre pour hypothèse qu'un courant nominal de décharge I_n de 5 kA et un niveau de protection en tension $U_p \leq 1$ kV soient utilisés à cet emplacement (une valeur ≤ 1 kV est nécessaire en raison des matériels sensibles installés en B1. Étant donné que le bâtiment est petit et que le matériel est situé à proximité du tableau de distribution 1, il n'est pas nécessaire de tenir compte de l'effet de doublement de tension, voir 7.1.4). Ceci concerne la tension assignée de tenue aux chocs U_W du matériel (coordination de l'isolement). Un niveau de protection en tension U_p inférieur peut être nécessaire pour éviter un dysfonctionnement du matériel.

La longueur des câbles reliant le parafoudre 3 à la barre d'équipotentialité 1 satisfait aux critères de 7.1.4.4, et donc aucun conducteur supplémentaire n'est utilisé.

La protection des circuits de données et de commande est fondée sur l'IEC 61643-22.

Bâtiment 2 – Comme B1, B2 est situé à environ 100 m du bâtiment principal, et il convient que les parafoudres (parafoudre 4) soient reliés entre chaque phase et la barre d'équipotentialité du conducteur PE/ou conducteur PEN. Il convient de soumettre ces parafoudres BT aux essais de classe II. Prendre pour hypothèse qu'un courant nominal de décharge I_n de 5 kA et un niveau de protection en tension U_p ≤ 1,2 kV soient utilisés à cet emplacement.

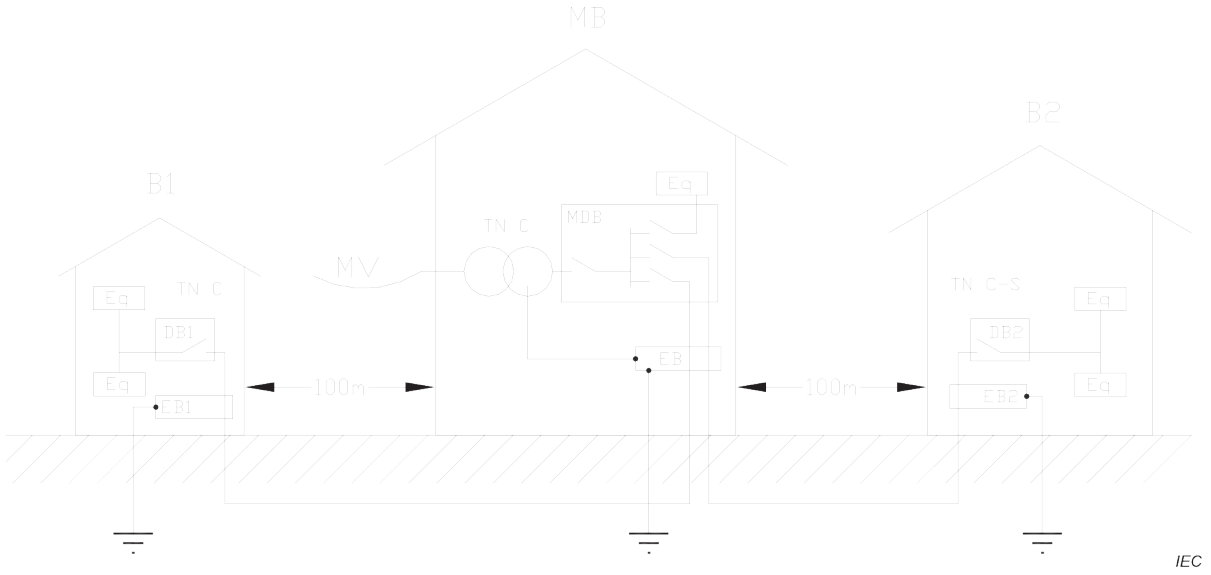
Il existe différents types de matériels à l'intérieur du bâtiment, avec différentes tenues en tension, y compris des matériels sensibles (tension assignée de tenue aux chocs U_W = 1,5 kV, conformément à l'IEC 60664-1). Le matériel est situé à 50 m du parafoudre installé à l'entrée. Ceci peut entraîner des oscillations (voir 7.1.4). Dans ce cas le plus défavorable, le niveau de tension au niveau du matériel a une valeur maximale de 2* U_{p1}, U_{p1} étant le niveau de protection du parafoudre à l'entrée. Conformément à 7.1.4.5, il convient que U_{p1} soit inférieur à 1,5 kV* 0,8/2 (c'est-à-dire 600 V). Les considérations relatives aux surtensions temporaires s'appliquent comme dans le cas du bâtiment 1. Le parafoudre situé à l'entrée (parafoudre 4) peut avoir une valeur de U_{p1} atteignant 1,2 kV. Dans pareil cas, un parafoudre supplémentaire (parafoudre 5) avec une valeur de U_{p2} inférieure ou égale à 1,2 kV (0,8* U_W), est nécessaire devant le matériel Eq. Si une valeur de U_{p1} inférieure est utilisée (U_{p1} ≤ 600 V), le second parafoudre n'est pas nécessaire. Ce processus concerne la tension assignée de tenue aux chocs U_W du matériel (coordination de l'isolement). Un niveau de protection en tension inférieur U_p (soit U_{p2} si deux parafoudres sont utilisés, soit U_{p1} si un seul parafoudre est utilisé) peut être nécessaire pour éviter un dysfonctionnement du matériel (voir Note en 7.1.4.5).

Si un parafoudre supplémentaire est nécessaire à proximité du matériel portable (parafoudre 5), il convient qu'il fournisse une protection entre chaque phase et le neutre et entre le neutre et la terre de protection. Ceci est exigé afin de couvrir le risque d'augmentation du potentiel dans le conducteur de neutre, résultant du matériel situé à 50 m de la liaison neutre-terre de protection qui est dans le tableau de distribution 2 (voir la Figure G.3).

La longueur des câbles reliant le parafoudre 4 à la barre d'équipotentialité 2 et la longueur des câbles reliant le neutre du parafoudre 5 à la terre de protection satisfaisant aux critères de 7.1.4.4, aucun conducteur supplémentaire n'est utilisé.

La protection des circuits de données et de commande est fondée sur l'IEC 61643-22.

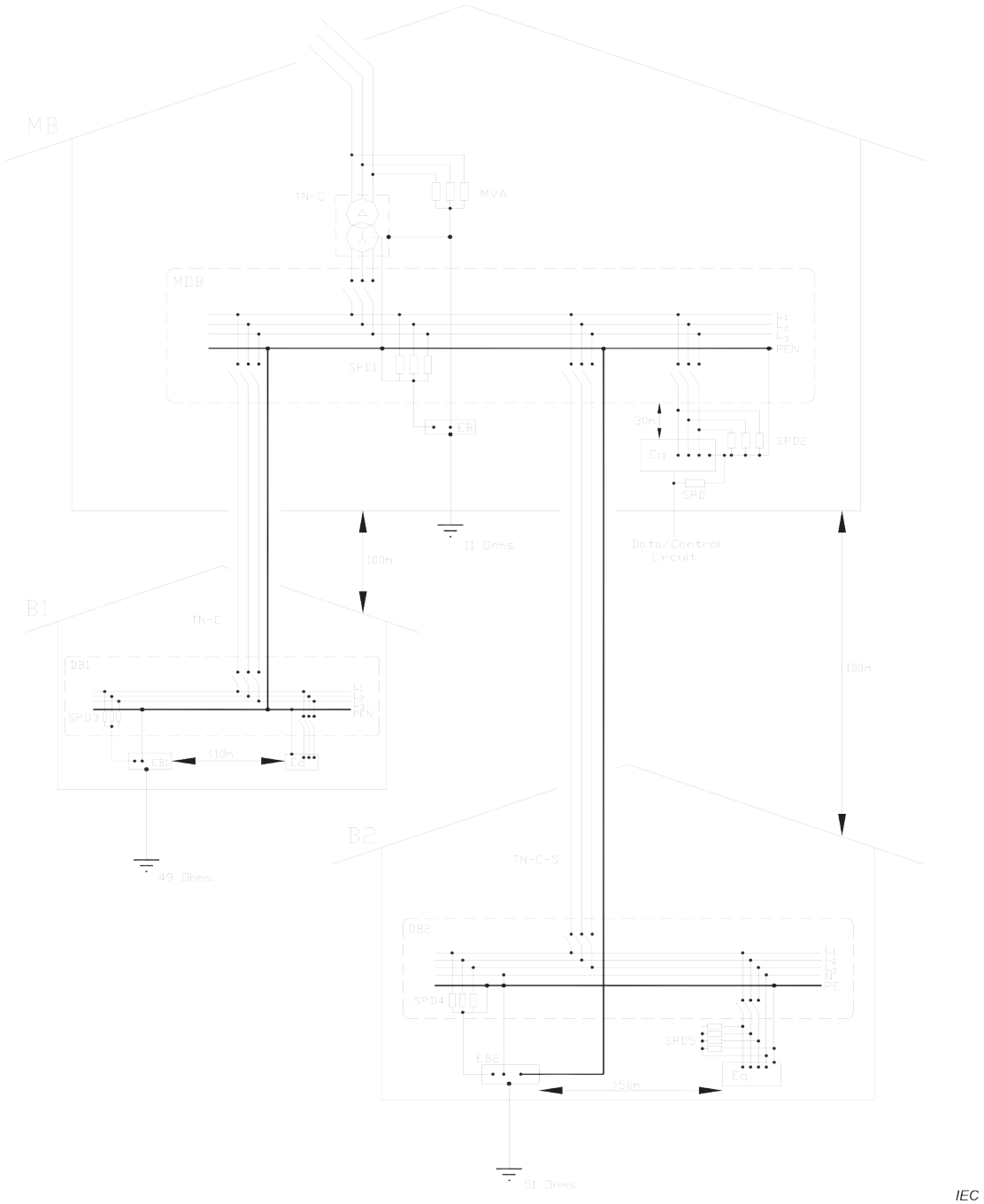
Voir la Figure G.2 et la Figure G.3.



Légende

B1, B2	Bâtiment 1, 2
MB	Bâtiment principal
EB	Barre d'équipotentialité
MDB	Tableau de distribution principal
DB	Tableau de distribution
Eq	Matériels

Figure G.2 – Installation industrielle



Légende

B1, B2	Bâtiment 1, 2
MB	Bâtiment principal
EB	Barre d'équipotentialité
MDB	Tableau de distribution principal
Eq	Matériels
PB	Tableau de contrôle
MVA	Parafoudre MT

Figure G.3 – Circuits de l'installation industrielle

G.3 Présence d'un système de protection contre la foudre

Relais hertzien équipé d'un système de protection contre la foudre

Réseau MT:	ligne aérienne de 10 km
Réseau BT:	ligne aérienne de 500 m
N_G:	6 coups de foudre/km^2/an
Emplacement de la structure à protéger:	au sommet d'une colline
Structure de l'installation électrique:	le neutre est relié à la terre au pied de la colline

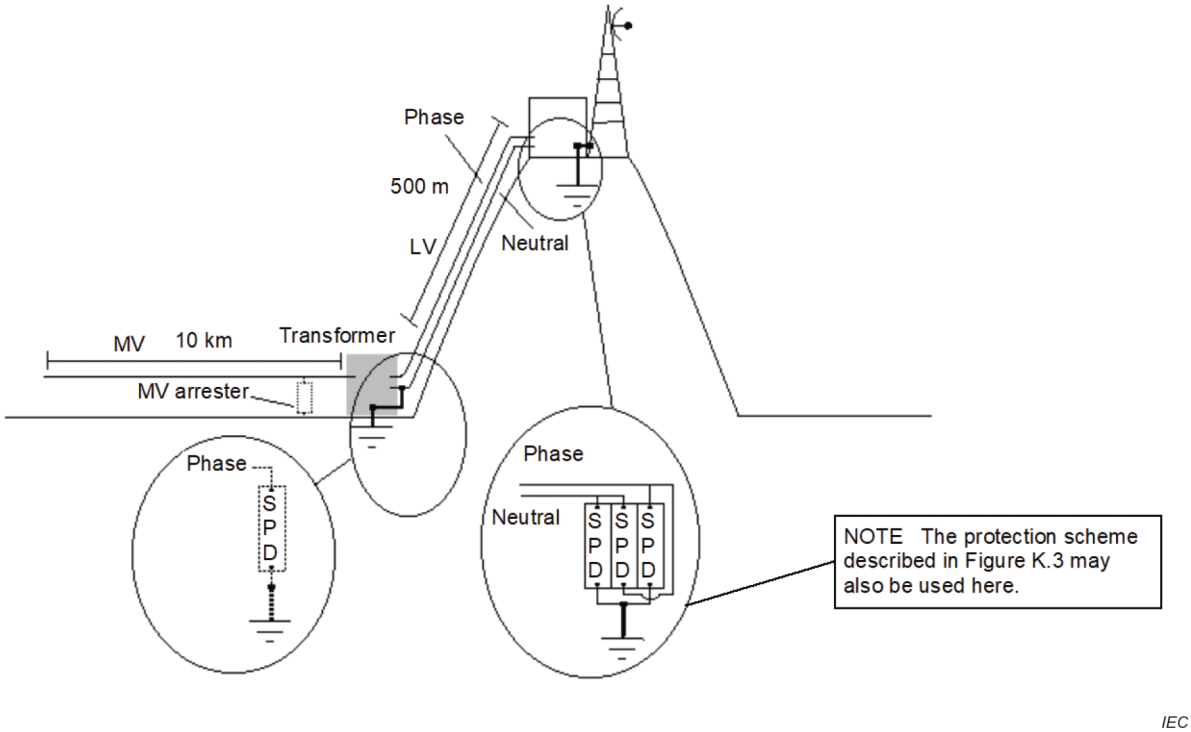
Matériel relié à la terre de protection locale

Mise à la terre de la structure à protéger:	10 Ω
Mise à la terre du transformateur MT/BT:	10 Ω
Schéma de liaison à la terre du réseau BT:	Schéma TT; une phase et le neutre distribués
Nature des appareils à protéger:	matériel électronique

Compte tenu de la nature cruciale de l'installation (analyse du risque, voir Article 4), il est nécessaire d'utiliser des parafoudres qui ont été soumis aux essais de classe I. Les parafoudres sont reliés entre la phase et la terre locale, entre le neutre et la terre locale et entre la phase et le neutre. Dans la mesure où le calcul pour la répartition du courant n'a pas été effectué, il convient de soumettre ces parafoudres aux essais de classe I et qu'ils aient un courant maximal admissible de 25 kA, étant donné qu'ils doivent décharger une partie significative du courant de foudre direct frappant le pylône du relais hertzien (voir l'Annexe D). Un autre parafoudre, avec les mêmes caractéristiques assignées de courant, installé à l'opposé de la ligne aérienne peut être utilisé pour assurer la protection du transformateur. Il convient que le niveau de protection du parafoudre à proximité du matériel sensible soit inférieur ou égal à 1,5 kV, par exemple (des valeurs inférieures peuvent être nécessaires pour couvrir l'immunité aux chocs) et le parafoudre à proximité du transformateur peut avoir un niveau de protection jusqu'à 6 kV (tenue d'isolement typique d'un transformateur fondée sur la coordination de l'isolement).

En outre, l'utilisation d'un parafoudre du côté MT du transformateur peut s'avérer nécessaire. Ce point est traité dans l'IEC 60099-5.

Voir la Figure G.4.



Anglais	Français
Phase	Phase
Neutral	Neutre
LV	BT
MV	MT
Transformer	Transformateur
MV arrester	Parafoudre MT
NOTE The protection scheme described in Figure K.3 may also be used here	NOTE Le schéma de protection décrit à la Figure K.3 peut également être utilisé ici

Figure G.4 – Exemple de système de protection contre la foudre

G.4 Éoliennes

G.4.1 Généralités

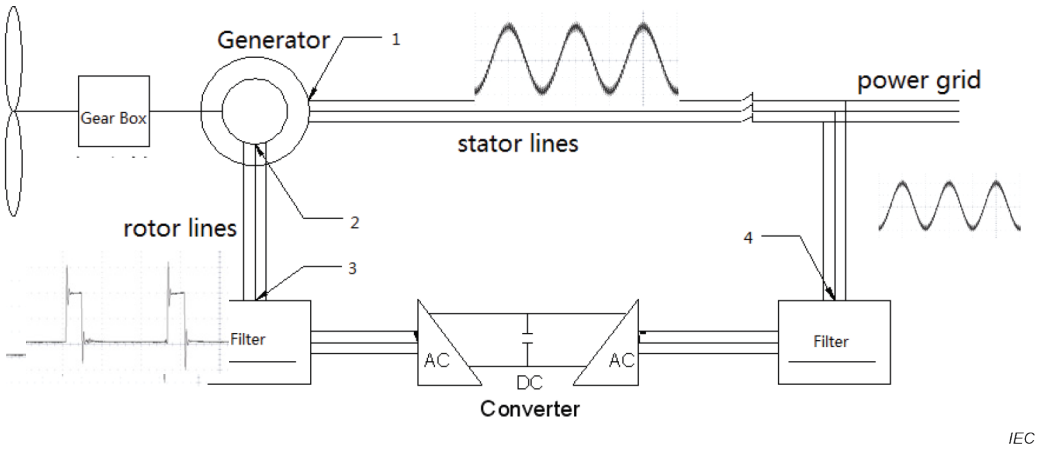
Il existe trois types d'éoliennes dans les parcs éoliens: les génératrices asynchrones à double alimentation (DFIG – *double-feed induction generator*), les génératrices à entraînement direct et les génératrices à entraînement semi-direct. À l'heure actuelle, les génératrices asynchrones à double alimentation sont largement utilisées dans les parcs éoliens.

NOTE En anglais, les génératrices asynchrones à double alimentation sont également appelées Doubly-Fed Induction Generator.

La conversion d'énergie utilisant une commutation haute fréquence engendre des problèmes particuliers pour les parafoudres. Le circuit de convertisseur d'éolienne DFIG en est un exemple.

G.4.2 Surtensions transitoires dans le circuit de convertisseur DFIG

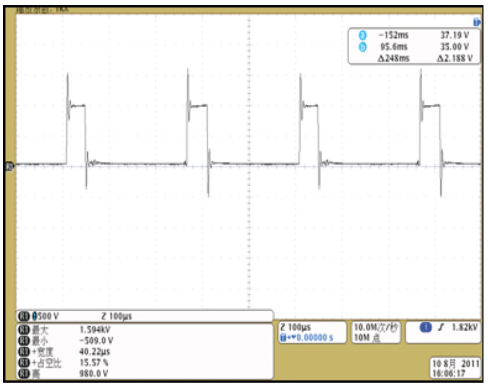
Les DFIG sont composées de génératrices asynchrones, de convertisseurs et d'un réseau électrique. La Figure G.5 indique que la puissance peut circuler entre le rotor de la génératrice et le réseau électrique.



Anglais	Français
Generator	Générateur
power grid	réseau électrique
stator lines	lignes de stator
rotor lines	lignes de rotor
Filter	Filtre
AC	Courant alternatif
DC	Courant continu
Converter	Convertisseur

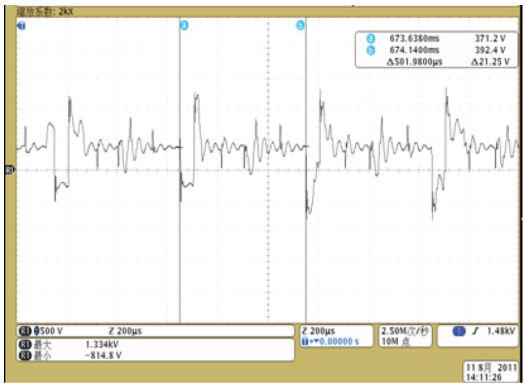
Figure G.5 – Configuration d'une éolienne DFIG

Les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) sont largement utilisés comme composants de commutation dans les convertisseurs. La fréquence de commutation des convertisseurs de plus de 1 MW est en général de quelques kHz. Par exemple, un convertisseur de 1,5 MW présente une fréquence de commutation de 2 kHz. La tension en courant continu au niveau du circuit du rotor est en général de 1 050 V. La modulation de l'IGBT génère des transitoires répétitifs avec une valeur de crête élevée et un temps de montée très abrupt sur la tension MLI de sortie (voir la Figure G.6). Cette valeur de crête et ce temps de montée abrupt ($\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$) peuvent nuire à l'isolement de la génératrice et du convertisseur, ainsi que sur le parafoudre qui les sépare.



IEC

a) L-L



IEC

b) L-PE

Figure G.6 – Tension MLI entre la génératrice et le convertisseur au niveau du circuit du rotor

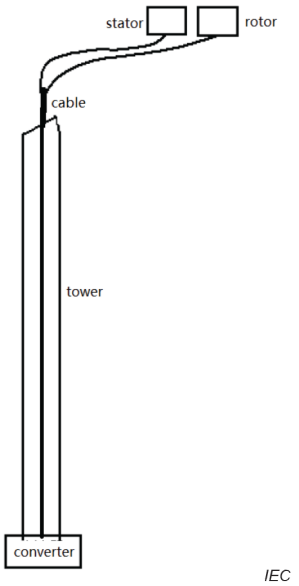
Le circuit du stator et le circuit du rotor de la DFIG présentent des caractéristiques différentes:

- le circuit du stator est directement connecté au réseau électrique avec la même fréquence en courant alternatif que ce dernier.
- le circuit du rotor est connecté au réseau électrique par l'intermédiaire d'un convertisseur. Il génère la tension MLI, qui est composée d'ondes rectangulaires avec une tension transitoire répétitive de valeurs de crête et de du/dt élevées.

G.4.3 Effet de transmission de la tension transitoire en raison de la longueur de câble

En pratique, les convertisseurs sont en général installés séparément de la génératrice (voir la Figure G.7). Les génératrices sont souvent installées dans la nacelle au sommet du pylône. Les convertisseurs sont en général installés au pied du pylône. Les génératrices et les convertisseurs sont reliés avec de longs câbles entre la nacelle et le pied du pylône.

La génératrice et le convertisseur étant installés à distance significative et reliés avec des câbles d'environ 100 m, l'onde MLI transmise le long des câbles provoque un effet de réflexion au niveau de la génératrice. La valeur de crête de l'onde MLI et la valeur de du/dt côté génératrice sont donc plus élevées que celles côté convertisseur. Selon une enquête réalisée en Chine en 2011, la valeur de crête de la tension MLI et la valeur de du/dt au point 2 et au point 3 de la Figure G.5 sont énumérées dans le Tableau G.1.



Anglais	Français
cable	câble
tower	Pylône
converter	convertisseur

Figure G.7 – Position du convertisseur et de la génératrice

Tableau G.1 – Valeur de crête de la tension MLI et de du/dt aux deux bornes selon l'enquête réalisée en Chine en 2011

	Valeur de crête de U (L-L) (kV)	Valeur de crête de du (L-L)/dt (V/µs)	Valeur de crête de U (L-PE) (kV)
Point 2	1,70	970	2,0
Point 3	1,54	852	1,96

Dans le Tableau G.1, la valeur de crête de la tension MLI entre phases côté génératrice (Point 2) est supérieure de plus de 10 % à celle côté convertisseur (Point 3). Le du/dt est supérieur d'environ 14 %. Cette différence est due à l'effet de réflexion lors de la transmission le long du câble. Donc, l'isolation de la génératrice est beaucoup plus sollicitée, ainsi que les parafoudres installés côté génératrice.

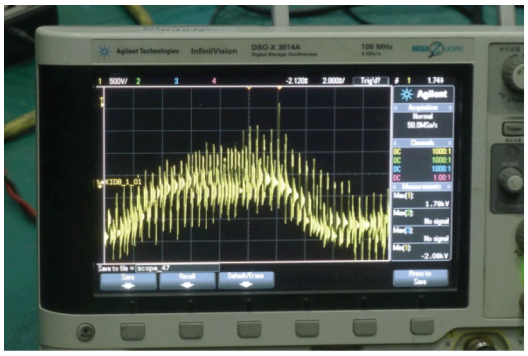
G.4.4 Coordination de tension entre le parafoudre et le matériel dans les parcs éoliens

Un convertisseur d'éolienne à entraînement direct de 2,5 MW a été soumis à l'essai dans un laboratoire. Plusieurs parafoudres présentant une MOV de U_c = 750 V et V_V = 1 450 V ont été à l'origine installés entre L-PE côté génératrice. Toutefois, leurs déconnecteurs internes fonctionnaient après la mise sous tension du convertisseur. Ensuite, la tension L-PE côté génératrice du convertisseur a été observée, et certaines impulsions brèves de 2 kV ont été observées (voir la Figure G.8 b)). La Figure G.8 b) permet de remarquer que la valeur V_V du parafoudre est bien inférieure à la valeur de crête des impulsions brèves. Dans cette situation, le parafoudre est endommagé et le courant de fuite provoque un échauffement des MOV. Cela provoque le déclenchement du déconnecteur interne. Après avoir installé un parafoudre avec U_c = 1 000 V, le problème a été résolu.

NOTE La capacité du parafoudre est également prise en considération si ce dernier est connecté entre L et PE en raison du courant de fuite.

IEC

a)



IEC

b)

Figure G.8 – Convertisseur soumis à l'essai en laboratoire et sa forme d'onde de tension L-PE

Le Tableau G.2 est issu du CLC/TR 50539-22 et décrit une situation analogue.

Tableau G.2 – Exemple de caractéristiques du circuit d'excitation de l'alternateur de génératrice et du parafoudre associé

Tension maximale de fonctionnement du réseau, L-L	750 V efficace (± 10 %), 0….200 Hz
Transitoires répétitifs superposés aux tensions Phase-Terre	1,7 kV
Transitoires répétitifs superposés aux tensions de fonctionnement L-L	2,95 kV
du/dt des transitoires répétitifs superposés aux tensions	1,4 kV/µs
Fréquence de commutation du convertisseur	2 000 Hz
Caractéristiques principales du parafoudre	
U_c	Il convient de le sélectionner de manière à résister à la contrainte des transitoires répétitifs superposés aux tensions de fonctionnement
Fréquence de fonctionnement	Il convient de la sélectionner en tenant compte de la fréquence de commutation du convertisseur
I_{imp}, (T1) par mode de protection	1…5 kA
I_n, (T2) par mode de protection	15 kA
Courant de court-circuit assigné I_{SCCR}	< 20 kA, 50-60 Hz
Normes à respecter	IEC 61643-11

Un cas similaire peut également se présenter aux onduleurs.

Tableau G.3 – Comparaison entre le parc éolien et le réseau de distribution à basse tension

N°	Facteur	réseaux de distribution à basse tension	réseau électrique DFIG		commentaire
			Circuit du stator	Circuit du rotor	
1	forme d'onde	sinusoïdale en courant alternatif	sinusoïdale en courant alternatif	PWM	
2	fréquence	50 Hz	50 Hz	Fréquence de commutation: ≤ 3 kHz Fréquence fondamentale: ≤ 20 Hz	
3	schéma de liaison à la terre	TN、TT、IT	IT	IT	
4	réseau	réseau monophasé réseau triphasé	réseau triphasé	réseau triphasé	
5	courant de court-circuit	selon la capacité du transformateur de distribution	selon la capacité de la génératrice et du transformateur élévateur de tension	indéterminé	
6	TOV	Surtensions temporaires dans les schémas TT et IT provoquées par des défauts dans le réseau haute (moyenne) tension	——	——	le transformateur élévateur de tension fait l'objet d'une liaison équipotentielle avec les éoliennes.
		Surtensions temporaires provoquées par des défauts ou des perturbations dans les basses tensions dans le schéma TN, TT ou IT	——	——	
7	valeur de crête de la tension	$\sqrt{2}U_N$ ($U_N = 230/400$)	$\sqrt{2}U_N$ ($U_N = 400/690$)	onde carrée, raideur de montée ≤ 1,5 kV/µs, valeur de crête ≤ 1,7 kV(L-PE) valeur de crête ≤ 2,95 kV(L-L)	Selon le CLC/TR 50539-22

G.4.5 Solutions possibles pour le cas décrit dans le CLC/TR 50539-22

Il existe deux principales solutions:

Soit d'utiliser des parafoudres avec une valeur de U_c plus élevée.

Il convient que la valeur de V_V des MOV soit supérieure ou égale à la valeur de crête du transitoire. En règle générale, il existe une relation entre $V_V/U_c \approx 1{,}6$. Ensuite, il peut être défini par hypothèse que:

- Il convient que la valeur U_c du parafoudre entre L-PE ne soit pas inférieure à 1,06 kV afin de résister aux transitoires jusqu'à 1,7 kV. Par conséquent, la valeur U_p du parafoudre atteint souvent 4 kV.
- Il convient que la valeur U_c du parafoudre entre L-L ne soit pas inférieure à 1,85 kV afin de résister aux transitoires jusqu'à 2,95 kV. Par conséquent, la valeur U_p du parafoudre atteint souvent 6 kV.

Compte tenu de la chute de tension au niveau des câbles et des déconnecteurs externes, la contrainte de tension sur l'isolation du convertisseur et de la génératrice est très sévère. Il convient de prendre cela en considération ou de procéder à un essai afin d'obtenir une coordination de l'isolement réussie.

Soit d'utiliser des parafoudres de conception spécifique en mesure de résister à cette contrainte.

NOTE Dans certains cas, ces solutions sont extrapolées vers d'autres cas.

Annexe H
(informative)

Méthode d'appréciation du risque et exemples d'application

H.1 Généralités

L'IEC 62305-2 est une méthode bien établie permettant de déterminer le risque de coup de foudre sur la structure et sur les services connectés. Une méthode simplifiée d'analyse du risque reposant sur l'IEC 62305-2 et limitée aux chocs conduits par les lignes de puissance est décrite dans l'IEC 60364-4-44. Elle est présentée ci-dessous. D'autres méthodes peuvent être établies pour d'autres applications. Une méthodologie proposée est également présentée ci-dessous.

H.2 Méthode simplifiée proposée pour l'appréciation du risque à basse tension décrite dans l'IEC 60364-4-44

H.2.1 Maîtrise des surtensions

La série IEC 62305 doit être appliquée lorsque les conséquences d'une surtension ont un impact fort sur l'installation dans les cas suivants:

a) structure avec risque d'explosion,

b) structures dans lesquelles les dommages peuvent également impliquer les structures environnantes ou l'environnement (émissions chimiques ou radioactives, par exemple),

La protection contre les surtensions transitoires doit être assurée lorsque les conséquences des surtensions ont un impact sur:

c) la protection de la vie humaine (les services de sécurité, les établissements de soins médicaux, par exemple),

d) les services publics et l'héritage culturel (perte de services publics, centres informatiques, musées, par exemple),

e) l'activité commerciale ou industrielle (hôtels, banques, industries, supermarchés, fermes, par exemple).

Pour tous les autres cas, une appréciation du risque doit être réalisée afin de déterminer si la protection contre les surtensions transitoires est bénéfique. Si une appréciation du risque n'est pas réalisée, l'installation électrique doit être équipée d'une protection contre les surtensions transitoires. Toutefois, en fonction des règles électriques locales, cette protection peut ne pas être exigée pour les logements individuels.

Il convient de prendre en considération la protection contre les surtensions de manœuvre dans le cas des matériels susceptibles d'en générer ou de générer des perturbations dépassant les valeurs en fonction de la catégorie de surtension de l'installation, par exemple lorsqu'un générateur BT alimente l'installation ou que des charges inductives ou capacitives (par exemple, des moteurs, des transformateurs, des batteries de condensateurs, etc.), des unités de stockage ou des charges de courant élevé sont installées.

H.2.2 Méthode simplifiée d'appréciation du risque

Le niveau de risque calculé (CRL – Calculated Risk Level) est utilisé pour déterminer si la protection contre les surtensions transitoires d'origine atmosphérique est exigée:

Si CRL ≥ 1 000, aucune protection contre les surtensions transitoires d'origine atmosphérique n'est nécessaire;

Si CRL< 1 000, une protection contre les surtensions transitoires d'origine atmosphérique est exigée;

La valeur de CRL doit être calculée conformément au Tableau H.1.

Tableau H.1 – Calcul de CRL

Environnement	CRL
Environnement rural et suburbain	$(85 \times F)/(L_P \times N_g)$
Environnement urbain	$(850 \times F)/(L_P \times N_g)$

Où

– La valeur du coefficient F doit être prise égale à 1 pour toutes les installations. Toutefois, les comités nationaux peuvent ajuster la valeur du coefficient F entre 1 et 3 pour les logements.

– N_G, est la densité de foudroiement au sol (impacts par km^2 et par an) en fonction de l'emplacement de la ligne de puissance et de la structure connectée;

– La longueur d'appréciation du risque L_P est calculée comme suit:

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH};$$

Avec (voir la Figure H.1)

L_{PAL}: longueur (km) de la ligne aérienne à basse tension;

L_{PCL}: longueur (km) du câble souterrain à basse tension;

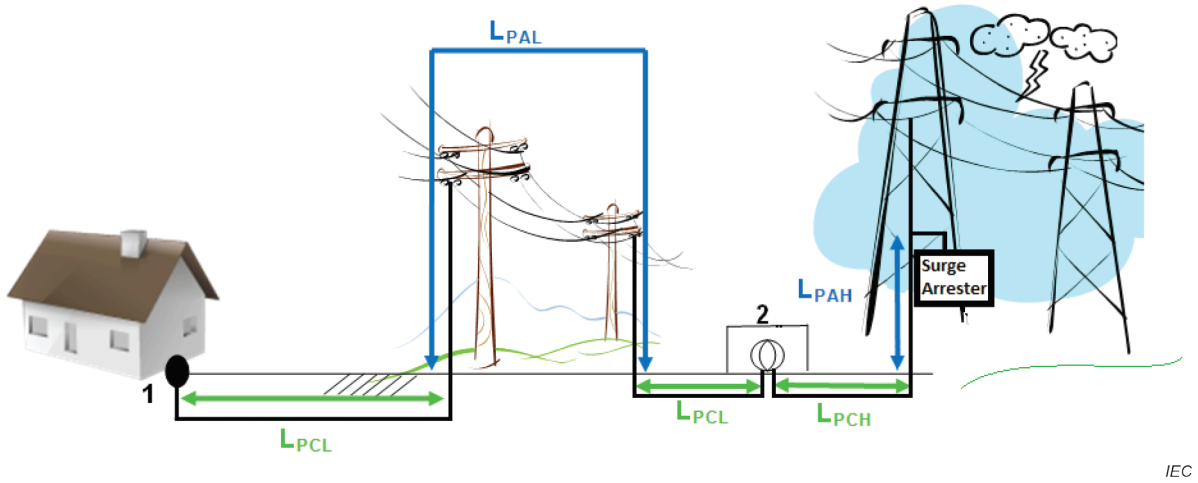
L_{PAH}: longueur (km) de la ligne aérienne à haute tension;

L_{PCH}: longueur (km) du câble souterrain à haute tension.

La longueur totale ($L_{PAL} + L_{PCL} + L_{PAH} + L_{PCH}$) est limitée à un kilomètre ou à la distance entre le premier dispositif de protection contre les surtensions (parafoudre) installé dans le réseau d'énergie et l'entrée de l'installation, selon celle qui est la plus petite.

Si les longueurs des réseaux de distribution sont totalement ou partiellement inconnues, L_{PAL} doit être pris égal à la distance restante pour atteindre une longueur totale de 1 km.

Par exemple, si seule la distance du câble souterrain est connue (100 m, par exemple), L_{PAL} doit être prise égale à 900 m.



Anglais	Français
Surge arrester	Parafoudre

Légende:

1: Origine de l'installation

2: Transformateur BT/MT

Figure H.1 – Exemple de sections individuelles d'une ligne de puissance

Si un parafoudre n'est pas exigé en raison du faible risque d'origine atmosphérique, la protection contre les surtensions de coupure peut toujours être nécessaire (voir 5.2.2). Voir la Figure H.1 ci-dessus.

H.2.3 Exemple 1 – Bâtiment en environnement rural

N_G = 1, F = 1

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= (2 \times 0{,}4) + (0{,}4 \times 0{,}6)$$
$$= 1{,}04$$

où

L_{PAL} est la longueur (km) de la ligne aérienne à basse tension: 0,4 km;

L_{PAH} est la longueur (km) de la ligne aérienne à haute tension: 0,6 km;

L_{PCL} est la longueur (km) du câble souterrain à basse tension = 0;

L_{PCH} est la longueur (km) du câble souterrain à haute tension = 0.

CRL = 85 × F / (L_P × N_G) = 85 × 1 / (1,04 × 1) = 81,7

Dans ce cas, la protection par parafoudre doit être installée.

H.2.4 Exemple 2 – Bâtiment en environnement rural alimenté en HT

N_G = 0,4, F = 1

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= 0{,}2 \times 1$$
$$= 0{,}2$$

où

L_{PAL} est la longueur (km) de la ligne aérienne à basse tension = 0;

L_{PAH} est la longueur (km) de la ligne aérienne à haute tension =0;

L_{PCL} est la longueur (km) du câble souterrain à basse tension = 0;

L_{PCH} est la longueur (km) du câble souterrain à haute tension: 1 km.

CRL = 85 × F / (L_P × N_G) = 85 × 1 / (0,2 × 0,4) = 1 062,5

Dans ce cas, la protection par parafoudre n'est pas obligatoire.

H.2.5 Exemple 3 – Bâtiment en environnement urbain

N_G = 1, F = 1

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= (2 \times 0{,}4) + (0{,}4 \times 0{,}6)$$
$$= 1{,}04$$

où

L_{PAL} est la longueur (km) de la ligne aérienne à basse tension: 0,4 km;

L_{PAH} est la longueur (km) de la ligne aérienne à haute tension: 0,6 km;

L_{PCL} est la longueur (km) du câble souterrain à basse tension = 0;

L_{PCH} est la longueur (km) du câble souterrain à haute tension = 0.

CRL = 850 × F / (L_P × N_G) = 850 × 1 / (1 × 1,04) = 817

Dans ce cas, la protection par parafoudre doit être installée.

H.2.6 Exemple 4 – Bâtiment en environnement urbain alimenté en HT

N_G = 0,5, F = 1

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= 1$$

où

L_{PAL} est la longueur (km) de la ligne aérienne à basse tension = 0;

L_{PAH} est la longueur (km) de la ligne aérienne à haute tension =0;

L_{PCL} est la longueur (km) du câble souterrain à basse tension: 1 km;

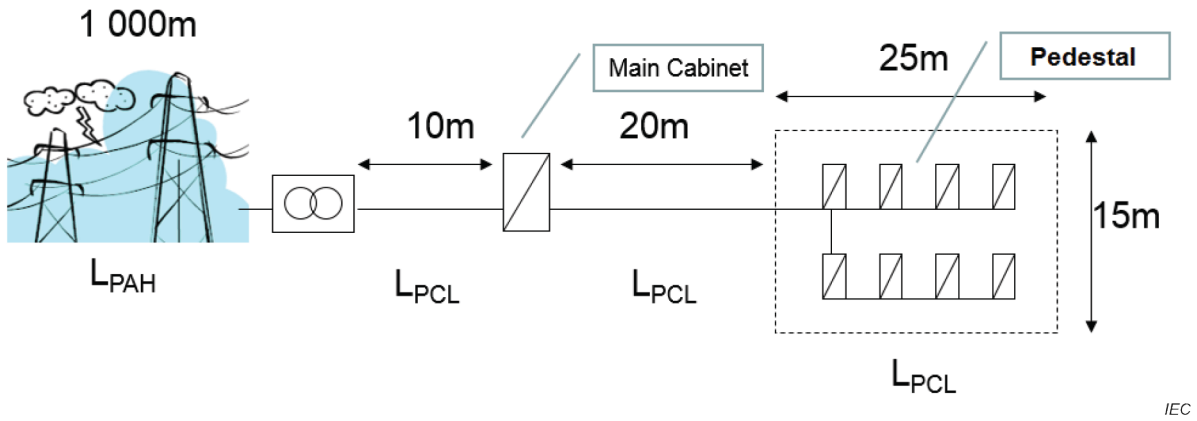
L_{PCH} est la longueur (km) du câble souterrain à haute tension = 0.

CRL = 850 × F / (L_P × N_G) = 850 × 1 / (1 × 0,5) = 1 700

Dans ce cas, le parafoudre n'est pas obligatoire.

H.2.7 Exemple 5 – Système d’alimentation pour véhicule électrique

La situation est un système d’alimentation pour véhicule électrique (ESVE) alimenté par un transformateur MT/BT (voir la Figure H.2). La longueur des lignes MT est supérieure à 1 km. Il n'y a aucun parafoudre côté MT du transformateur ni côté BT. L'armoire principale se trouve à l'intérieur d'un supermarché et la borne de charge sur le parc de stationnement. Un grand nombre de caissons se trouvent dans un endroit prévu à cet effet du parc de stationnement de (25 × 15) m. Il s'agit d'une zone suburbaine. N_G est égal à 1 et F est aussi égal à 1.



Anglais	Français
Main Cabinet	Armoire principale
Pedestal	Caisson

Figure H.2 – Exemple de système d'alimentation pour véhicule électrique

N_G = 1, F = 1.

$$L_P = 2 \times L_{PAL} + L_{PCL} + 0{,}4\ L_{PAH} + 0{,}2\ L_{PCH}$$
$$= (2 \times 0{,}07) + (0{,}4 \times 0{,}93)$$
$$= 0.512$$

où

L_{PAL} est la longueur (km) de la ligne aérienne à basse tension: 0,07 km (70 m = 10 + 20 + 40 m, 40 m étant la longueur maximale du caisson éloigné);

L_{PAH} est la longueur (km) de la ligne aérienne à basse tension: 0,93 km (cette longueur est déterminée par le fait que L_{PAL} + L_{PAH} = 1 km)

L_{PCL} est la longueur (km) du câble souterrain à basse tension = 0;

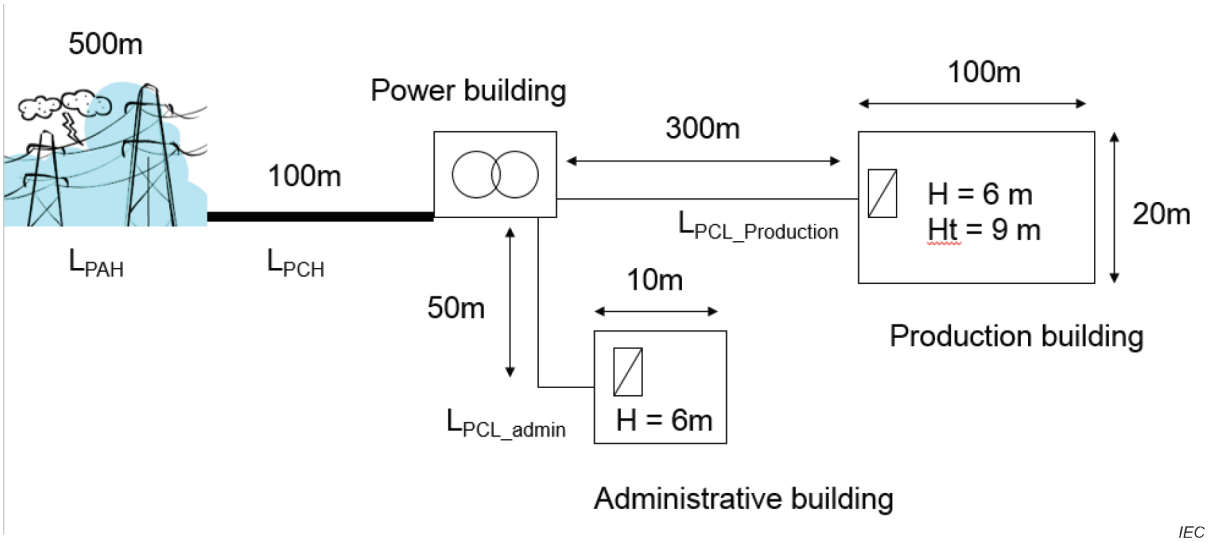
L_{PCH} est la longueur (km) du câble souterrain à haute tension = 0.

CRL = 85 × F / (L_P × N_G) = 85 × 1 / (0,512 × 1) = 166

Dans ce cas, la protection par parafoudre doit être installée côté BT du transformateur HT/BT ou dans l'armoire principale. De plus, en raison des surtensions induites dans le câblage entre l'armoire et les caissons, il est conseillé d'installer des parafoudres supplémentaires au niveau des caissons.

H.2.8 Exemple 6 – Usine de produits chimiques

Une ligne aérienne HT de 500 m de long distribue la puissance à la centrale électrique d'une usine de produits chimiques à l'aide d'un câble HT souterrain de 100 m (voir la Figure H.3). La centrale électrique ((5 × 5) m et h = 3 m) fournit la puissance BT à un bâtiment administratif ((10 × 10) m et h = 6 m) et à une usine de produits chimiques ((100 × 20) m et h = 6 m) plus une cheminée h = 9 m). Il s'agit d'une zone rurale. N_G est égal à 1 et F est aussi égal à 1.



Anglais	Français
Power building	Bâtiment de puissance
Production building	Bâtiment de production
Administrative building	Bâtiment administratif

Figure H.3 – Exemple d'usine de produits chimiques

Étant donné qu'il s'agit d'un site industriel, il convient de prévoir un parafoudre BT côté BT de la centrale électrique pour satisfaire à l'exigence e) de H.1.1. L'usine de produits chimiques pouvant avoir un impact sur l'environnement (voir la Figure H.3), il convient d'utiliser également l'IEC 62305-2 pour que l'usine de produits chimiques satisfasse à l'exigence b) de H.1.1. La méthode simplifiée d'évaluation de risques s'applique en réalité uniquement au bâtiment administratif.

Pour comparaison, la version simplifiée et celle de l'IEC 62305-2, s'appliquent pour les trois structures (voir le Tableau H.2). Seul le risque économique (R_4 selon l'IEC 62305-2) est calculé. L'impact sur l'environnement de l'usine de produits chimiques n'est pas pris en considération dans cet exemple.

Tableau H.2 – Méthode simplifiée

	1	2	3
	centrale électrique	**usine de produits chimiques**	**bâtiment administratif**
L_{PAL}	0	0	0
L_{PCL}	0	0,3	0,05
L_{PAH}	0,5	0	0
L_{PCH}	0,1	0	0
L_P	0,22	0,3	0,05
N_G	1	1	1
F	1	1	1
Environnement	rural	rural	rural
CRL	386	283	1 700
SPD	exigé	exigé	non exigé
Note	Le parafoudre est exigé, car il s'agit d'une activité industrielle (cas e)	Le parafoudre est exigé, car il s'agit d'une activité industrielle (cas e) et éventuellement cas a)	Protection par parafoudre contre les surtensions industrielles ou parafoudre pour assurer la protection d'un matériel particulier (onduleurs, ordinateur personnel ou matériel de télécommunication, par exemple) peut toujours être nécessaire

La méthode complète conforme à l'IEC 62305-2 est appliquée avec une valeur tolérable pour R_4 de 10^{-3}:

Chaque structure est par hypothèse entourée d'objets plus petits. La résistivité du sol est de 400 ohm et le circuit de distribution est tel que les boucles importantes sont évitées (le conducteur PE chemine dans le même câble que les conducteurs actifs). U_W est fixé à 2,5 kV pour les lignes BT et à la valeur maximale de l'IEC 62305-2 pour les lignes entrantes HT. Le risque d'incendie est moyen pour toutes les structures, sauf pour l'usine de produits chimiques, pour laquelle il est élevé. Un système d'extinction automatique est prévu dans l'usine de produits chimiques, les autres bâtiments étant uniquement équipés d'un système anti-incendie manuel.

Cela donne les valeurs suivantes, voir le Tableau H.3 (pour une explication du composant R_B à R_Z, voir l'IEC 62305-2. R_4 est la somme de tous les R_i avec i compris entre B et Z):

Tableau H.3 – Méthode de l'IEC 62305-2

	1	2	3
	centrale électrique	**usine de produits chimiques**	**bâtiment administratif**
R_B	$1,72 \times 10^{(-6)}$	$1,10 \times 10^{(-4)}$	$6,90 \times 10^{(-6)}$
R_C	$2,30 \times 10^{(-6)}$	$3,67 \times 10^{(-5)}$	$9,20 \times 10^{(-6)}$
R_V	$1,99 \times 10^{(-7)}$	$1,45 \times 10^{(-7)}$	$1,29 \times 10^{(-7)}$
R_M	$1,20 \times 10^{(-4)}$	$1,87 \times 10^{(-4)}$	$9,22 \times 10^{(-6)}$
R_W	$1,60 \times 10^{(-4)}$	$6,23 \times 10^{(-5)}$	$1,23 \times 10^{(-5)}$
R_Z	$2,40 \times 10^{(-3)}$	$1,80 \times 10^{(-3)}$	$3,00 \times 10^{(-4)}$
R_4	$2,68 \times 10^{(-3)}$	$2,20 \times 10^{(-3)}$	$3,38 \times 10^{(-4)}$
N_G	1	1	1
Environnement	rural	rural	rural
SPD	exigé	exigé	non exigé

Malgré le fait de reposer sur différents paramètres, dans ce cas particulier, la méthode complète et la méthode simplifiée sont cohérentes en ce qui concerne le risque économique. Toutefois, l'application de la méthode complète pour le risque humain et environnemental ou pour la perte de service peut donner des résultats différents (en particulier la mise en œuvre d'un système de protection contre la foudre) et peut donc donner lieu à différents types de parafoudres et à d'éventuels parafoudres supplémentaires.

H.3 Facteurs à prendre en considération lors de l'appréciation du risque

H.3.1 Facteurs environnementaux

Incidence et sévérité de la foudre

N_g est la densité annuelle de foudroiement, qui est le nombre de coups/km^2/an (voir 5.2.2 et I.1.1.1)

- Coup de foudre atteignant directement le système de protection contre la foudre (SPF) du bâtiment ou les lignes d'alimentation électrique et les lignes de communication
- Couplage résistif ou inductif

L'appréciation du risque exige la prise en considération de tous les types de modes directs et indirects d'énergie induite par la foudre, y compris l'entrée par l'intermédiaire du système de protection contre la foudre du bâtiment, les lignes de puissance entrantes, les lignes téléphoniques métalliques, les câbles de transmission de données, les câbles à haute fréquence, les guides d'ondes, et les conducteurs non électriques tels que les canalisations d'eau. Dans la plupart des cas, les câbles fibroniques sont protégés, à condition qu'ils ne comportent pas de conducteur(s) métallique(s) entrant dans la zone protégée.

Incidence et sévérité de la coupure de puissance

Des matériels électroniques voisins ou montés sur le même circuit que des systèmes de coupure de puissance, tels que des régulateurs de moteurs, peuvent être endommagés ou détériorés en raison des courants transitoires générés par ces systèmes. En outre, des transitoires peuvent être générés par la coupure d'un réseau de distribution électrique, par la présence de défauts dans le système ou par la présence de perturbations internes près des équipements.

Couplages induits ou conduits avec les systèmes de protection contre la foudre des bâtiments environnants.

Des dommages peuvent être occasionnés par un couplage transitoire engendré par des courants de foudre s'écoulant dans les systèmes de protection contre la foudre de bâtiments ou installations situés à proximité, y compris une augmentation du potentiel de terre associée à la dissipation des courants. Une telle distribution d'énergie se produit habituellement à travers le câblage du réseau de distribution électrique et ne peut être sous le contrôle direct de l'utilisateur. L'énergie dissipée et son amplitude sont liées aux différentes résistances de terre présentes dans le réseau électrique local.

Emplacement de l'installation ou du bâtiment

- Topographie
- Protection par les structures et les arbres environnants

Des installations situées au sommet ou sur les versants de collines ou de montagnes élevées sont plus sujettes aux coups de foudre directs que des installations similaires situées dans des vallées et dans des zones naturellement moins exposées. De la même manière, les risques de subir des coups de foudre sont accrus pour des installations comportant des pylônes de relais hertziens élevés. Les petites installations situées dans des endroits peu élevés peuvent être protégées des coups de foudre directs par des objets avoisinants plus élevés. Cependant, une telle protection n'influence pas la pénétration d'énergie à travers les câbles entrant dans l'installation.

H.3.2 Matériel et installations

Catégorie de tenue aux chocs et niveau d'immunité des matériels

Les fabricants peuvent concevoir des matériels électriques et électroniques présentant différents niveaux de tension de tenue aux chocs. Plus le niveau est faible et plus le risque est grand. Sauf indication contraire de la part d'un fabricant, il peut être recommandé de prendre pour hypothèse qu'aucune immunité spécifique n'a été intégrée à leur matériel. Une protection correctement étudiée tente d'écouler le maximum d'énergie aux points d'entrée des câbles et réduit le plus possible la transmission d'énergie aux matériels.

Schémas de liaison à la terre

- Résistance et impédance de terre
- Configuration et proximité
- Liaisons avec d'autres schémas de liaison à la terre

Le plus important est d'obtenir une liaison de terre équipotentielle par liaison galvanique ou par raccordement de parafoudres.

Des schémas de liaison à la terre séparés doivent être pris en considération avec soin.

Configuration du réseau

- Aérien
- Souterrain
- Les deux

Bien que l'utilisation de câbles d'alimentation BT enterrés présente moins de risques que les lignes de puissance aériennes, des coups de foudre directs se produisant au voisinage de câbles enterrés peuvent engendrer des surtensions considérables, surtout dans des sols hautement résistifs. Le concepteur a besoin de connaître la longueur de câble enterré, de savoir si ce câble est aérien sur une certaine distance du site et de savoir si le réseau d'alimentation MT est aérien ou non. Pour les lignes de puissance BT et MT, la longueur et la hauteur composites des lignes sont des paramètres importants. Des lignes plus longues et plus hautes présentent un risque plus important de recevoir des coups de foudre et de transmettre l'énergie de la foudre dans une installation ou dans un bâtiment.

H.3.3 Aspects économiques et interruption de service

Dégradation du service ou perte de service

Les interruptions et les pannes de service engendrent des difficultés opérationnelles pour l'entreprise. La dégradation du service peut présenter un élément qualitatif qui vient s'ajouter aux pertes financières directes. Par exemple, si l'automatisation ou l'informatisation est généralisée dans une entreprise, le retour vers une exploitation manuelle peut être virtuellement impossible.

Perte d'exploitation

Ceci couvre les frais en temps réel liés à l'indisponibilité de service des matériels, des ordinateurs, des systèmes de communication et d'information, ainsi que les pertes associées de recettes et/ou de productivité. Des systèmes cruciaux tels que des services d'urgence et certains systèmes informatiques centraux peuvent occasionner des frais directs et indirects considérables associés à la perte d'exploitation.

Les entreprises commerciales perdent des recettes directes pendant tout le temps d'immobilisation. La durée prévue pour les réparations et la reprise d'exploitation dépend de la disponibilité du personnel, des pièces de rechange, des procédures et des renseignements.

Réparation ou remplacement des matériels ou des installations

Cela représente les frais liés aux dommages physiques, y compris le réapprovisionnement en matériels ainsi que les frais directs et indirects de réinstallation. Une dégradation progressive des composants dans les matériels peut également se produire, provoquée par la répétition de surtensions de faible amplitude qui entraînent des défaillances en apparence aléatoires. De tels événements peuvent ne pas immédiatement ou directement être associés à un orage ou à une surtension ou coupure au moment auquel se produit la défaillance. Les frais déjà élevés liés à la maintenance périodique ou préventive peuvent augmenter du fait du cumul de ces effets.

Services d'urgence

La détérioration des matériels et les lésions corporelles peuvent nécessiter l'intervention de services d'urgence tels que pompiers, ambulances, police, etc., susceptibles d'occasionner des frais pour une entreprise, une personne ou une communauté. Les pannes des systèmes d'alarme incendie et des moyens de télécommunications des services d'urgence réduisent l'efficacité de ces services. Les services d'urgence exigent généralement un niveau de protection élevé.

H.3.4 Sécurité

La sécurité du personnel est un souci majeur pour les concepteurs et les installateurs. Il est nécessaire de respecter la législation en matière d'hygiène et sécurité du travail applicables à chaque pays.

S'il existe un risque de rupture diélectrique susceptible de mettre en péril la sécurité des personnes, il convient alors d'envisager l'utilisation de parafoudres.

H.3.5 Dépenses relatives à la protection

- Étude de l'installation
- Matériaux et dispositifs
- Installation des parafoudres

Les dépenses relatives à la protection comprennent les parafoudres, les études techniques et l'expertise, ainsi que l'installation électrique.

Annexe I
(informative)

Contraintes dues aux réseaux

NOTE La présente Annexe développe l'Article 5 de la présente norme. Lorsque les informations se rapportent à un paragraphe particulier, cela est indiqué entre crochets [xxx].

I.1 Courants et surtensions de foudre [5.2.2]

I.1.1 Aspects des réseaux de distribution ayant un effet sur la nécessité d'un parafoudre

I.1.1.1 Généralités

L'Article 443 de l'IEC 60364-4-44:2007 indique que les parafoudres peuvent ne pas être nécessaires selon l'analyse du risque et, en l'absence de risque, des surtensions de manœuvre internes (voir Article H.1).

Ces lignes directrices sont fondées sur certaines considérations relatives à l'installation moyenne. Si des facteurs spécifiques à l'installation à l'étude sont inhabituels, il peut y avoir une nécessité plus importante de protection contre les surtensions. Certains de ces facteurs sont pris en considération en I.1.1.2 et I.1.1.3.

Il convient de réaliser une analyse du risque fondée sur la probabilité de chocs d'entrée dans l'installation et sur l'équilibre économique entre la protection et les conséquences.

I.1.1.2 Activités kérauniques

Le paramètre le plus utile pour la détermination du risque de contraintes dues à la foudre sur l'installation est la densité locale de foudroiement, N_G.

La densité de foudroiement au sol N_G est le nombre de coups de foudre par km^2 et par an. Dans de nombreuses régions du monde, cette valeur peut être déduite des données fournies par les systèmes de localisation de la foudre (LLS) conformes à l'IEC 62858:2015. Dans les régions dépourvues de systèmes de localisation de la foudre au sol, des cartes de N_G peuvent être utilisées.

Dans les régions dépourvues de systèmes de localisation de la foudre au sol ou de cartes de N_G,voir l'IEC 62305-2.

I.1.1.3 Exposition de l'installation

Même si l'alimentation est assurée par un câble souterrain, ce câble peut ne pas être suffisant pour assurer la protection de l'installation, en particulier dans le cas de coups de foudre directs ou proches qui ne sont pas pris en considération dans l'Article 443 de l'IEC 60364-4-44:2007. C'est pourquoi l'alimentation par câble souterrain ne peut pas être utilisée, telle quelle, pour déterminer la nécessité d'un parafoudre.

I.1.2 Répartition du courant de choc dans une structure

Voir l'IEC 62305-1 et l'IEC 62305-4 pour de plus amples informations.

NOTE 1 Le courant de choc de foudre combine deux paramètres clés. Le premier correspond au temps de montée rapide qui est utile pour déterminer la valeur de la tension due à des effets inductifs. Le second paramètre correspond à la longue durée de l'impulsion qui se rapporte essentiellement à l'énergie du coup de foudre. Aucun effet à haute fréquence n'est observé à cette période ultérieure, ce qui permet d'utiliser une résistance ohmique pour calculer la distribution du courant.

Pour les installations de parafoudre dans une structure équipée d'un système de protection contre la foudre, il est suffisant de faire des calculs en utilisant les valeurs de résistance de terre mesurées en basse fréquence (prise de terre du bâtiment et du réseau de distribution, des canalisations, etc.) pour déterminer les contraintes dont les parafoudres font l'objet.

Si aucune évaluation individuelle (par exemple par le calcul) n'est possible, il peut être pris pour hypothèse que 50 % du courant de foudre total (I) pénètre par la borne de terre des systèmes de protection contre la foudre de la structure étudiée. Les 50 % restants du courant (I_s) sont distribués entre les divers raccordements de service pénétrant dans la structure, comme les parties conductrices externes, l'alimentation électrique et les lignes de communication, etc. La valeur du courant s'écoulant dans chaque raccordement de service (I_i) peut être estimée en utilisant $I_i = I_s / n$, où n est le nombre de raccordements de service.

Pour l'évaluation du courant s'écoulant dans des conducteurs individuels, désigné par I_v, dans un câble non blindé, le courant I_i s'écoulant dans le câble est divisé par le nombre de conducteurs m, avec $I_v = I_i/m$.

Dans le cas d'un câble blindé, les deux extrémités doivent être reliées à la terre directement ou par l'intermédiaire d'un parafoudre. Dans ce cas, la partie principale du courant de foudre du câble s'écoule dans le blindage (en général 50 %) et une faible partie du courant s'écoule dans les conducteurs internes. Dans tous les cas, il convient d'installer des parafoudres aussi près que possible du point d'interconnexion du blindage.

NOTE 2 Pour les parafoudres, les valeurs préférentielles de I_{imp} ou I_{max} correspondent à I_v.

Les coups de foudre directs atteignant des lignes aériennes peuvent être traités de manière similaire.

I.2 Surtensions de manœuvre [5.2.3]

Pour de plus amples informations sur les contraintes dues aux surtensions de manœuvre, voir Article C.3.

I.3 Surtensions temporaires U_{TOV} [5.2.4]

La surtension temporaire causée par des défauts du réseau BT peut être définie par deux facteurs k_1 et k_2:

- k_1 est le rapport entre la tension maximale et la tension nominale du système. k_1 est généralement compris entre 1,05 et 1,1. Ceci couvre la régulation normale du niveau de tension.

$$U_{cs} = k_1 \times U_0$$

- k_2 est l'amplitude maximale de la surtension du réseau, qui se produit à une valeur de courant supérieure à la valeur de U_{cs} du réseau. La tension de la phase sans défaut peut varier de 1,25 environ jusqu'à une valeur théorique de $\sqrt{3}$ pour un défaut dans un réseau à basse tension triphasé.

NOTE 1 Dans le cas de réseaux monophasés à trois fils (phases séparées), k_2 peut atteindre une valeur de 2.

La surtension temporaire totale peut être exprimée par la relation suivante:

$$U_{TOV(BV)} = k_1 \times k_2 \times U_0 = k_2 \times U_{cs}$$

Les surtensions temporaires sont habituellement provoquées par des événements tels que des défauts sur le réseau de distribution à basse tension, une coupure de condensateurs, et l'arrêt et le démarrage d'un moteur. Ces surtensions sont de courte durée. Celles qui sont engendrées par des défauts sur le réseau d'alimentation triphasé durent pendant une période allant de moins de 0,05 s jusqu'à un maximum de 5 s. Le démarrage de moteurs monophasés, avec une mauvaise liaison neutre, peut engendrer des surtensions excessives pendant un intervalle de temps généralement inférieur ou égal à 5 s. Il convient que la coupure de condensateurs et la régulation de tension ne génèrent pas des surtensions d'une durée supérieure à 5 s. Par conséquent, la durée des surtensions temporaires est comprise entre 0,05 s et 5 s dans le présent document.

NOTE 3 Dans certains réseaux, il est nécessaire de prendre en considération une surtension temporaire de courte durée (moins de 5 s) égale à U_0 + 1 200 V (voir l'IEC 60364-4-44) due à la présence d'un défaut dans le réseau à haute tension ($U_{TOV(HT)}$). Dans le cas où des valeurs de tensions si élevées entrainent une défaillance du parafoudre, des essais appropriés sont réalisés pour vérifier que cette défaillance ne crée aucun danger pour le personnel, le matériel ou l'installation. Cette valeur de U_0 + 1 200 V représente la valeur maximale des surtensions temporaires pendant une durée maximale de 5 s. Selon le type de schéma de liaison à la terre des installations à basse tension et du réseau à haute tension, cette valeur peut exister ou non (voir l'Annexe E). En outre, l'IEC 60364-4-44 définit des surtensions temporaires d'une durée supérieure à 5 s, qui peuvent entraîner des défaillances du fait de leur durée.

Dans la présente norme, les surtensions temporaires générées par des défauts du réseau BT sont désignées par $U_{TOV(BT)}$ et celles générées par des défauts du réseau HT par $U_{TOV(HT)}$.

Sur la base de la formule donnée ci-dessus, il est possible en théorie de tracer une courbe de variation de la tension en fonction de la durée de U_{TOV} dans le réseau. En pratique, les valeurs réelles de U_{TOV} dans le réseau ne sont pas toujours connues, notamment à l'endroit où sont installés les parafoudres. En pareil cas, il est plutôt difficile de tracer les courbes mentionnées ci-dessus puisque seuls certains points sont connus.

En général, seules les valeurs maximales normalisées sont connues et la courbe est ensuite réduite à quelques points. Les valeurs de temps d'intérêt particulier pour le choix des parafoudres sont 200 ms et 5 s.

Voir la Figure 14 pour les valeurs maximales normalisées de U_{TOV}.

Annexe J
(informative)

Utilisation des parafoudres

NOTE La présente annexe développe l'Article 7 du présent document. Lorsque les informations se rapportent à un paragraphe particulier, cela est indiqué entre crochets [xxx].

J.1 Emplacement et protection apportée par les parafoudres [7.1]

J.1.1 Modes possibles de protection et d'installation [7.1.3]

Les Figure J.1 à Figure J.5 donnent des options alternatives de mise à la terre.

NOTE 1 La meilleure méthode consiste à utiliser les deux options pour maintenir à la fois un niveau de protection faible et un niveau de contrainte minimal de l'installation, sous réserve que les connexions entre le conducteur PE et le point commun de mise à la terre du parafoudre soient conservées aussi proches que possible.

Il convient de réaliser une installation acceptable en tenant compte des cinq étapes suivantes.

NOTE 2 Les étapes suivantes ne sont valables que pour les parafoudres fixes connectés entre phase et terre ou neutre et terre. Les autres parafoudres peuvent exiger d'autres règles.

a) Déterminer le trajet du courant de décharge.

b) Identifier les fils qui provoquent une chute de tension supplémentaire aux bornes des matériels (Figure J.6a) et Figure J.6b)).

NOTE 3 Dans la Figure J.6, U_{res} représente la tension résiduelle pour des parafoudres selon les essais de classes I et II, ou dans la plupart des cas la tension de limitation.

c) Aménager le trajet des conducteurs de chaque partie de matériel afin d'éviter d'engendrer des boucles d'induction inutiles, voir la Figure J.6c), la Figure J.6d) et la Figure J.7). S'il n'est pas possible d'obtenir un point de mise à la terre unique, la présence de deux parafoudres est nécessaire, comme cela est indiqué à la Figure J.6d).

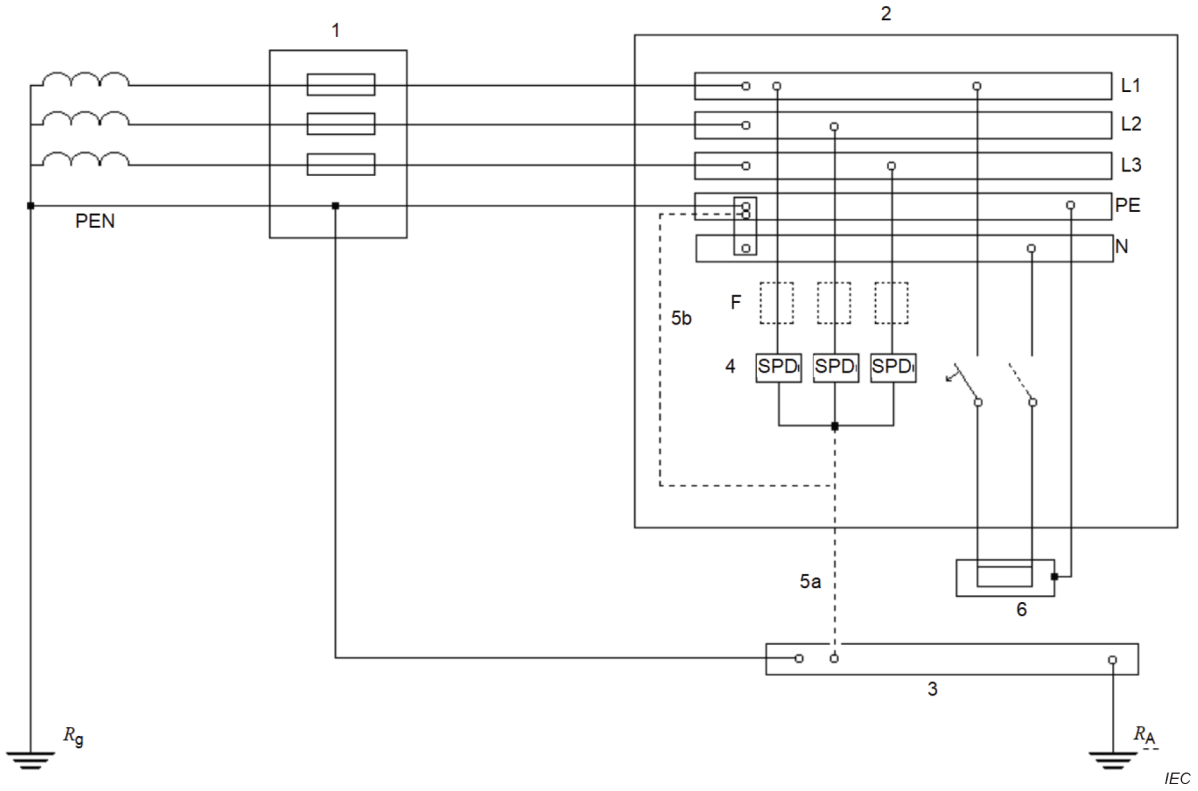
d) Établir une liaison équipotentielle entre le matériel et les parafoudres.

e) Choisir le parafoudre conformément aux exigences applicables en matière de coordination.

Il convient de prendre des mesures pour limiter le couplage inductif entre les parties non protégées et les parties protégées de l'installation. L'inductance mutuelle peut être réduite en séparant la source inductrice et les circuits victimes, en limitant les zones de boucle et en choisissant l'angle des boucles (voir la Figure J.7). Lorsqu'un conducteur sous tension fait partie de la zone de boucle, la tension induite peut être réduite en faisant cheminer ce fil à proximité du câble (voir la Figure J.7a)).

En général, il est préférable de séparer les fils protégés de ceux qui ne le sont pas. Il convient de prendre les mesures nécessaires pour empêcher tout couplage mutuel des transitoires entre les câbles de puissance et les câbles de télécommunication (voir la Figure J.7b)).

Voir à la Figure J.7 quelques exemples d'installation acceptable de parafoudres tenant compte de la compatibilité électromagnétique.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

1 Origine de l'installation

2 Tableau de distribution

3 Borne ou barre principale de terre

4 Parafoudres

5 Liaison de mise à la terre des parafoudres, emplacement 5a ou 5b

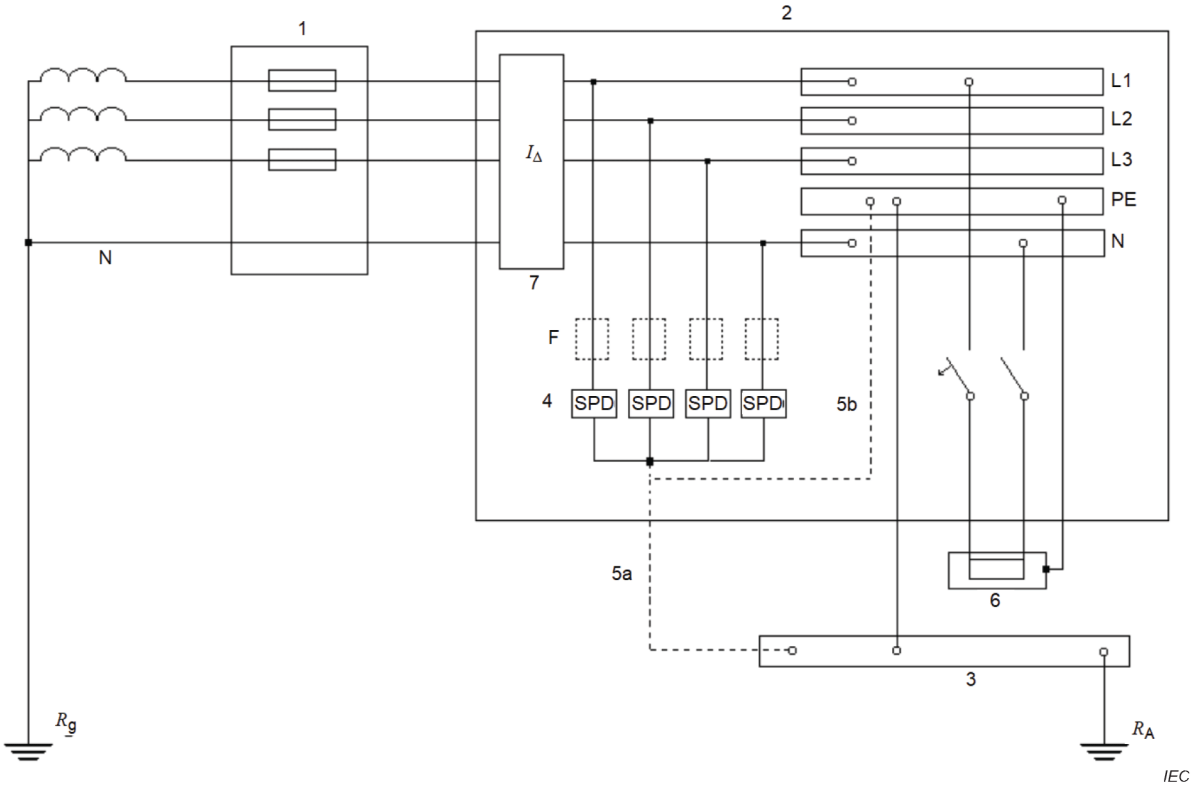
6 Matériel à protéger

F Dispositif de protection indiqué par le fabricant du parafoudre (exemple: fusible, disjoncteur, DDR)

R_A Électrode de terre (résistance de mise à la terre) de l'installation

R_g Électrode de terre (résistance de mise à la terre) du réseau d'alimentation

Figure J.1 – Installation de parafoudres dans des schémas TN



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Figure J.2a – Connexion de type 1

Légende

1 Origine de l'installation

2 Tableau de distribution

3 Borne ou barre principale de terre

4 Parafoudres

5 Liaison de mise à la terre des parafoudres, emplacement 5a ou 5b

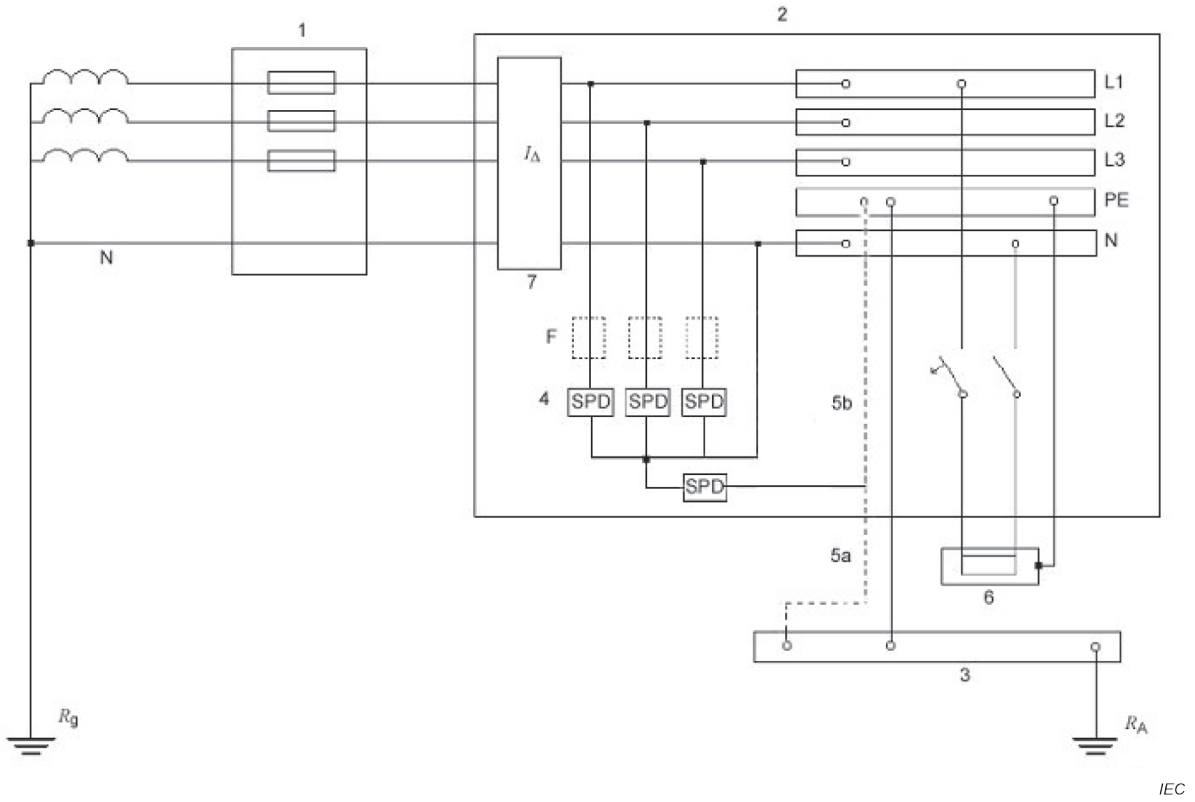
6 Matériel à protéger

7 Dispositif de protection contre les courants résiduels (DDR)

F Dispositif de protection indiqué par le fabricant du parafoudre (exemple: fusible, disjoncteur, DDR)

R_A Électrode de terre (résistance de mise à la terre) de l'installation

R_g Électrode de terre (résistance de mise à la terre) du réseau d'alimentation



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Figure J.2b – Connexion de type 2 (CT2)

Légende

1 Origine de l'installation

2 Tableau de distribution

3 Borne ou barre principale de terre

4 Parafoudres

5 Liaison de mise à la terre des parafoudres, emplacement 5a ou 5b

6 Matériel à protéger

7 Dispositif de protection contre les courants résiduels (DDR)

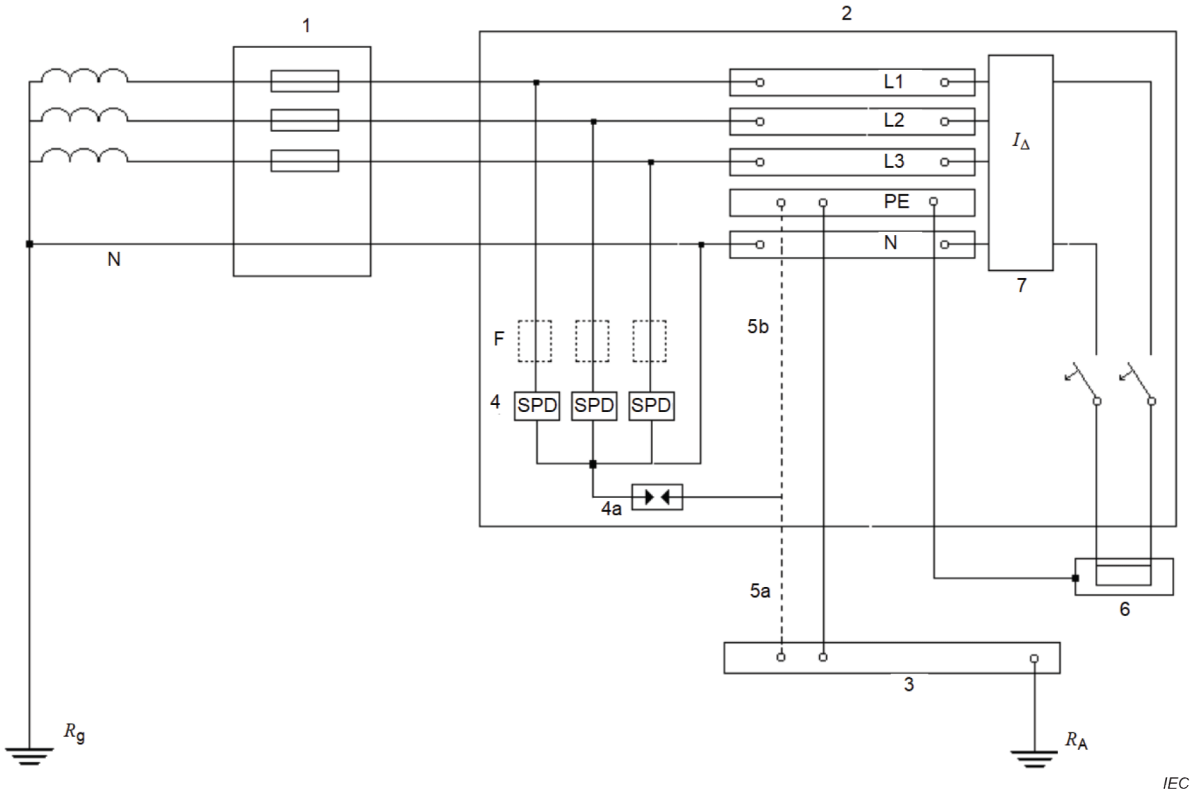
F Dispositif de protection indiqué par le fabricant du parafoudre (exemple: fusible, disjoncteur, DDR)

R_A Électrode de terre (résistance de mise à la terre) de l'installation

R_g Électrode de terre (résistance de mise à la terre) du réseau d'alimentation

Figure J.2 – Installation de parafoudres dans des schémas TT (parafoudre placé en aval du DDR)

NOTE Un parafoudre avec une connexion de type (CT1) ne peut pas être placé en aval du DDR.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

1 Origine de l'installation

2 Tableau de distribution

3 Borne ou barre principale de terre

4 Parafoudres

4a Parafoudres selon l'IEC 60364-5-53, 2.3.2 ou éclateur

5 Liaison de mise à la terre des parafoudres, emplacement 5a ou 5b

6 Matériel à protéger

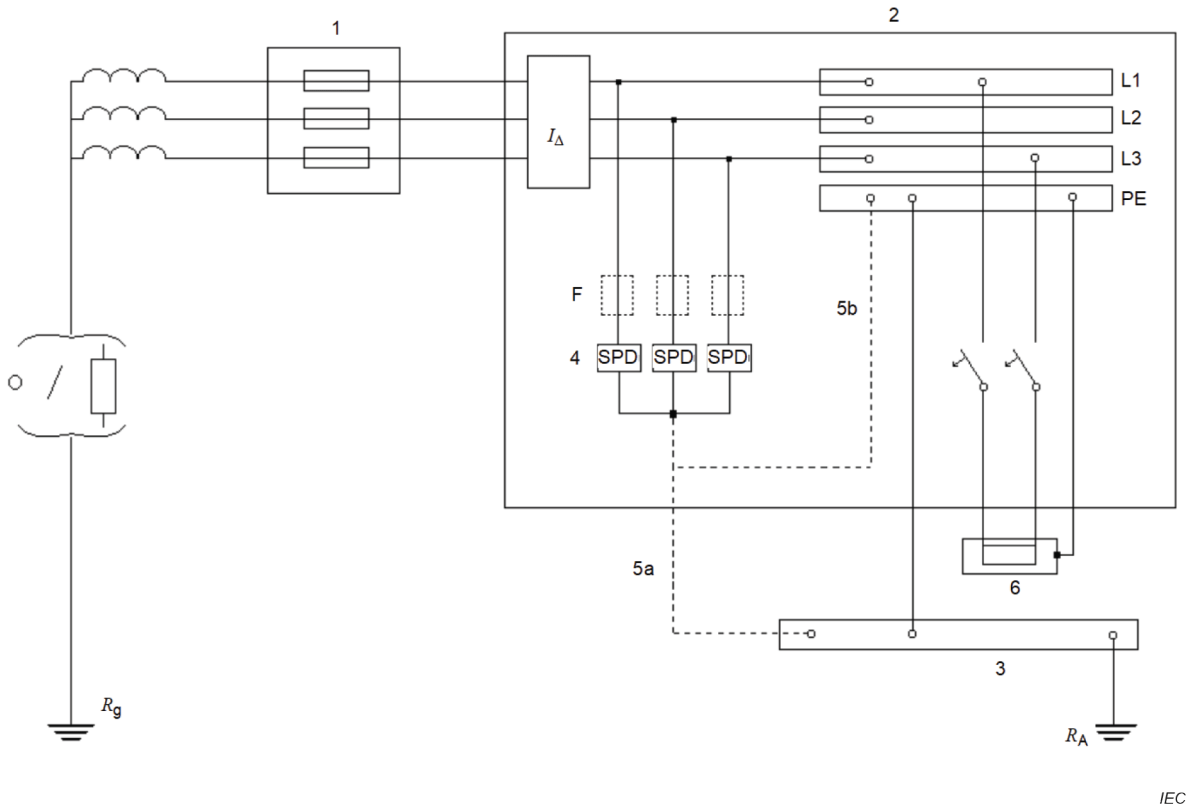
7 Dispositif de protection contre les courants résiduels (DDR)

F Dispositif de protection indiqué par le fabricant du parafoudre (exemple: fusible, disjoncteur, DDR)

R_A Électrode de terre (résistance de mise à la terre) de l'installation

R_g Électrode de terre (résistance de mise à la terre) du réseau d'alimentation

Figure J.3 – Installation de parafoudres dans des schémas TT (parafoudre placé en amont du DDR)



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

1 Origine de l'installation

2 Tableau de distribution

3 Borne ou barre principale de terre

4 Parafoudres

5 Liaison de mise à la terre des parafoudres, emplacement 5a ou 5b

6 Matériel à protéger

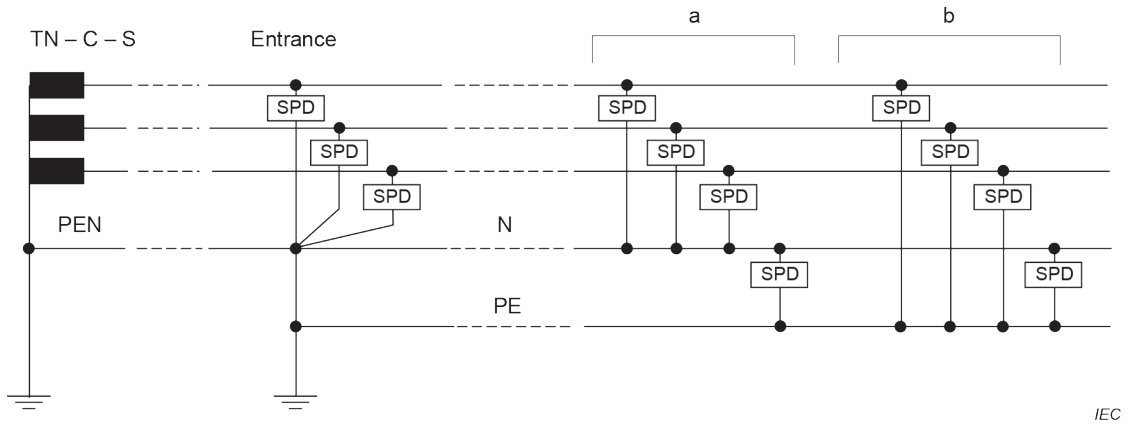
F Dispositif de protection indiqué par le fabricant du parafoudre (exemple: fusible, disjoncteur, DDR)

R_A Électrode de terre (résistance de mise à la terre) de l'installation

R_g Électrode de terre (résistance de mise à la terre) du réseau d'alimentation

O / Circuit ouvert ou résistance

Figure J.4 – Installation de parafoudres dans des schémas IT sans neutre distribué



Anglais	Français
SPD	Parafoudre
Entrance	Entrée

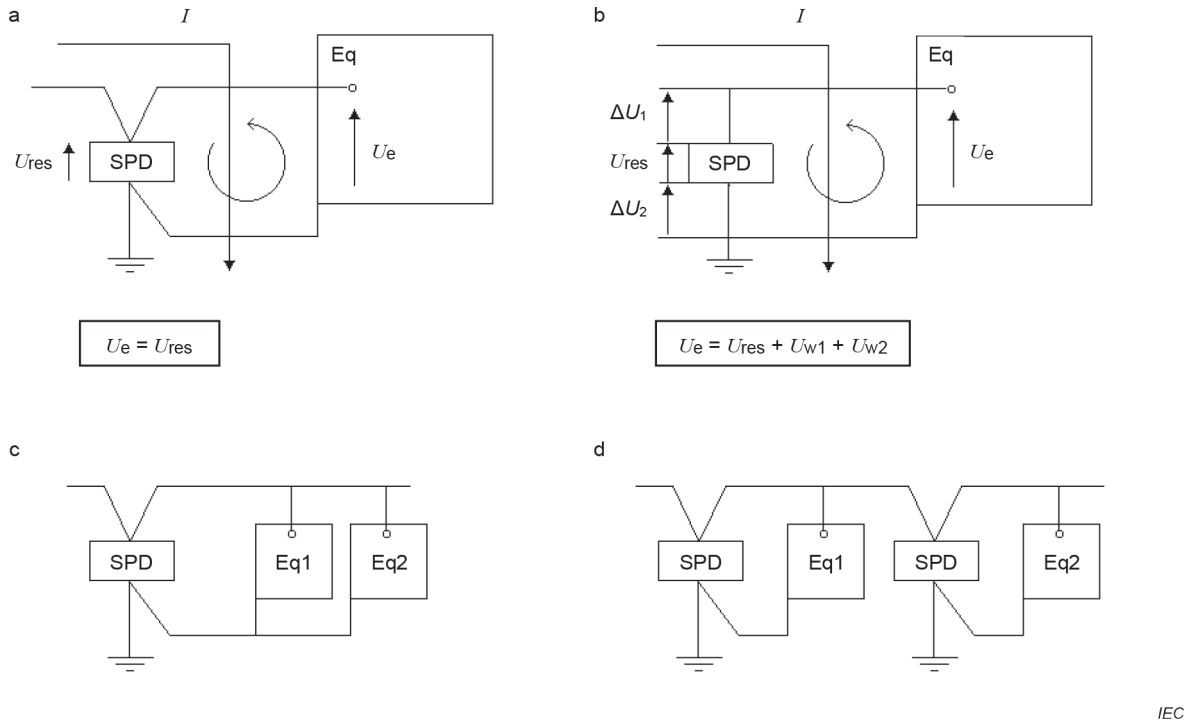
Légende

Connexion possible pour les parafoudres supplémentaires, si la distance entre le matériel et l'entrée de l'installation est grande (voir 7.1.4):

a Connexion L-N et N-PE des parafoudres

b Connexion L-PE et N-PE des parafoudres

Figure J.5 – Installation caractéristique de parafoudres à l'entrée d'une installation dans le cas d'un schéma TN C-S



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

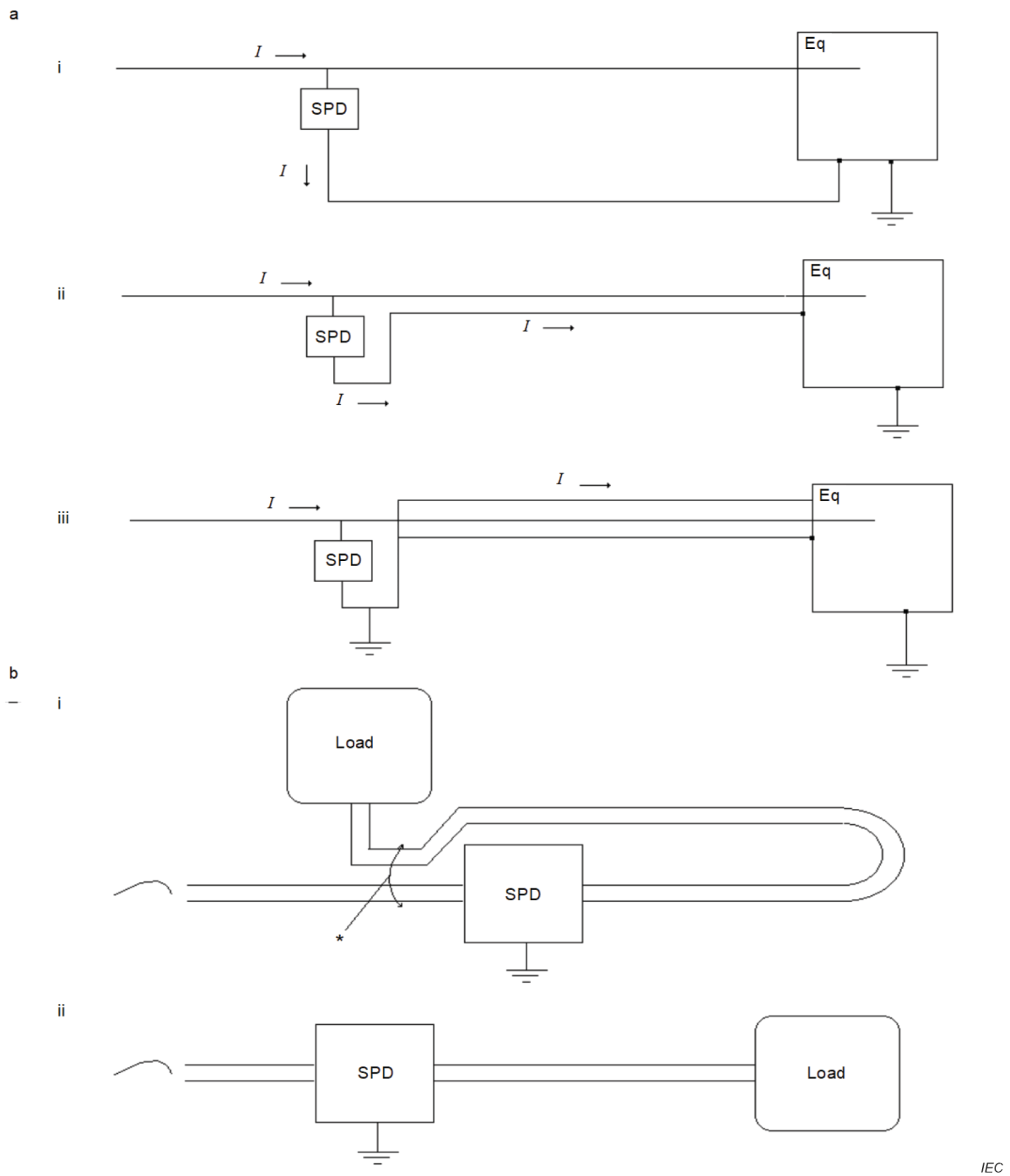
Eq matériel

Les configurations a, c et d sont acceptables

La configuration b est acceptable si ΔU_1 et ΔU_2 sont assez faibles

NOTE Le courant I circule à travers le parafoudre et le champ magnétique dû à la circulation de ce courant entre dans la boucle formée par les fils jusqu'aux bornes du matériel. Ceci a pour effet d'ajouter une tension induite à la tension résiduelle du parafoudre. Cette tension combinée apparaît aux bornes du matériel.

Figure J.6 – Façon générale d'installer des parafoudres à un port



Anglais	Français
SPD	Parafoudre
Load	Charge

Légende

a Couplage électromagnétique

- i Mauvaise installation – zone de boucle large conduisant à $d\phi/dt$ élevé dû à dI/dt
- ii Meilleure installation – zone de boucle faible conduisant à $d\phi/dt$ plus faible
- iii Installation la meilleure – câble avec blindage conduisant à $d\phi/dt \approx 0$ à l'intérieur du blindage

b Couplage inductif

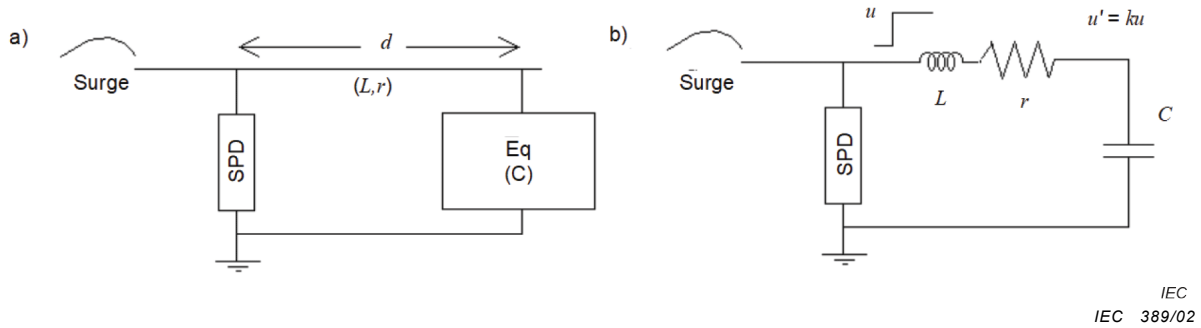
- i Mauvaise installation – un couplage inductif se produit au point marqué *
- ii Bonne installation – les câbles amont et aval du parafoudre sont bien séparés

Figure J.7 – Exemples d'installations acceptables et non acceptables de parafoudres vis-à-vis de la CEM

J.1.2 Influence des phénomènes d'oscillation sur la distance de protection [7.1.4.2]

En général, l'utilisation d'un parafoudre à proximité du matériel à protéger ne constitue pas une solution suffisante. Il est bien plus judicieux d'installer le parafoudre à l'entrée de l'installation pour des raisons de compatibilité électromagnétique (il vaut mieux écouler le courant à l'entrée afin d'éviter l'apparition de perturbations électromagnétiques engendrées par des courants de choc) et dans le but de protéger l'installation (pour éviter tout contournement entre conducteurs, etc.). Si nécessaire, un autre parafoudre doit être installé à proximité du matériel si ce dernier ne se trouve pas inclus dans la distance de protection du parafoudre installé à l'entrée. Des études concernant la coordination sont alors nécessaires (voir 7.2.7).

La raison de la nécessité d'une protection supplémentaire contre la foudre est due à la possibilité que des oscillations ou des ondes progressives provoquées par le choc de foudre puissent causer des tensions supérieures à celles attendues dans le matériel dont la protection doit être assurée. La Figure J.8 donne un exemple de représentation physique et électrique d'un tel réseau.



Anglais	Français
Surge	Choc
SPD	Parafoudre

Figure J.8 – Représentations physique et électrique d'un réseau dont le matériel protégé est séparé de la protection apportée par le parafoudre

La tension dans le matériel dépend de la fréquence du choc et de la longueur des conducteurs. Selon la valeur de r, les oscillations entre L et C peuvent augmenter la tension aux bornes du matériel de u" à ku. La valeur de k dépend d'un grand nombre de paramètres. En pratique, si les matériels ont une impédance de charge élevée, k est inférieur à 2.

Le circuit de la Figure J.9 correspond à une source de choc générant une impulsion de 5 kA 8/20 appliquée à un parafoudre à varistance à oxyde métallique (MOV), séparé du matériel par une capacité de charge de 5 nF. Ce circuit a été simulé et donne la réponse donnée à la Figure J.10. Ceci indique comment la tension aux bornes du matériel protégé peut atteindre le double de la tension aux bornes du parafoudre.

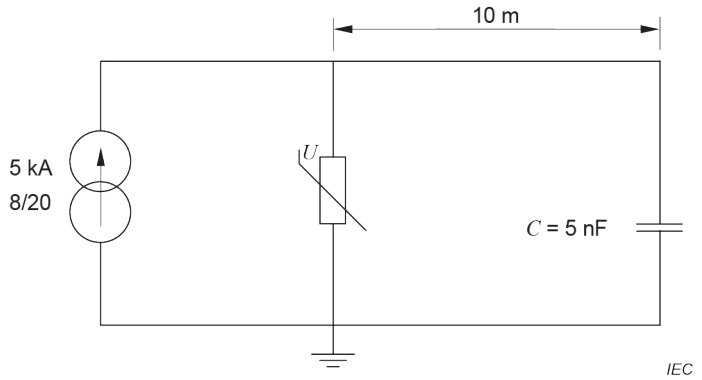
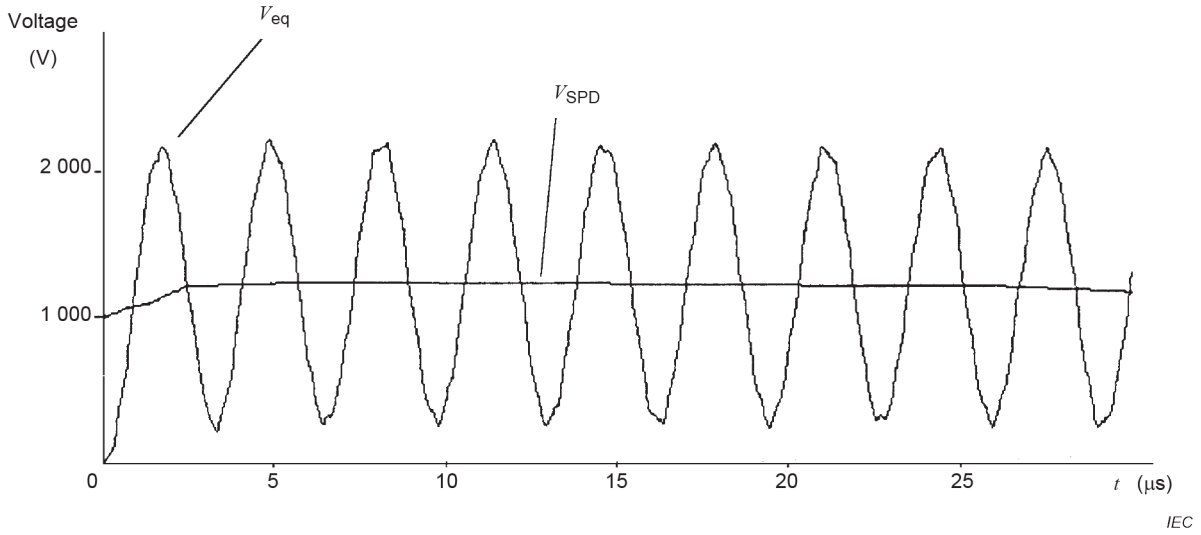


Figure J.9 – Oscillation possible entre un parafoudre à varistance à oxyde métallique (MOV) et le matériel à protéger



Anglais	Français
Voltage	Tension

Légende

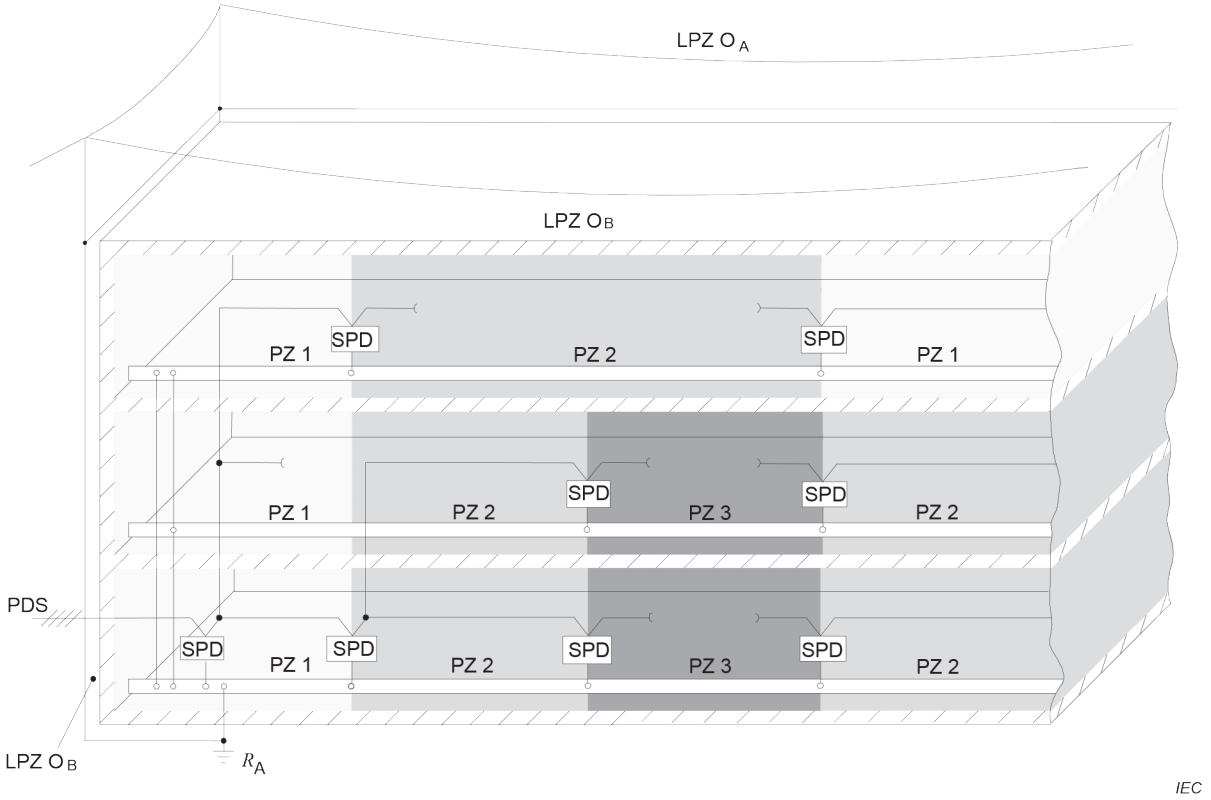
V_{SPD} Tension aux bornes du parafoudre

V_{eq} Tension aux bornes du matériel

Figure J.10 – Exemple de doublement de tension

J.1.3 Concept de la zone de protection [7.1.4.6]

Un exemple de la subdivision d'un réseau de distribution dans un bâtiment en zones de protection et de l'affectation des parafoudres, conformément à l'IEC 62305-4 relative au coup de foudre direct, est donné à la Figure J.11.



Légende

LPZ Zone de protection contre la foudre

PDS Réseau de distribution

SPD Parafoudre

Figure J.11 – Subdivision d'un bâtiment en zones de protection

Les zones de protection (LPZ) sont définies comme suit.

- Zone de protection contre la foudre 0_A (LPZ 0_A ,IEC 62305-4)

  Zone dans laquelle les appareils sont soumis à des coups de foudre directs et peuvent, par conséquent, devoir véhiculer tout le courant de foudre. C'est là qu'est généré le champ électromagnétique non atténué.

- Zone de protection contre la foudre 0_B (LPZ 0_B ,IEC 62305-4)

  Zone dans laquelle les appareils ne sont pas soumis à des coups de foudre directs, mais dans laquelle le champ électromagnétique non atténué est généré. Les courants de foudre conduits non atténués et les surtensions de coupure sont générés.

- Zone de protection contre la foudre 1(LPZ 1)

  Zone dans laquelle les appareils sont soumis à des coups de foudre directs partiels. Les courants de choc de foudre conduits et/ou les surtensions de coupure sont réduits par rapport à ceux de LPZ 0_A ou LPZ 0_B.

- Zone de protection contre la foudre 2(LPZ 2)

  Les résidus des courants de choc de foudre et/ou des surtensions de coupure sont réduits par rapport à LPZ 1.

- Zone de protection contre la foudre 3(LPZ 3)

  Les surtensions générées par les effets des oscillations, par les couplages de champs magnétiques et par les surtensions de coupure internes sont réduites par rapport à LPZ 2.

L'installation de parafoudres aux limites de la zone de protection contre la foudre permet de réduire les paramètres indésirables conduits. Il convient d'assurer la coordination entre ces parafoudres en procédant conformément à 7.2.7. Les paramètres de performance de ces parafoudres sont adaptés aux paramètres indésirables conduits, au niveau du lieu d'installation de ces dispositifs (voir 7.2.2 et 7.1.1).

NOTE S'il convient selon l'IEC 62305-4 d'utiliser des parafoudres soumis aux essais de Classe I, il convient de les installer dans la zone de protection contre la foudre 0_B se rapportant à la zone de protection contre la foudre 1.

Chaque fois qu'un parafoudre conforme à 7.1.4 est installé, une nouvelle zone de protection contre la foudre est créée.

J.2 Choix des parafoudres

J.2.1 Choix de U_c [7.2.2.1]

Pour la plupart des parafoudres, une surtension temporaire d'une durée supérieure à 5 s doit être considérée comme une contrainte permanente. De ce fait, la tension U_c doit être choisie en tenant compte des conditions normales et des conditions de défaut (surtensions temporaires) lorsque la durée est supérieure à 5 s.

a) Conditions normales

1) Entre phase et neutre

Il convient que la tension U_c du parafoudre entre phase et neutre soit supérieure ou égale à U_{cs} (c'est-à-dire, en général, 1,10 fois U_0: 10 % pour la régulation de tension ou 1,15 si une valeur de 5 % est prise en considération pour la marge due à une possible dégradation du parafoudre et à toute autre condition anormale du système).

2) Entre phases

Il convient que la tension U_c du parafoudre entre phases soit supérieure ou égale à U_{cs} (c'est-à-dire, en général, 1,10 fois U_0 multiplié par √3).

NOTE 1 Dans certains cas, suivant les limites de régulation de la tension (par exemple dans un bâtiment très vaste dans lequel la régulation de tension est mesurée à l'aide d'un instrument), U_{cs} dépasse parfois les limites générales indiquées ci-dessus (respectivement 10 % et 10 % × √3).

Dans certains cas, la régulation de tension est contenue dans des limites plus étroites (exemple 5 %). Dans ce cas, des valeurs moins élevées peuvent s'avérer suffisantes (par exemple, U_c peut être supérieure à 1,05 fois U_0 (respectivement à 1,05 × √3 × U_0)).

3) Entre phases et terre ou entre neutre et terre:

- Pour des schémas TT et TN, la tension U_c du parafoudre entre phase et terre ou entre neutre et terre doit être supérieure ou égale à U_{cs} (en général, 1,10 fois U_0).
- Pour un schéma IT, se reporter aux conditions anormales ci-dessous.

NOTE 2 Si l'alimentation est fournie par un transformateur comportant une prise médiane sur l'un des secondaires du transformateur, il y a deux valeurs de U_c. Une valeur de U_c est égale à 1,0 fois U_{cs} et l'autre valeur de U_c est égale à (√ 3)/2 × U_{cs}.

La présence d'harmoniques peut entraîner une augmentation de la valeur de crête de la tension de fonctionnement. Par conséquent, il peut s'avérer nécessaire d'augmenter la valeur de U_c par rapport à la valeur à laquelle il convient que U_c soit égale sans ces harmoniques.

b) Conditions anormales (conditions de défaut):

Parfois, il peut s'avérer nécessaire de tenir compte de conditions spécifiques de défaut, au moment du choix de U_c pour des parafoudres reliés entre phase et terre. Le but est d'éviter la destruction d'un nombre trop important de parafoudres lorsqu'un défaut apparaît dans le système. Dans le cas d'un schéma IT, il est essentiel de tenir compte de telles conditions de défaut.

Dans des conditions de défaut à la terre dans des schémas TT et TN, la tension entre phase et terre peut dépasser la valeur de U_{cs}. Cela est dû à des conditions de défaut sur le réseau à haute tension ou sur le réseau à basse tension et cela dépend de la mise à la terre en ce qui concerne l'amplitude maximale de la tension. Pour de plus amples informations sur le sujet, voir 4.1.3.2. Le choix de U_c dépend donc de la valeur réelle de la tension donnée par de telles conditions de défaut. Il n'est pas possible d'utiliser une valeur de U_c dont la valeur est élevée à un tel point que la présence d'un défaut dans le réseau ne cause aucun problème au niveau des parafoudres, car, par la suite, le niveau de protection sera déficient. En général, une solution appropriée et indépendante de la topologie du réseau consiste à avoir une valeur de U_c supérieure à 1,5 × U_0.

Dans des conditions de défaut à la terre pour des schémas IT, la tension entre phase et terre a, dans la plupart des cas, une amplitude de $\sqrt{3} \times U_0$. De tels défauts sur le réseau à basse tension, dont la durée peut être suffisamment longue, peuvent être considérés comme une condition permanente.

Dans ce cas, il est vivement recommandé d'avoir une tension U_c supérieure à la tension entre phases.

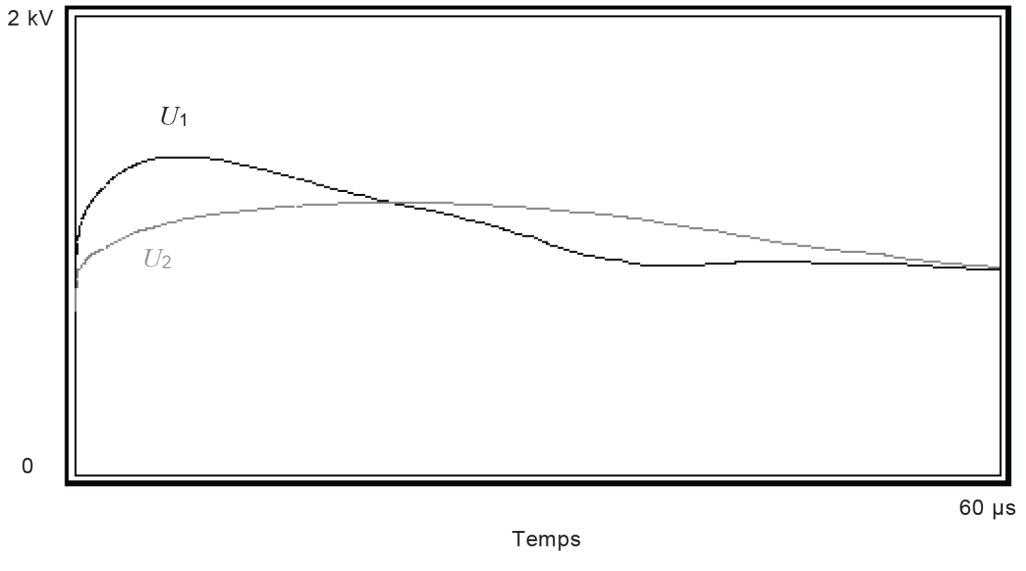
Des exemples de relations entre la tension U_c du parafoudre et la tension nominale du réseau sont donnés à l'Annexe B.

J.2.2 Problèmes de coordination [7.3.7.2]

Afin de mieux expliquer le problème, la Figure J.12 donne un exemple représentatif de la coordination de l'énergie de deux varistances à oxyde métallique (MOV) séparées par une inductance. Le parafoudre 2 se caractérise par des valeurs plus faibles de U_p et de I_n. En raison de l'effet de l'inductance sur le front de l'onde de choc, la majeure partie du courant s'écoule dans le parafoudre 1, et le courant dans le parafoudre 2 augmente progressivement avec une constante de temps donnée par l'inductance et par la caractéristique du parafoudre 2. De cette manière, une partie de plus en plus importante du courant total s'écoule dans le parafoudre 2.

La Figure J.12 représente le courant total, les courants s'écoulant dans le parafoudre 1 et le parafoudre 2 et les tensions traversant le parafoudre 1 et le parafoudre 2.

- Cette énergie maximale admissible (E_{max}) est définie, dans le présent guide d'application, comme étant l'énergie maximale à laquelle le parafoudre est en mesure de résister sans dégradation. La valeur de cette énergie peut être déterminée à partir de résultats d'essais (énergie mesurée au cours de l'essai de fonctionnement en service à I_{imp} pour les essais de classe I ou à I_n pour les essais de classe II) ou calculée en tenant compte des renseignements fournis par le fabricant, tels que les valeurs de I_n (essais de classe II), de I_{im} (essais de classe I) ou de U_{max}.

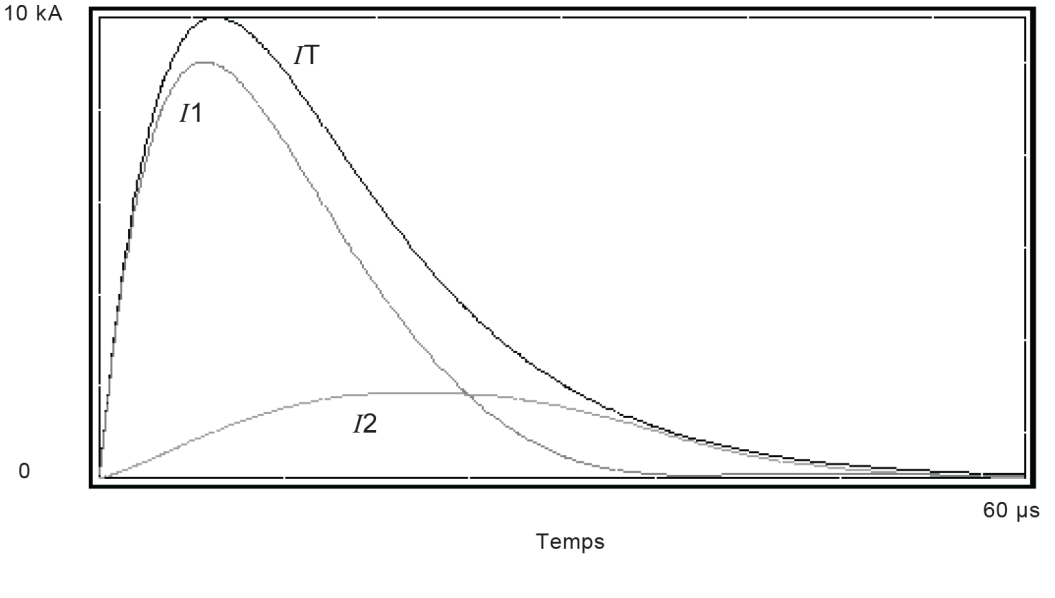


Légende

U_1 tension résiduelle aux bornes du parafoudre d'entrée

U_2 tension résiduelle aux bornes du second parafoudre

a) – Tension résiduelle sur les varistances



Légende

I_T Courant total

I_1 Courant du parafoudre d'entrée

I_2 Courant dans le second parafoudre

b) – Répartition du courant entre deux varistances

Figure J.12 – Coordination de deux varistances à oxyde métallique (MOV)

Le câblage avec la distance d, entre les deux parafoudres correspondant à une impédance Z, peut être utilisé comme un élément de découplage.

- S'il s'agit de parafoudres à limitation, cette impédance de découplage est, en général, seulement efficace pour des formes d'ondes courtes (par exemple 8/20). Avec des formes d'ondes longues (par exemple 10/350), cette impédance de découplage naturelle due au câblage est rarement suffisante. Des composants de découplage supplémentaires peuvent être nécessaires pour assurer une coordination adéquate.
- Si les parafoudres d'entrée utilisés sont de type à coupure en tension, deux autres caractéristiques doivent être prises en considération:
  - Il est possible d'avoir une zone aveugle, ce qui signifie que, pour un courant inférieur à I_{imp}, la tension aux bornes de l'éclateur peut être faible au point que l'éclateur n'amorce pas et qu'il ne soit plus en mesure de protéger le second parafoudre. Il est important que l'amorçage de l'éclateur se produise sur le front de l'onde de choc.
  - Pour de longues durées de front, l'élément de découplage peut être moins efficace que pour des ondes 8/20 ou 10/350. De telles longues durées de front font actuellement l'objet d'une étude par l'IEC.

En général, il est nécessaire de traiter la coordination pour deux types d'ondes de choc:

- coordination avec des ondes de choc ayant des formes d'ondes longues (telles que celles utilisées pour les essais de classe I)
- coordination avec des ondes de choc ayant des formes d'ondes courtes (telles que celles utilisées pour les essais de classe II)

NOTE Il est important de noter que l'énergie maximale admissible des deux parafoudres coordonnés est au moins égale à l'énergie admissible la plus faible des deux parafoudres. Lorsqu'un nouveau parafoudre (parafoudre 2) est raccordé à un réseau contenant déjà un parafoudre (parafoudre 1), leur bonne coordination est vérifiée.

J.2.3 Cas pratiques [7.2.7.2]

Dans une installation, l'étude de la coordination est toujours plus complexe à effectuer que dans le simple exemple indiqué ci-dessus. En effet,

- la présence de la longueur de câble ou de dispositifs supplémentaires tels que des déconnecteurs peut ajouter une inductance dans le schéma. La répartition du courant entre un grand nombre de parafoudres peut également nécessiter une étude ==> le schéma réel de l'installation est nécessaire;
- les tolérances sur les caractéristiques des composants utilisés dans les parafoudres peuvent engendrer des incertitudes, quant à la valeur réelle de la tension résiduelle pour un courant donné. En outre, la valeur qui est habituellement fournie par le fabricant est le niveau de protection U_p, lequel tient compte d'une marge telle que la tension réelle puisse en réalité être inférieure de 25 % à la valeur indiquée;
- l'énergie maximale admissible E_{max} du parafoudre peut être différente selon qu'il s'agit d'ondes longues ou courtes. En général, une telle valeur est seulement donnée pour une classe d'essais (classe I ---> ondes longues et classe II ---> ondes courtes). Parfois, cette énergie maximale admissible n'est pas donnée et, dans ce cas, il est nécessaire de la calculer.

J.3 Calcul simple de I_{imp} pour un parafoudre de classe I dans le cas d'un bâtiment protégé par un système de protection contre la foudre

Dans le cas d'un système de protection contre la foudre installé dans un bâtiment hébergeant l'installation électrique, il est nécessaire de rappeler les règles énoncées dans la série IEC 62305 permettant de calculer la répartition du courant et, par conséquent, la tenue aux courants I_{imp} du parafoudre situé à l'entrée.

Selon la série IEC 62305, il est nécessaire d'utiliser un parafoudre d'équipotentialité à l'entrée de l'installation dès lors qu'un système de protection contre la foudre est présent dans le bâtiment. Ce parafoudre est soumis aux essais de classe I et est principalement défini par une tenue en onde 10/350 I_{imp}.

En fonction du niveau de protection contre la foudre (LPL) du système de protection contre la foudre, cette valeur étant comprise entre I et IV, le courant peut être calculé par la formule suivante dans le simple cas où une seule ligne de puissance est présente et où toutes les autres lignes et autres conduits n'existent pas ou sont ignorés (cas le plus sévère).

En pratique, la méthode ci-dessus part du principe qu'un seul service entre dans l'installation. En général, plusieurs services peuvent transporter une partie du courant de foudre à partir de l'installation (des canalisations métalliques, par exemple), ce qui donne des valeurs inférieures pour I_{imp}. Dans les tableaux ci-dessous, les valeurs de I_{imp} sont des valeurs maximales. Pour de plus amples informations sur la répartition du courant de foudre, voir l'IEC 62305-1.

En pareil cas, le courant maximal lié au niveau de protection contre la foudre du système de protection contre la foudre est divisé en parts égales par le nombre de conducteurs dans la ligne, puis divisé par deux (50 % du courant circulant par hypothèse dans le schéma de liaison à la terre).

Ainsi, le courant de choc I_{imp} auquel le parafoudre doit résister pour chaque mode de protection peut aisément être calculé par la formule suivante:

I_{imp} = Courant maximal correspondant au niveau de protection contre la foudre/(2 n)

Cela mène aux tableaux suivants pour I_{imp} pour les schémas de connexion CT1 et CT2, si ces schémas sont disponibles. Si les installations sont anciennes ou si l’entrepreneur en électricité n'a pas connaissance des détails de l'installation, le cas le plus défavorable doit être pris pour hypothèse (LPL I).

Le Tableau J.1 concerne les réseaux BT les plus fréquents. Toutefois, ces valeurs dépendent directement des configurations de réseaux BT qui peuvent être très spécifiques dans certains pays. Le Tableau J.2 donne un exemple de réseaux BT habituels au Japon pour les cas de réseaux BT conformes au Tableau J.4.

Tableau J.1 – Détermination de la valeur de I_{imp}

			Réseau BT (réseaux monophasés et triphasés)									
LPL	**Courant maximal correspondant au LPL**	**Nombre de conducteurs (n)**	TT			TN-C	TN-S			IT sans neutre	IT avec neutre	
			Type de connexion				Type de connexion			Type de connexion		
			CT1	CT2			CT1	CT2		CT1	CT2	
			L-PE N-PE	L-N	N-PE	L-PEN	L-PE N-PE	L-N	N-PE	L-PE	L-N	N-PE
I ou inconnu [a]	200 kA		I_{imp} [kA]									
		5	NA	NA	NA	NA	20	20	80	NA	NA	NA
		4	25,0	25,0	100,0	25,0	NA	NA	NA	NA	25,0	100,0
		3	NA	NA	NA	NA	33,3	33,3	66,7	33,3	NA	NA
		2	50,0	50,0	100,0	50,0	NA	NA	NA	NA	50	100,0
II	150 kA		I_{imp} [kA]									
		5	NA	NA	NA	NA	20	20	80	NA	NA	NA
		4	18,8	18,8	75,0	18,8	NA	NA	NA	NA	18,8	75,0
		3	NA	NA	NA	NA	25,0	25,0	50,0	25,0	NA	NA
		2	37,5	37,5	75,0	37,5	NA	NA	NA	NA	37,5	75,0
III ou IV	100 kA		I_{imp} [kA]									
		5	NA	NA	NA	NA	10,0	10,0	40,0	NA	NA	NA
		4	12,5	12,5	50,0	12,5	NA	NA	NA	NA	12,5	50,0
		3	NA	NA	NA	NA	16,7	16,7	33,3	16,7	NA	NA
		2	25,0	25,0	50,0	25,0	NA	NA	NA	NA	25,0	50,0

[a] Si la valeur de LPL n'est pas connue, le cas le plus défavorable doit être pris pour hypothèse.

Légende

LPL niveau de protection contre la foudre (niveau de risque)

n nombre de conducteurs du réseau électrique. Pour les schémas TN (TN-C et TN-S), n inclut également le conducteur PE (PEN) par lequel le même courant circule comme pour les conducteurs actifs.

n = 5 pour les réseaux triphasés + N comme les schémas TN-S

n = 4 pour les réseaux triphasés + N comme les schémas TT, TN-C et IT

n = 3 pour les réseaux monophasés + N comme les réseaux TN-S ou IT triphasés sans neutre distribué

n = 2 pour un réseau monophasé + N comme les réseaux TT, TN-C et IT

CT1, CT2 modes de connexion du parafoudre selon l'IEC 61643-12 (selon l'IEC 60364-5-534,

CT1 correspond aux types de connexions A et B, alors que CT2 correspond au type de connexion C).

Pour les schémas IT protégés par des parafoudres en mode CT2, la valeur assignée d'interruption du courant de suite des parafoudres raccordés entre le conducteur de neutre et le conducteur PE doit être identique à celle des parafoudres raccordés entre phase et neutre. Elle doit être supérieure ou égale au courant de court-circuit prévu entre phase et neutre au point d'installation (IEC 60364-5-534)

Tableau J.2 – Détermination de la valeur de Iimp pour les réseaux supplémentaires utilisés au Japon

			Schémas TT BT		
			Type de connexion		
			CT1	CT2	
LPL	**Courant maximal correspondant au LPL**	**Nombre de conducteurs (n)**	L-PE N-PE (si N est distribué)	L-N	N-PE
I ou inconnu [a]	200 kA		I_{imp} [kA]		
		3 (triphasé point milieu Y mis à la terre sans neutre distribué)	33,3	NA	NA
		3 (monophasé – phases séparées et triphasé TRIANGLE avec une borne mise à la terre avec neutre distribué)	33,3	33,3	100,0
		2 (monophasé – phases séparées sans neutre distribué)	50	-	-
II	150 kA		I_{imp} [kA]		
		3 (triphasé point milieu Y mis à la terre sans neutre distribué)	25,0	NA	NA
		3 (monophasé – phases séparées et triphasé TRIANGLE avec une borne mise à la terre avec neutre distribué)	25,0	25,0	75,0
		2 (monophasé – phases séparées sans neutre distribué)	37,5	-	-
III ou IV	100 kA		I_{imp} [kA]		
		3 (triphasé point milieu Y mis à la terre sans neutre distribué)	16,7	NA	NA
		3 (monophasé – phases séparées et triphasé TRIANGLE avec une borne mise à la terre avec neutre distribué)	16,7	16,7	50,0
		2 (monophasé – phases séparées sans neutre distribué)	25	-	-

[a] Si la valeur de LPL n'est pas connue, le cas le plus défavorable doit être pris pour hypothèse.

Légende

LPL niveau de protection contre la foudre (niveau de risque)

n nombre de conducteurs du réseau électrique.

n = 3 pour la configuration Y de schéma TT triphasé (point milieu mis à la terre) sans neutre distribué.

n = 3 pour les réseaux monophasés (deux conducteurs) + N comme les réseaux à phases séparées ou les réseaux mis à la terre à une borne (triangle) triphasée, où le fil de phase mis à la terre peut être défini en tant que fil de neutre.

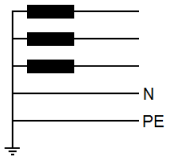
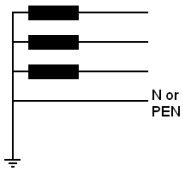
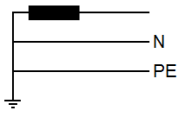
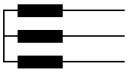
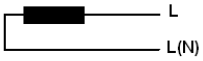
n = 2 pour les réseaux monophasés (deux conducteurs) comme les réseaux à phases séparées sans fil de neutre distribué.

CT1, CT2 modes de connexion du parafoudre selon l'IEC 61643-12 (selon l'IEC 60364-5-534,

CT1 correspond aux types de connexions A et B, alors que CT2 correspond au type de connexion C).

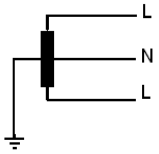
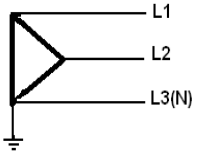
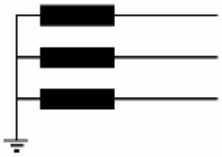
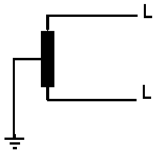
Les principes les plus fréquents de réseaux BT TT, TN et IT sont donnés dans le Tableau J.3.

Tableau J.3 – Nombre de conducteurs correspondant à la structure habituelle de l'alimentation

Nombre de conducteurs (n)	Schéma TT ou TN-C	Schéma TN-S	Schéma IT avec neutre distribué	Schéma IT sans neutre distribué
5	-	Triphasé	-	-
				
4	Triphasé	-	Triphasé	-
				
3	-	monophasé	-	Triphasé
				
2	monophasé	-	monophasé	
				

Des réseaux BT supplémentaires sont utilisés au Japon.

Tableau J.4 – Nombre de conducteurs correspondant aux réseaux supplémentaires utilisés au Japon

Nombre de conducteurs (n)	Schéma TT supplémentaire avec neutre distribué		Schéma TT sans neutre distribué
3	(monophasé) Phases séparées	Triphasé – TRIANGLE avec borne mise à la terre	Triphasé – Point milieu Y mis à la terre
			
2	-		(monophasé) Phases séparées
			

Annexe K
(informative)

Immunité par rapport à la tension assignée de tenue aux chocs

Il convient de noter qu'en dépit de l'IEC 60664-1 décrivant la manière d'obtenir U_W, il peut être difficile en pratique d'obtenir la valeur de U_W pour chaque type de matériel dans une installation.

Les comités d'études doivent spécifier la catégorie de surtension en s'appuyant sur les explications générales suivantes:

– Les matériels appartenant à la catégorie de surtension IV sont destinés à être utilisés à l'origine de l'installation.

NOTE 1 Les compteurs d'électricité et les matériels de protection contre les surintensités primaires sont des exemples de ce type de matériel.

– Les matériels appartenant à la catégorie de surtension III sont ceux des matériels fixes, dans les cas où un niveau de fiabilité élevé du matériel est nécessaire. .

NOTE 2 Les commutateurs dans une installation fixe et les matériels à usage industriel avec connexion permanente à l'installation fixe sont des exemples de ce type de matériel.

– Les matériels appartenant à la catégorie de surtension II sont les matériels consommateurs d'énergie à alimenter à partir de l'installation fixe.

NOTE 3 Les appareils, outils portatifs et autres charges domestiques et similaires sont des exemples de ce type de matériel.

Si ce type de matériel fait l'objet d'exigences particulières en ce qui concerne la fiabilité et la disponibilité, la catégorie de surtension III s'applique.

NOTE 4 Il convient de choisir le niveau de protection en tension de manière à ne pas dépasser les tensions assignées de tenue aux chocs indiquées dans le Tableau K.1 pour chaque catégorie de surtension.

– Les matériels appartenant à la catégorie de surtension I sont les matériels de connexion aux circuits dans lesquels des mesures sont prises pour limiter les surtensions transitoires à un faible niveau approprié.

Ces mesures doivent permettre de vérifier que les surtensions transitoires qui peuvent se produire sont suffisamment limitées, de sorte que leur valeur de crête ne dépasse pas la tension assignée de tenue aux chocs pertinente (voir le Tableau K.1).

NOTE 5 Les matériels contenant des circuits électroniques protégés à ce niveau sont des exemples de ce type de matériel.

Tableau K.1 – Tensions assignées de tenue aux chocs classiques (déduites de l'IEC 60664-1)

La tension phase-neutre ou entre phases (pour les réseaux mis à la terre à la phase ou à une borne) déduite des tensions nominales en courant alternatif jusqu'à, et y compris [6]	**Tensions nominales actuellement utilisées dans le monde Tension nominale du réseau d'alimentation selon l'IEC 60038 [4]**					**Tension assignée de tenue aux chocs [1]** V			
	Réseaux triphasés non mis à la terre [6] ou avec neutre à la terre (étoile), par exemple	Réseaux triphasés phase mise à la terre (mise à la terre à une borne)	Réseaux triphasés – phase mise à la terre (Triangle grands côtés "High Leg Delta")	Réseaux monophasés à deux fils mis à la terre ou non mis à la terre Courant alternatif	Réseaux monophasés à trois fils (phases séparées) mis à la terre Courant alternatif	**Catégorie de surtension [5]**			
V	V	V	V	V	V	**I**	**II**	**III**	**IV**
50	-	-	-	12,5; 24; 25; 30; 42; 48	30 – 60 [7]	**330**	**500**	**800**	**1 500**
100	66/115	66	-	60	_	**500**	**800**	**1 500**	**2 500**
150	120/208 [2] 127/220	115, 120, 127	-	100 [3]; 110, 120[2]	100 – 200 [3] [7], 110 – 220 [7], 120 – 240 [2] [7]	**800**	**1 500**	**2 500**	**4 000**
300	220/380, 230/400, 240/415, 260/440, 277/480 [2]	200 [3], 220, 230, 240, 260, 277 [2]	120/208/ 240 [10]	220	220 – 440 [7]	**1 500**	**2 500**	**4 000**	**6 000**
600	347/600 [2], 380/660, 400/690, 415/720, 480/830	347, 380, 400, 415, 440, 480, 500, 557, 600	240/415/ 480 [10]	480	480 – 960 [7]	**2 500**	**4 000**	**6 000**	**8 000**
1000	-	660, 690, 720, 830, 1000	-	> 601 ≤ 1 250 [9]	> 601 ≤ 2 500 [8] [9]	**4 000**	**6 000**	**8 000**	**12 000**
1500	-	-	-	> 1 250 ≤ 1 500 [9]	> 1 250 ≤ 3 000 [8] [9]	**6 000**	**8 000**	**10 000**	**15 000**

1) Le matériel présentant cette **tension assignée de tenue aux chocs** peut être utilisé dans les installations conformes à l'IEC 60364-4-44.

2) Méthode aux États-Unis et au Canada.

3) Méthode au Japon.

4) La marque "/" indique un réseau de distribution triphasé à quatre fils. La valeur la plus basse est la tension phase-neutre, la valeur la plus élevée étant la tension entre phases. Si une seule valeur est indiquée, elle se rapporte aux réseaux triphasés à trois fils et spécifie la valeur entre phases.

5) Voir le texte qui précède le tableau pour une explication des **catégories de surtension**.

6) Dans les schémas IT triphasés, il s'agit de la tension nominale entre la phase et soit un neutre distribué soit un point neutre non distribué ou un point neutre imaginaire dans les réseaux en triangle: pour la plupart des réseaux, cette tension équivaut à la tension entre phases divisée par √3 (voir l'IEC 62477-1:2012).

   Les tensions indiquées dans cette colonne s'appliquent uniquement pour le choix de la catégorie de surtension correspondante, pas pour la conception de l'isolement en fonction de paramètres autres que la catégorie de surtension (les lignes de fuite par rapport à la terre ou aux surfaces tactiles, la tension entre phases doit être prise en considération dans les conditions de premier défaut dans les schémas IT triphasés, par exemple).

7) La marque "–" sépare la tension phase – point milieu de la tension entre phases.

8) La première valeur est la valeur minimale de la tension phase-point milieu, la seconde valeur étant la valeur maximale de la tension entre phases.

9) Aucune tension nominale du réseau supérieure à 1 000 V n'étant définie dans l'IEC 60038, une plage de tensions est indiquée ici.

10) La marque "/" indique la tension du réseau de distribution triphasé "triangle grands côtés". Les tensions indiquées ci-dessus sont les tensions L-N/HL-N/L-L.

L'IEC 61000-4-5 décrit les essais afin de déterminer l'immunité aux ondes de choc de tension et de courant des matériels et systèmes électroniques. Le matériel ou le système à soumettre aux essais est considéré comme une boîte noire et les résultats des essais sont jugés selon les critères suivants:

1) Fonctionnement normal.
2) Perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire du fonctionnement n'exigeant pas l'intervention d'un opérateur.
3) Perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire du fonctionnement exigeant l'intervention d'un opérateur.
4) Perte de fonction avec dommage permanent du matériel (ce qui signifie l'échec de l'essai).

Alors que les essais de l'IEC 61000-4-5 étudient la plage complète des effets possibles sur les matériels et systèmes électroniques dus aux ondes de choc de courants comparativement faibles, incluant leurs dommages permanents et leur destruction, il y a d'autres essais normalisés qui leur sont apparentés, mais ne sont pas autant concernés par la perte temporaire de fonction, mais plus par le dommage réel ou la destruction des matériels. L'IEC 60664-1 porte sur la coordination de l'isolement des matériels dans les réseaux à basse tension. Elle permet de procéder à des mesures entre phases et phase-terre, mais ne mesure pas les caractéristiques de sortie du matériel pendant cet essai. L'IEC 61643-11 est une norme d'essai des parafoudres reliés à des réseaux à basse tension. De plus, ces deux normes sont concernées par l'effet des surtensions temporaires sur les matériels. L'IEC 61000-4-5 et les autres normes de la série IEC 61000 ne prennent pas en considération l'effet des surtensions temporaires sur les matériels ou réseaux.

Le dommage permanent est souvent difficilement acceptable, puisqu'il donne lieu à une durée d'immobilisation du système et à des dépenses de réparations ou de remplacements. Ce type de défaillance est généralement dû à une protection contre les surtensions inadéquate ou manquante, ce qui permet aux hautes tensions et aux courants de choc excessifs de pénétrer dans les circuits des matériels, causant des dysfonctionnements, des défaillances de composants, des pertes d'isolement permanentes et des risques de feu, de fumée ou de chocs électriques. Toutefois, il est également indésirable de subir une perte de fonction ou une dégradation du matériel ou du réseau, particulièrement s'il est crucial et doit rester en fonction quand les ondes de choc surviennent.

Dans le cas des essais décrits dans l'IEC 61000-4-5, l'amplitude du niveau d'essai en tension appliqué (classe d'installation) et le courant de choc résultant ont un effet direct sur la réponse du matériel. Plus simplement dit, plus le niveau de la tension d'une surtension est élevé, plus la probabilité d'une perte de fonction ou de dégradation est grande, à moins que le matériel n'ait été conçu afin de fournir un niveau d'immunité aux ondes de choc approprié.

Pour soumettre aux essais les parafoudres utilisés dans les réseaux à basse tension, l'IEC 61643-11, classe d'essais III, spécifie un générateur d'ondes combinées ayant une impédance fictive de 2 Ω, ce qui produit une forme d'onde de courant de court-circuit 8/20 et une forme d'onde de tension en circuit ouvert 1,2/50. L'IEC 61000-4-5 utilise le même générateur d'ondes combinées pour l'essai d'immunité aux ondes de choc des matériels et réseaux alimentés, mais avec différents éléments de couplage et aussi parfois une impédance en série supplémentaire. De plus, il existe une forme d'onde d'essai plus longue utilisée pour les transitoires générés à l'intérieur d'une installation, il s'agit de la forme d'onde 10/700 indiquée par l'UIT-T. La signification du niveau d'essai en tension (classe d'installation) de la présente norme et la tension de crête en circuit ouvert U_{oc} de l'IEC 61643-11 sont équivalentes. Cette tension détermine la valeur de crête du courant de court-circuit aux bornes du générateur. Du fait des différences entre méthodes d'essai, les résultats d'essai peuvent ne pas être directement comparables.

L'immunité aux ondes de choc des matériels ou des réseaux peut être obtenue au moyen de parafoudres intégrés, de composants de parafoudre (SPC) intégrés ou de parafoudres externes. Un des critères de sélection les plus importants pour les parafoudres est le niveau de protection en tension, U_p, défini et décrit dans l'IEC 61643-11. Il convient de coordonner ce paramètre avec la tension de tenue du matériel U_W, conformément à l'IEC 60664-1, et ce paramètre représente la tension maximale à prévoir aux bornes du parafoudre au cours des essais réalisés dans des conditions spécifiques. U_p est seulement utilisé dans cette norme pour la coordination avec la tension de tenue du matériel U_W. Il convient que la valeur du niveau de protection en tension à un niveau de contrainte comparable soit également en dessous du niveau d'immunité en tension à cette contrainte comparable du matériel soumis aux essais selon l'IEC 61000-4-5, mais ceci n'est pas traité au moment présent, en particulier parce que les formes d'ondes ne sont pas toujours comparables entre les deux normes.

En général, les niveaux d'immunité aux ondes de choc des matériels selon l'IEC 61000-4-5 sont inférieurs aux niveaux de tension assignée de tenue aux chocs d'isolement de l'IEC 60664-1, cependant il convient de veiller aux effets des surtensions temporaires selon l'IEC 60364-4-44 sur un parafoudre (ou composant de parafoudre intégré) ayant un niveau de protection excessivement bas. Il est tout à fait possible de choisir un parafoudre qui assure la protection du matériel contre une défaillance, reste opérationnel au cours de la survenance des ondes de choc et résiste à la plupart des conditions de surtensions temporaires.

Les niveaux de susceptibilité (immunité) sont donnés dans le Tableau K.2.

Sauf indication contraire, le niveau de susceptibilité (U_i) du matériel est par hypothèse de 1 kV entre phases et de 2 kV phase-terre.

Tableau K.2 – Choix des niveaux d'essai d'immunité en fonction des conditions de l'installation

Installation class	Test levels (kV)											
	AC power supply and a.c. I/O directly connected to the mains network Coupling mode		AC power supply and a.c. I/O not directly connected to the mains network Coupling mode		DC power supply and d.c. I/O directly connected thereto Coupling mode		Unsymmetrical operated [4,6] circuits/lines Coupling mode		Symmetrical operated [4,6] circuits/lines Coupling mode		Shielded I/O and communication lines[f] Coupling mode	
	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	All lines-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	0,5	NA	NA	NA	NA	NA	0,5	NA	0,5	NA	NA
2	0,5	1,0	NA	NA	NA	NA	0,5	1,0	NA	1,0	NA	0,5
3	1,0	2,0	1,0[e]	2,0[b e]	1,0[e]	2,0[b e]	1,0[c]	2,0[b c]	NA	2,0[b c]	NA	2,0[c]
4	2,0	4,0[b]	2,0[e]	4,0[b e]	2,0[e]	4,0[b e]	2,0[c]	4,0[b c]	NA	2,0[b c]	NA	4,0[c]
5	[a]	[a]	2,0	4,0[b]	2,0	4,0[b]	2,0	4,0[b]	NA	4,0[b]	NA	4,0[c]

[a] Depends on the class of the local power supply system.

[b] Normally tested with primary protection.

[c] The test level may be lowered by one level if the cable length is shorter or equal to 10 m.

[d] No test is advised at data connections intended for cables shorter than 10 m.

[e] If protection is specified upstream from the EUT, the test level should correspond to the protection level when the protection is not in place.

[f] High speed communications lines could be included under unsymmetrical, symmetrical, shielded I/O and/or communications lines.

Anglais	Français
Test levels	Niveaux d'essai
Installation class	Classe d'installation
AC power supply and a.c. I/O directly connected to the mains network	Alimentation en courant alternatif et E/S en courant alternatif directement connectée au réseau principal
Coupling mode	Mode de couplage
AC power supply and a.c. I/O not directly connected to the mains network	Alimentation en courant alternatif et E/S en courant alternatif pas directement connectée au réseau principal
DC power supply and d.c. I/O directly connected thereto	Alimentation en courant continu et E/S en courant continu directement connectée
Unsymmetrical operated circuits/lines	Circuits/lignes asymétriques
Symmetrical operated circuits/lines	Circuits/lignes symétriques
Shielded I/O and communication lines	E/S et lignes de communication blindées
Line-to-line	Entre phases
Line-to-ground	Phase-terre
Depends on the class of the local power supply system	Dépend de la classe du réseau d'alimentation local
Normally tested with primary protection	En principe soumis à l'essai avec la protection primaire
The test level may be lowered by one level if the cable length is shorter or equal to 10 m	Le niveau d'essai peut être abaissé d'un niveau si la longueur de câble est inférieure ou égale à 10 m
No test is advised at data connections intended for cables shorter than 10 m	Aucun essai n'est conseillé au niveau des connexions de données destinées aux câbles de moins de 10 m
If protection is specified upstream from the EUT, the test level should correspond to the protection level when the protection is not in place	Si la protection est spécifiée en amont de l'EUT, il convient que le niveau d'essai corresponde au niveau de protection lorsque la protection n'est pas en place

Anglais	Français
High speed communications lines could be included under unsymmetrical, symmetrical, shielded I/O and/or communications lines.	Les lignes de communication grande vitesse peuvent être incluses dans des lignes asymétriques, symétriques, d'E/S blindées et/ou les lignes de communication

Considérations supplémentaires relatives aux niveaux d'immunité des matériels généraux:

Selon l'IEC 61000-3-15 et l'IEC 61000-2-14, il est recommandé que la tension assignée de tenue aux chocs soit 5 fois supérieure à la tension nominale entre les conducteurs actifs pour éviter les dysfonctionnements.

Le niveau d'immunité aux ondes de choc est inférieur au niveau de tenue aux chocs (voir le Tableau K.3).

Tableau K.3 – Niveau d'immunité d'une entrée en courant alternatif

Tension nominale du matériel	Tension d'immunité aux ondes de choc exigée du matériel kV	Niveau d'essai pertinent de l'IEC 61000-4-5 (exemple)	
		tension	courant
120/240	0,6/1,2	0,5 kV (niveau 1)	0,25 kA
230/400	1,2/2,0	1,0 (niveau 2)	0,5 kA
277/480	1,4/2,4	2,0 (niveau 3)	1,0 kA
400/690	2,0/3,5	4,0 (niveau 4)	2,0 kA

Une protection supplémentaire pour l'immunité aux ondes de choc peut s'avérer nécessaire dans les matériels sensibles (les ordinateurs ou les unités centrales, par exemple). Ce matériel utilise une faible valeur de puissance en courant continu provenant d'une alimentation à découpage (SMPS). Même si le circuit d'entrée de l'alimentation à découpage présente une tension de tenue aux chocs importante, la tension de sortie de l'alimentation à découpage peut varier en fonction du choc. Par conséquent, la méthode de protection supplémentaire peut être nécessaire dans le circuit de sortie en courant continu de l'alimentation à découpage (une petite diode à avalanche spécifique ou un thyristor, par exemple). Au cours de l'essai d'immunité, la tension de sortie en courant continu doit être préalablement mesurée pour appliquer l'élément de protection approprié.

Selon l'IEC 61000-4-5 et l'IEC 60050-161:1990, 161-01-20, l'immunité est l'aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner sans dégradation en présence d'une perturbation électromagnétique.

Comme cela est indiqué ci-dessus, il est possible de choisir un parafoudre en fonction de ses paramètres, qui assurent la protection du matériel contre les surtensions. Cela permet de vérifier que le matériel est protégé contre les contournements entre les conducteurs actifs et la terre (c'est-à-dire la coordination de l'isolement). Il s'agit de choisir le parafoudre en fonction de son niveau de protection U_p en relation avec la tension assignée de tenue aux chocs U_W du matériel, comme cela est décrit en 7.1.4.5.

NOTE Ces principes sont également traités dans des normes telles que l'IEC 62305-4, l'IEC 60664-1 et la série IEC 60364.

Les mesures ci-dessus n'assurent pas nécessairement l'immunité totale du matériel, le choix du parafoudre ne pouvant pas simplement reposer sur la correspondance de ses paramètres à l'immunité du matériel. Par exemple, un matériel présentant une immunité de 2 kV conformément à l'IEC 61000-4-5 n'est pas nécessairement immunisé contre les dommages ou les dysfonctionnements liés à des contraintes plus importantes, même s'il est protégé par un parafoudre dont le niveau de protection U_p est inférieur à 2 kV.

La coordination du parafoudre avec le matériel en ce qui concerne l'immunité dépend d'un certain nombre de paramètres, y compris:

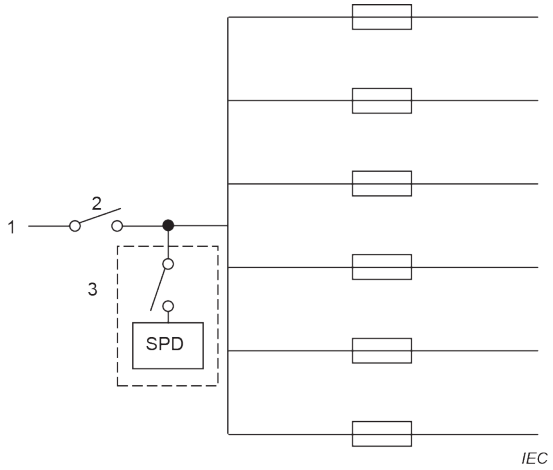
– le type de parafoudre (à coupure, à limitation, de type combiné) et ses caractéristiques
– les SPC (type et caractéristiques) à l'intérieur du matériel
– la protection contre les surintensités à l'intérieur du matériel
– les condensateurs/composants de filtrage à l'intérieur du matériel
– l'impédance et la résistance du conducteur d'interconnexion entre le parafoudre et le matériel
– la contrainte imposée (courant, fréquence, forme d'onde, etc.)

Très souvent, ces paramètres ne sont pas connus ou ne sont pas correctement définis. Cela signifie que même si, dans un grand nombre de cas, le parafoudre assure l'immunité du matériel (en fonction du choix lié à la tension assignée de tenue aux chocs du matériel), pour assurer l'immunité totale du réseau aux impulsions électromagnétiques dues à la foudre (IEMF), une évaluation supplémentaire est nécessaire par des essais ou une simulation au niveau du réseau (voir l'Annexe O).

Annexe L
(informative)

Exemples d'installation de parafoudres dans les tableaux de distribution de certains pays

Les Figure L.1 à Figure L.5 décrivent l'installation type de parafoudres dans les tableaux de distribution de certains pays. Comme cela est traité dans la présente norme, il est important de vérifier que les longueurs de câbles sont réduites le plus possible et que les caractéristiques assignées de tenue aux courts-circuits du parafoudre sont coordonnées avec le courant de court-circuit présumé I_{sc} au niveau de l'emplacement du tableau de distribution.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

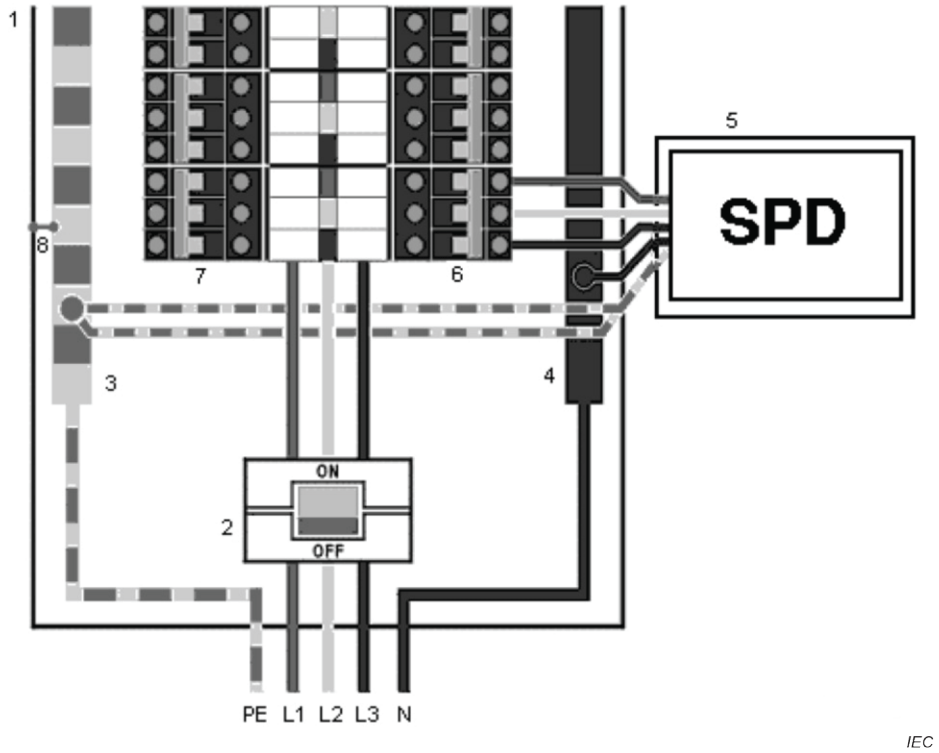
1 Alimentation d'arrivée

2 Interrupteur principal (appelé déconnecteur de parafoudre dans certains pays)

3 Parafoudre et son déconnecteur (pourrait être installé à l'intérieur de l'enveloppe du parafoudre)

Figure L.1 – Schéma de câblage d'un parafoudre relié du côté charge du déconnecteur de parafoudre d'arrivée principal par l'intermédiaire d'un déconnecteur de parafoudre séparé (qui pourrait être inclus dans l'enveloppe du parafoudre)

L'utilisation d'un tel déconnecteur pour le parafoudre est une bonne pratique, dans la mesure où elle permet de déconnecter l'élément sans déconnexion du déconnecteur de parafoudre principal, étant donné qu'il est nécessaire de déconnecter le parafoudre pour les essais de rigidité diélectrique (appelés essais de claquage dans certains pays) de l'installation par exemple.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

1 Tableau de distribution

2 Interrupteur principal (déconnecteur de parafoudre principal ou disjoncteur)

3 Borne principale de terre

4 Borne neutre

5 Enveloppe du parafoudre

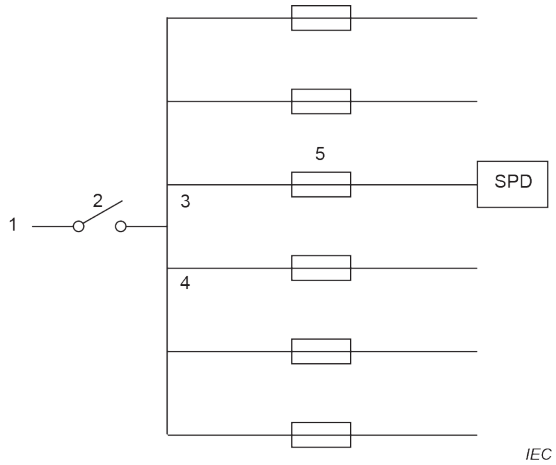
6 Premier bloc fusible en aval

7 Premier bloc fusible alternatif en aval

8 Liaison transversale au châssis du tableau de distribution

Figure L.2 – Parafoudre relié au disjoncteur à l'arrivée disponible le plus proche de l'alimentation d'entrée (installation TNS généralement rencontrée au Royaume-Uni)

Le disjoncteur fournit également un moyen convenable de protection du parafoudre et un moyen d'isolation. Dans la mesure où l'espace dans le tableau de distribution est insuffisant, le parafoudre est monté dans une enveloppe séparée pour la sécurité électrique. Cette enveloppe est montée directement le long du tableau de distribution, afin d'assurer que les câbles de raccordement sont aussi courts que possible. Une liaison à la terre supplémentaire est réalisée afin de réduire le plus possible la chute de tension sur les câbles de raccordement.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

1 Alimentation d'arrivée

2 Interrupteur principal (déconnecteur de parafoudre principal ou disjoncteur)

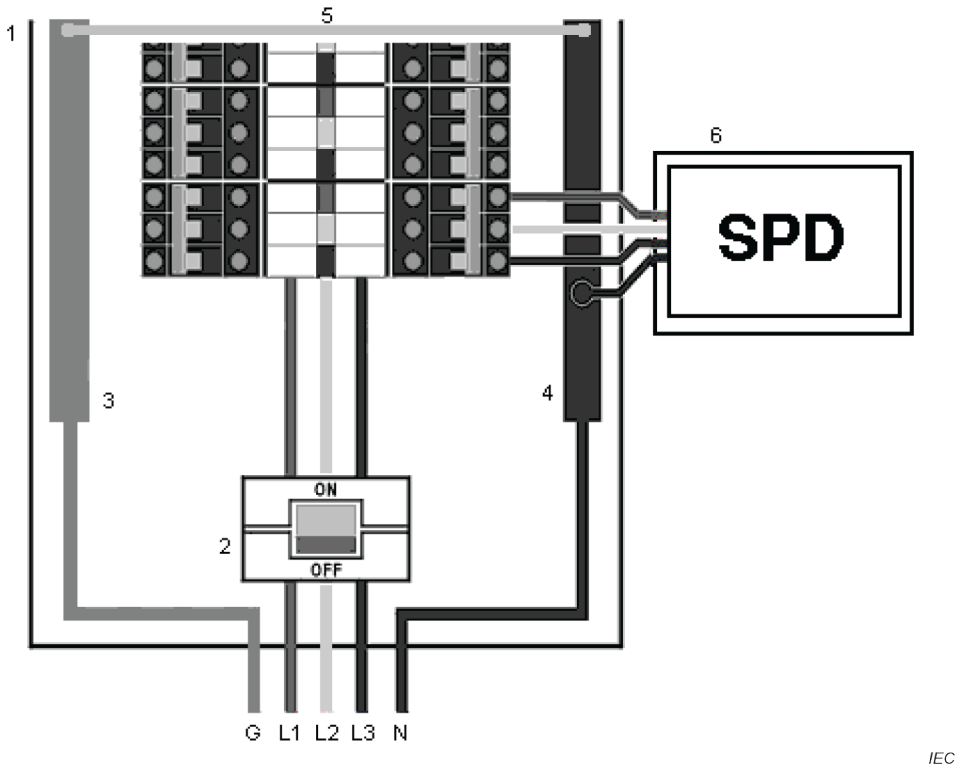
3 Premier bloc fusible en aval

4 Bloc fusible alternatif en aval

5 Fusible (ou disjoncteur)

Figure L.3 – Schéma de câblage unifilaire d'un parafoudre relié en dérivation sur la première sortie du tableau de distribution par l'intermédiaire d'un fusible (ou disjoncteur)

L'utilisation d'un fusible (ou disjoncteur) approprié facilite l'installation du parafoudre et constitue une bonne pratique, dans la mesure où ceci permet à l'élément d'être déconnecté sans déconnexion du déconnecteur de parafoudre principal, étant donné qu'il est nécessaire de déconnecter le parafoudre pour les essais de claquage de l'installation par exemple. Le calibre du fusible est choisi de manière à ne pas réduire la capacité de tenue aux courants de choc du parafoudre et à permettre la coordination avec le fusible de l'alimentation d'arrivée.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

1 Tableau de distribution principal

2 Disjoncteur

3 Barre de mise à la terre principale

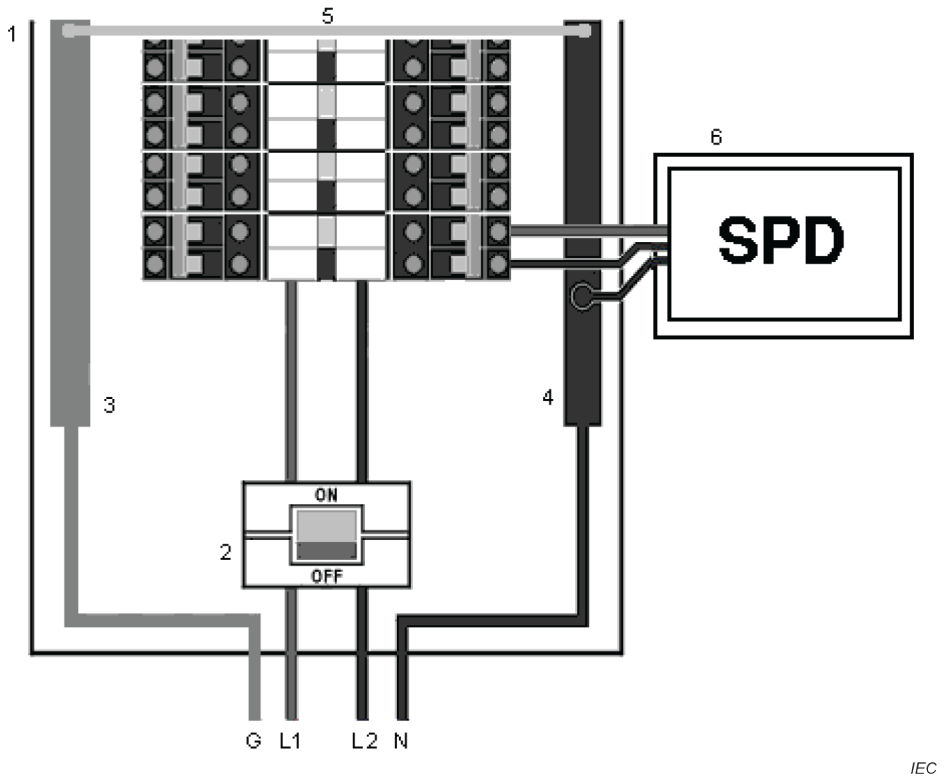
4 Barre de neutre

5 Liaison entre la barre de mise à la terre et la barre de neutre

6 Enveloppe du parafoudre

Figure L.4 – Parafoudre relié au disjoncteur disponible le plus proche sur l'alimentation d'entrée (installation TN-C-S, 4W + G triphasée rencontrée aux États-Unis)

Le côté charge du disjoncteur fournit également un point convenable pour relier le parafoudre par l'intermédiaire de fusibles limiteurs de courant. Ce montage procure également un moyen d'isolation pour les phases de maintenance. Dans la mesure où l'espace dans le tableau de distribution est insuffisant, le parafoudre est monté dans une enveloppe séparée pour la sécurité électrique. Cette enveloppe est montée directement le long du tableau de distribution, afin d'assurer que les câbles de raccordement soient aussi courts que possible.



Anglais	Français
SPD	Parafoudre

Légende

1 Tableau de distribution principal

2 Disjoncteur

3 Barre de mise à la terre principale

4 Barre de neutre

5 Liaison entre la barre de mise à la terre et la barre de neutre

6 Enveloppe du parafoudre

Figure L.5 – Parafoudre relié au disjoncteur disponible le plus proche sur l'alimentation d'entrée (réseau 120/240 V, 3W + G monophasé (phases séparées) rencontré aux États-Unis – typique pour les applications résidentielles et des petites entreprises)

Le côté charge du disjoncteur fournit également un point convenable pour relier le parafoudre par l'intermédiaire de fusibles limiteurs de courant. Ce montage procure également un moyen d'isolation pour les phases de maintenance. Dans la mesure où l'espace dans le tableau de distribution est insuffisant, le parafoudre est monté dans une enveloppe séparée pour la sécurité électrique. Cette enveloppe est montée directement le long du tableau de distribution, afin d'assurer que les câbles de raccordement soient aussi courts que possible.

NOTE Aux États-Unis, le Code électrique national (NEC – *national electric code*) exige que les caractéristiques assignées du courant de court-circuit du parafoudre définies par ce code soient coordonnées avec le courant de défaut présumé au point d'installation.

Annexe M
(informative)

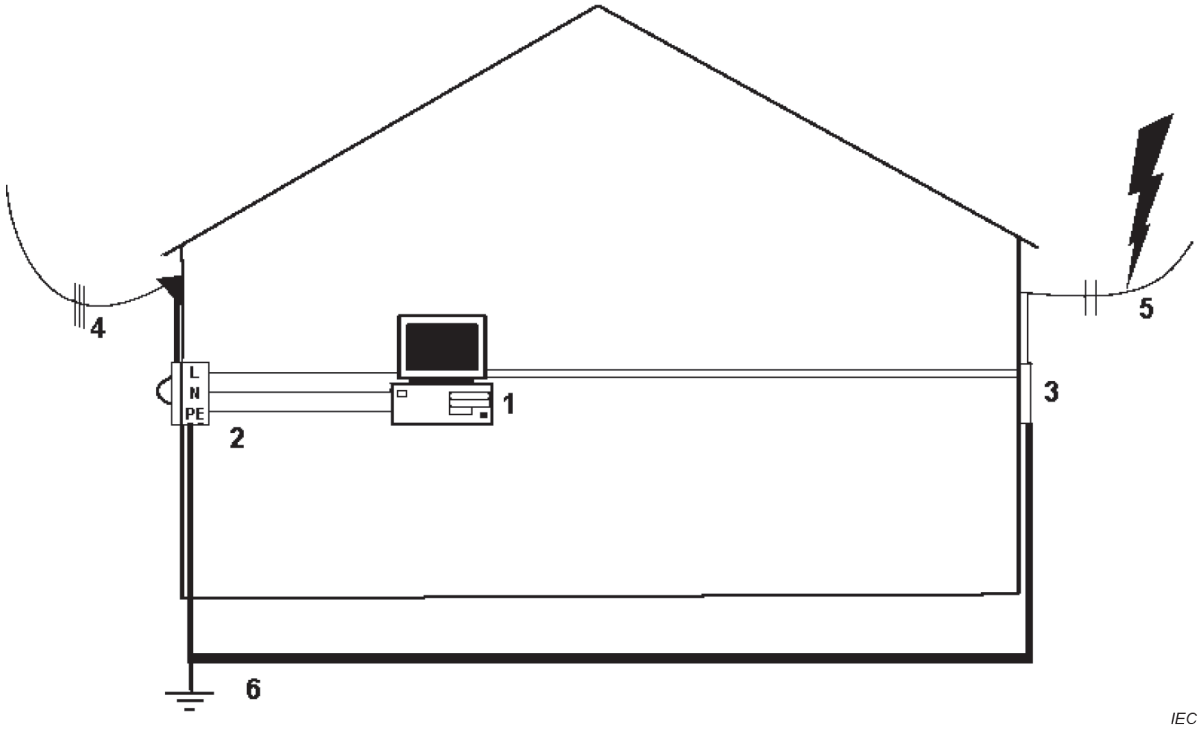
Coordination dans le cas d'un matériel présentant à la fois des bornes de télécommunication et de puissance

Pour décrire le problème pouvant se produire lorsque deux ports d'un matériel sont protégés par des parafoudres qui ne sont pas coordonnés, l'exemple d'un ordinateur équipé d'un modem est utilisé.

Un système type peut être assemblé à partir de sous-systèmes non coordonnés et ces derniers pourraient être vulnérables en raison d'une protection contre les surtensions non coordonnée. Bien que chacun des systèmes de puissance et de communication puisse inclure une protection contre les surtensions, le courant de choc circulant entre les systèmes de protection contre les surtensions peut provoquer une différence de potentiel à travers les ports de puissance et de communication de l'ordinateur. Selon la nature de l'ordinateur/du modem et leurs niveaux d'immunité, cette différence de potentiel peut endommager l'ordinateur/le modem ou provoquer une perturbation du fonctionnement de ce matériel.

Le premier exemple indique comment ce problème peut survenir. L'exemple est fondé sur un système de puissance et de télécommunication.

À la Figure M.1, un ordinateur est équipé d'un modem qui est alimenté à partir d'un circuit terminal par un cordon à trois fils comportant un conducteur de mise à la terre. Le conducteur de mise à la terre établit la référence du potentiel de régime permanent du châssis au niveau du tableau de distribution de puissance. Le port de télécommunication du modem est relié à une prise téléphonique métallique à son emplacement. Cette prise est câblée à une extrémité de l'interface de télécommunication. Ce tableau de distribution est généralement situé à l'entrée du bâtiment et comporte des parafoudres de télécommunication.



Légende

1 Ordinateur avec modem ou dispositif électronique similaire ayant des ports séparés pour la puissance et les télécommunications.

2 Tableau de distribution principal, y compris disjoncteurs et parafoudre de puissance

3 Extrémité de l'interface de télécommunication, y compris parafoudre de télécommunication

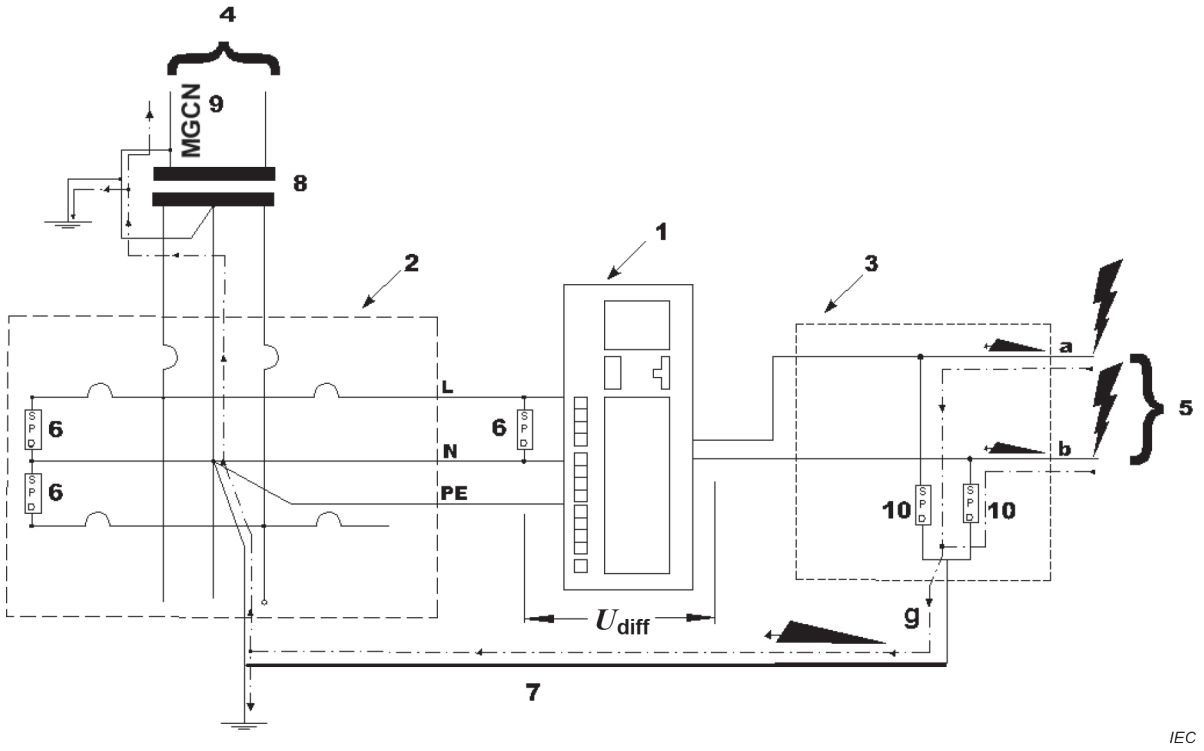
4 Ligne de puissance monophasée à 3 fils

5 Ligne de télécommunication aérienne

6 Réseau équipotentiel

Figure M.1 – Exemple d'ordinateur avec modem dans un réseau de puissance et de communication rencontré aux États-Unis

Pour démontrer l'effet de la protection contre les surtensions non coordonnée et l'avantage d'une solution proposée, des mesurages ont été effectués dans une réplique en taille réelle d'un réseau de câblage d'une maison, y compris un réseau d'alimentation, un réseau téléphonique et un réseau équipotentiel, comme cela est indiqué à la Figure M.2. Les fils téléphoniques ont été acheminés d'une manière typique, à une certaine distance du réseau équipotentiel.



Légende

1 Ordinateur avec modem ou dispositif électronique similaire ayant des ports séparés pour la puissance et les télécommunications

2 Tableau de distribution principal, y compris disjoncteurs et parafoudre de puissance

3 Parafoudre de télécommunication

4 Ligne de puissance monophasée à 3 fils

5 Ligne de télécommunication aérienne

6 Parafoudre de puissance (fondé sur des varistances)

7 Réseau équipotentiel

8 Transformateur de distribution

9 MGCN: neutre commun avec mises à la terre multiples (*multi-grounded common neutral*)

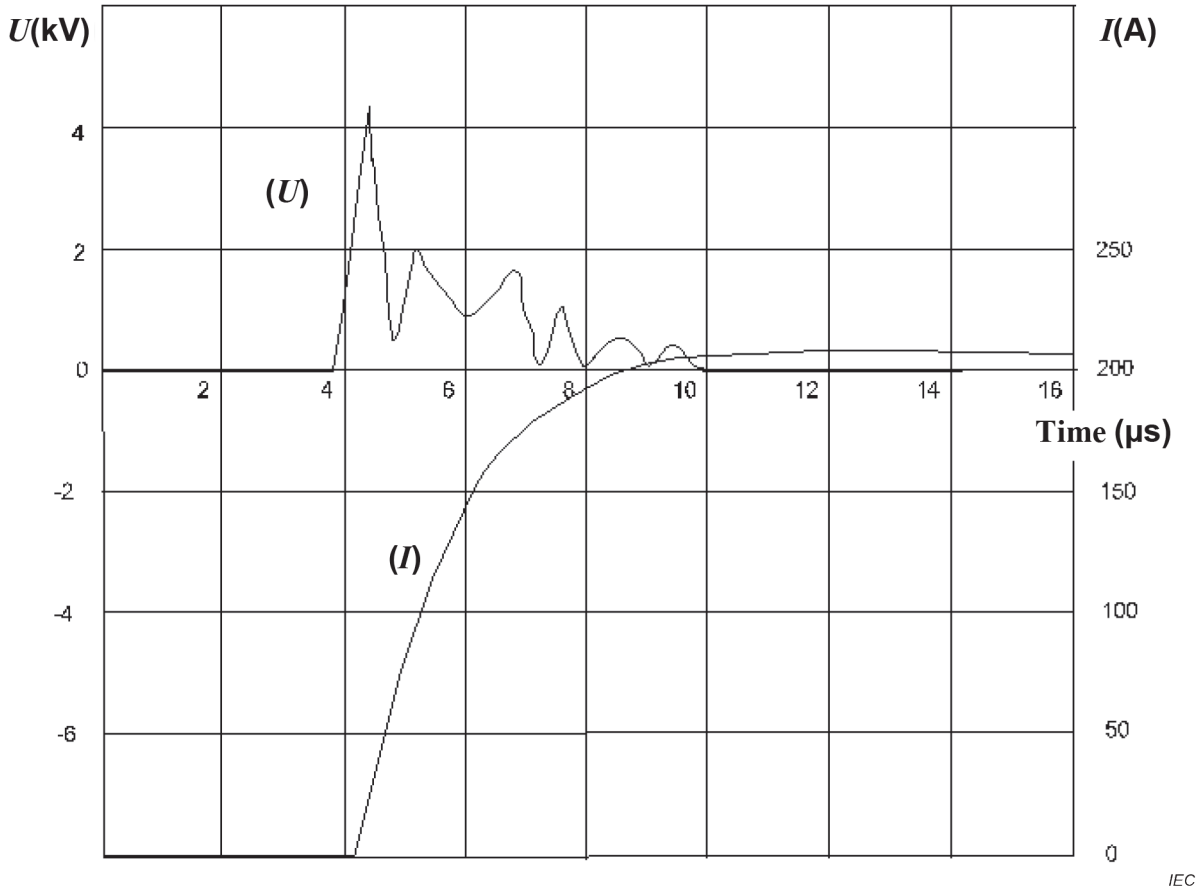
10 Parafoudre de télécommunications (fondé sur des éclateurs ou "GDT")

Figure M.2 – Schéma du circuit de la Figure M.1 utilisé pour les essais expérimentaux

La Figure M.2 représente la façon dont une surtension survenant sur le circuit de télécommunication peut entraîner une tension (différence de potentiel) U_{diff} dans l'ordinateur en raison du fonctionnement des tubes à décharge dans un gaz dans le tableau de distribution de l'interface de télécommunication. Comme cela est représenté lorsque les tubes à décharge dans un gaz du tableau de distribution de l'interface de télécommunication fonctionnent, un courant de choc circule dans le réseau équipotentiel, entraînant une différence de potentiel entre le port de télécommunication et le port de puissance de l'ordinateur. Ceci est dû au courant de choc "I_{choc}" circulant dans la canalisation d'eau à travers son inductance "L". La chute de tension à travers la canalisation est exprimée par l'équation $U = R \times I_{choc} + L\mathrm{d}I_{choc}/\mathrm{d}t$, où $\mathrm{d}I_{choc}/\mathrm{d}t$ est la vitesse de variation du courant circulant dans la canalisation d'eau. Le facteur L est l'inductance de la canalisation d'eau et du câble de terre entre le tableau de distribution de l'interface de télécommunication et le réseau équipotentiel.

La Figure M.3 représente l'enregistrement obtenu en injectant en amont du tableau de distribution de l'interface de télécommunication une surtension telle que spécifiée par les normes de l'industrie téléphonique. Pour une vitesse de variation du courant de choc de 75 A/µs, un pic de tension de 4,3 kV a été induit dans la boucle. Cette tension apparaît entre les deux ports d'un ordinateur (mais, bien entendu, aucun des deux ports n'était raccordé pour l'expérience. La boucle est restée ouverte, afin de permettre les mesurages et ne pas mettre un ordinateur inutilement en danger au cours de l'expérience.)

NOTE L'onde 8/20 n'est pas la seule impulsion normalisée utilisée dans l'industrie des télécommunications. L'UIT utilise une tension de choc de 10/700 avec un courant de choc de 5/300. L'IEC 61643-21 utilise aussi de nombreuses formes d'ondes différentes.



Anglais	Français
Time	Temps

Légende

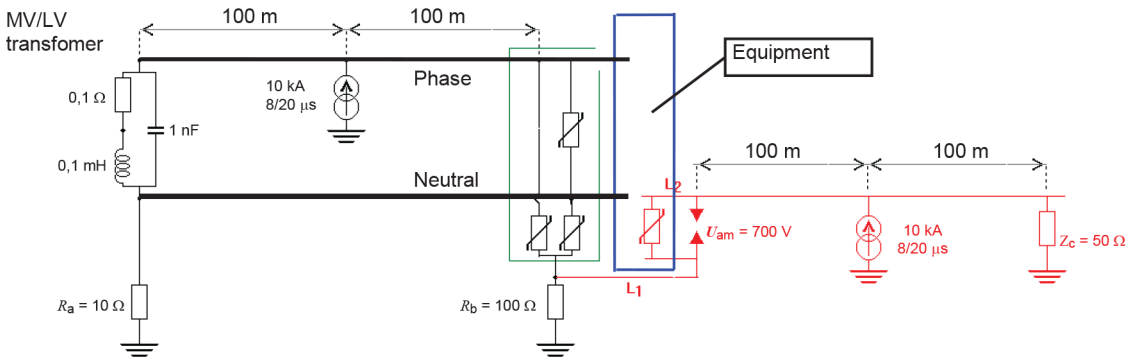
I Courant incident sur le parafoudre de télécommunication: 50 A/division – d*i*/d*t* = 75 A/µs

U Tension entre le port téléphonique et le conducteur de protection (PE): 2 kV/division – 4,3 kV max

Balayage horizontal: 2 µs/division

Figure M.3 – Tension enregistrée aux points de référence pour l'ordinateur/le modem au cours d'une surtension dans l'exemple (tension et courant en fonction du temps, en µs)

Le deuxième ensemble d'exemples représentatifs du problème est décrit à la Figure M.4. Ceci représente une alimentation (TT, phase et neutre) alimentant une installation dans laquelle une ligne téléphonique est également reliée. Pour la liaison équipotentielle des deux réseaux à la terre locale, des parafoudres sont installés au niveau du point d'entrée de ces lignes. Pour étudier ce cas, un cas pratique a été simulé, pour lequel les deux points d'interconnexion sont différents, puis séparés par une inductance (équivalente à la distance entre ces deux points). Un autre parafoudre a également été ajouté sur la ligne de télécommunication à proximité immédiate de l'appareil. La distance L2 est la distance entre l'éclateur et la varistance à oxyde métallique (MOV), et la distance L1 est la distance entre le point d'interconnexion de la ligne de télécommunication et le point d'interconnexion de la ligne de puissance.



IEC

Anglais	Français
MV/LV transformer	Transformateur MT/BT
Phase	Phase
Neutral	Neutre
Equipment	Matériel

Figure M.4 – Schéma TT typique utilisé pour les simulations

Les effets d'un courant de choc appliqué sur le circuit de télécommunication de la Figure M.2 ont également été analysés à l'aide d'une simulation sur ordinateur et ont donné les mêmes résultats que l'essai réel. Le modèle à haute fréquence du transformateur et un effet de propagation sur les lignes (200 m pour les deux lignes) ont été utilisés. Le parafoudre pour l'alimentation est du type à varistance (composant de limitation) et le parafoudre pour la ligne de télécommunication est de type tube à décharge dans un gaz (composant de commutation).

La résistance de la mise à la terre R_b était un paramètre dans cette étude, ainsi que la tension d'amorçage du tube à décharge dans un gaz. Le parafoudre de l'alimentation (trois modes de protection) a un courant nominal de décharge de 10 kA et un niveau de protection en tension de 1,5 kV.

Les résultats suivants ont été obtenus pour L1 = L2 = 10 m. La longueur du câble L1 subit une chute de tension de 12,5 kV lorsque la foudre frappe les réseaux d'énergie et de 23 kV lorsque la foudre frappe le réseau de télécommunication. Ce niveau est suffisant pour créer un amorçage à l'intérieur du matériel.

Ainsi, même si les deux réseaux sont protégés par des parafoudres et s'ils sont reliés au même schéma de liaison à la terre, un amorçage interne peut toujours se produire.

Pour pouvoir généraliser ces résultats, des simulations ont également été effectuées avec des charges sur les deux réseaux, et les résultats étaient les mêmes. De plus, des simulations avec d'autres types de réseaux (TN et IT) et avec différentes formes d'ondes de surtensions ont aussi été réalisées.

Les résultats sont résumés dans le Tableau M.1.

Tableau M.1 – Résultats de simulation

Schéma TN	Si un choc 8/20 de 10 kA provient de l'alimentation	Si un choc 8/20 de 10 kA provient de la ligne de télécommunication
L1 Chute de tension	12 kV	35 kV
Schéma IT, impédance du neutre = 1 000 Ω	Si un choc 8/20 de 10 kA provient de l'alimentation	Si un choc 8/20 de 10 kA provient de la ligne de télécommunication
L1 Chute de tension	8 kV	35 kV
Schéma TT	Si un choc 10/350 de 10 kA provient de l'alimentation	Si un choc 10/350 de 10 kA provient de la ligne de télécommunication
L1 Chute de tension	8 kV	23 kV

Il peut être observé que les résultats concernant le risque d'amorçage du matériel sont les mêmes avec tous les types de réseaux d'alimentation. La tenue du matériel est dans la plupart des cas de l'ordre de 2,5 kV au maximum, et la tension produite par une surtension légère (10 kA seulement) est ainsi bien supérieure à cette tenue aux chocs (de 8 kV à 35 kV).

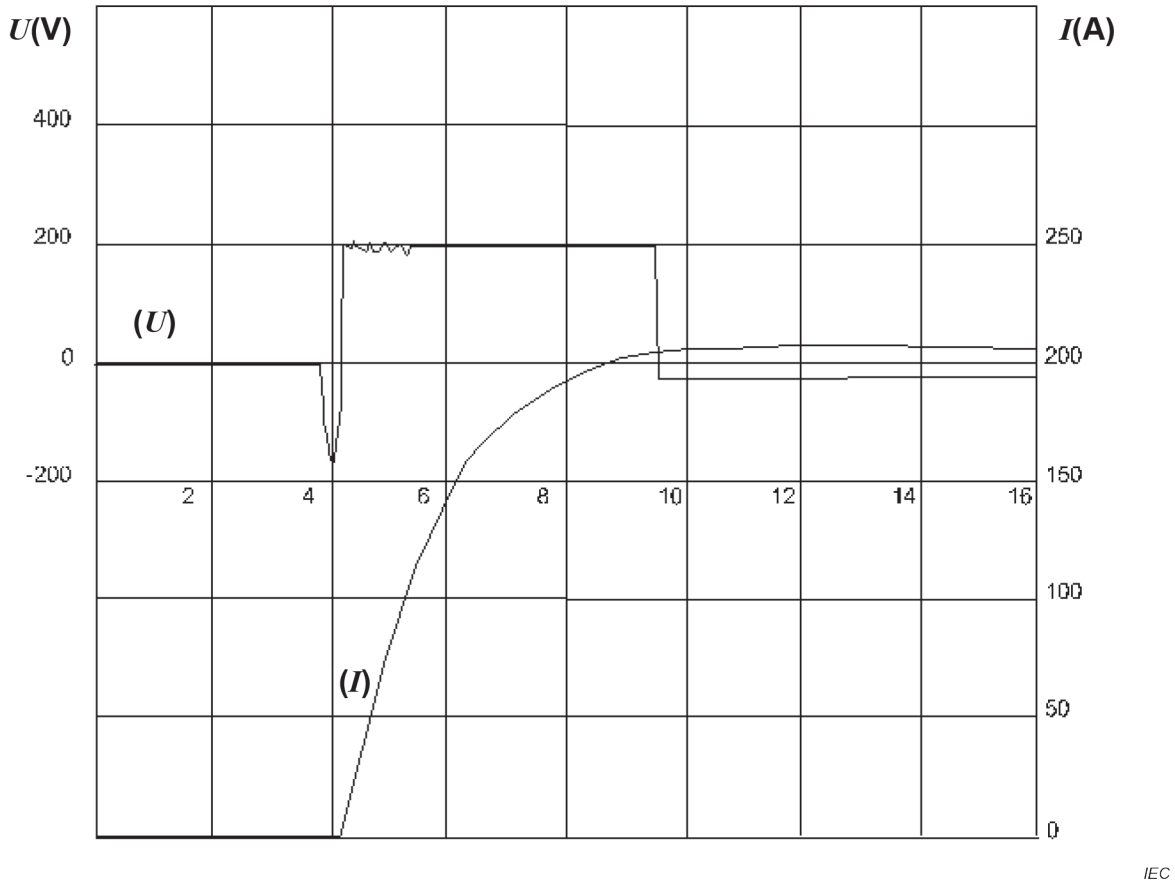
NOTE Une valeur de 10 kA 10/350 n'est pas réaliste pour un conducteur téléphonique. Il fond à environ 2 kA et les mesurages dans le réseau de télécommunication présentent des valeurs davantage de l'ordre de 100 A. Une telle valeur a toutefois été utilisée pour la comparaison entre le côté puissance et le côté télécommunication.

SOLUTIONS POSSIBLES

Afin d'éviter les problèmes exposés ci-dessus, il y a deux possibilités:

– trouver un autre cheminement pour des câbles, afin de diminuer la taille de la boucle entre les différentes lignes (lignes de télécommunication et lignes de puissance dans le cas de l'exemple décrit ci-dessus) et diminuer ainsi l'inductance L. Ceci n'est cependant pas simple pour les bâtiments existants. Pour les nouveaux bâtiments, un seul point d'interconnexion d'entrée est bien entendu la meilleure solution.
– installer près du matériel un parafoudre entre la borne du réseau d'énergie et un point d'interconnexion commun, et procéder de la même façon entre les bornes du ou des autres réseaux (réseau de télécommunication dans l'exemple) et ce point d'interconnexion commun. En général, ces dispositifs contiennent des parafoudres de puissance et des parafoudres de télécommunication dans un seul ensemble, et sont parfois appelés "parafoudres multifonctions". Un tel parafoudre "combiné" contient une protection contre les surtensions pour toutes les connexions au matériel référencées par des câbles très courts reliés au point d'interconnexion commun. Il est exigé que ce point d'interconnexion commun soit relié à la terre de protection. Ce point d'interconnexion commun peut être le boîtier du matériel à protéger, s'il est relié à la terre de protection.

La Figure M.5 représente l'effet d'un parafoudre de ce type dans l'expérience décrite à la Figure M.1. Il convient de comparer la Figure M.5 et la Figure M.3.



Légende

I Courant incident sur le parafoudre de télécommunication – d*i*/d*t* = 75 A/μs

U Tension entre le port téléphonique et le conducteur de protection (PE): 200 V/division – 200 Vmax

Balayage horizontal: 2 μs/division

Figure M.5 – Formes d'ondes de tension et de courant mesurées lors de l'application d'une surtension lorsqu'un parafoudre multifonction a été installé dans le circuit de la structure représentée à la Figure M.1

Annexe N
(informative)

Dispositif de protection contre les surintensités de courts-circuits et tenue aux chocs

N.1 Généralités

Le courant de choc est non seulement supposé s'écouler dans les parafoudres, mais aussi dans d'autres dispositifs qui ne sont pas intrinsèquement dédiés aux surtensions. Les dispositifs de protection contre les surintensités et tous les types de protections contre les courants de défaut installés en amont sont dans ce cas, un déclenchement ou une fusion non souhaité(e) de ceux-ci pouvant ainsi se produire. Il est utile de connaître la capacité de tenue de ces dispositifs pour prévenir une utilisation inappropriée dans le cadre d'une protection contre les surtensions.

Une chute de tension supplémentaire peut se produire lorsqu'un courant de choc circule dans le dispositif de protection contre les surintensités. Cette chute de tension dépend du type de dispositif utilisé comme dispositif de protection contre les surintensités et de son courant assigné.

Dans la présente annexe, les Articles N.2, N.3, N.4 et N.5 donnent un calcul et des informations clairs pour la tenue aux chocs des fusibles selon les essais de type réalisés et les données expérimentales obtenues par les fabricants de parafoudres et les fabricants de fusibles. Pour les autres dispositifs de protection contre les surintensités, la tenue aux chocs peut dépendre considérablement du type et de la conception du dispositif. Certaines informations permettant de comparer les avantages et les inconvénients des différentes conceptions de déconnecteurs de parafoudre sont données à l'Article N.6. Les dispositifs conçus pour des besoins particuliers peuvent présenter d'autres caractéristiques.

Le cas échéant, il convient que les fabricants donnent des informations en matière d'association des parafoudres avec d'autres dispositifs comme les disjoncteurs, par exemple. (disjoncteur miniature, disjoncteur boîtier moulé, DDR, etc.). Il est recommandé de consulter la documentation de référence des fabricants.

L'Article N.7 donne des valeurs d'essai supplémentaires pour les déconnecteurs de parafoudre utilisés dans certains pays.

Il est rappelé aux utilisateurs que la sécurité en cas de défaillance du parafoudre et la tenue aux chocs peuvent donner lieu à différents choix de déconnecteur de parafoudre. Il convient que les utilisateurs gardent cela à l'esprit et prennent connaissance des instructions du fabricant de parafoudre.

N.2 Informations relatives à la tenue des fusibles à une onde de choc 8/20 et 10/350

L'utilisation du calcul de l'énergie I^2t de la forme d'onde de choc comparée à celle de l'énergie du préarc d'un fusible I^2t (1 ms) fourni par le fabricant est un moyen possible d'estimation de la tenue aux chocs du fusible pour une surtension.

La valeur I^2t d'un choc peut être estimée à partir de la valeur de crête du courant de choc et de sa forme d'onde nominale à l'aide des formules suivantes:

- Pour la forme d'onde 10/350 (voir également 8.1.1 de l'IEC 61643-11:2011):

$$I^2t\ [\mathrm{A^2s}] = 2{,}5 \times 10^{-4} \times I_{\text{crête}}^2\ [\mathrm{A^2}]$$

- Pour la forme d'onde 8/20:

$$I^2t\ [A^2s] = 0{,}14 \times 10^{-4} \times I_{crête}^2\ [A^2]$$

NOTE Ces formules reposent sur la forme nominale d'une onde de choc (temps de montée et durée jusqu'à mi-valeur) et n'inclut pas les tolérances d'essai maximales admises.

Exemples:

- pour résister à un seul courant de choc 8/20 d'amplitude de 9 kA, le fusible associé doit avoir une valeur de préarc minimale supérieure à:

$$I^2t\ [A^2s] = 0{,}14 \times 10^{-4} \times 9^2 = 1\ 134\ [A^2s]$$

- pour résister à un seul courant de choc 10/350 d'amplitude de 5 kA, le fusible associé doit avoir une valeur de préarc minimale supérieure à:

$$I^2t\ [A^2s] = 2{,}5 \times 10^{-4} \times 5^2 = 6\ 250\ [A^2s]$$

Un fusible gG de 100 A à neuf avec une valeur de préarc de 21 200 A^2s peut résister à un courant de choc 8/20 de:

$$I_{crête}\ [A] = \sqrt{21\ 200/(0{,}14 \times 10^{-4})} = 38\ 914\ [A]$$

Différentes valeurs de I^2t peuvent être trouvées dans les fiches techniques de fusible en fonction des caractéristiques, des dimensions et des fabricants de fusibles.

N.3 Facteurs influençant les fusibles (réduction) pour l'essai de préconditionnement et l'essai de fonctionnement en service

Au cours de la procédure d'essai décrite dans l'IEC 61643-11, le fusible doit résister non seulement à un seul choc, mais aussi à une séquence complète de chocs (essai de préconditionnement et essai de fonctionnement en service). Ces chocs dégradent le fusible et par conséquent diminuent sa capacité de tenue par rapport à la tenue à un choc (voir N.2).

Afin de satisfaire à l'ensemble de l'essai de préconditionnement et de l'essai de fonctionnement en service, les données expérimentales indiquent qu'un facteur de réduction de 0,5 à 0,9 doit être appliqué à la valeur de tenue à un choc.

Il convient de prendre en considération trois facteurs principaux:

- Rapport entre I_n et I_{imp}.

L'essai de préconditionnement est réalisé avec 15 chocs à I_n, l'essai de fonctionnement final étant réalisé à 0,1; 0,25; 0.5; 0,75 et 1 fois la valeur de I_{imp}. Si la valeur de crête de I_n est inférieure à I_{imp}, la dégradation provoquée par l'essai de préconditionnement peut être ignorée par rapport à la contrainte I_{imp}. À l'inverse, si la valeur de crête de I_n est proche de I_{imp} voire supérieure, la contrainte provoquée par l'essai de préconditionnement ne doit pas être ignorée.

- Valeur absolue par rapport à la tenue des fusibles à une seule onde de choc.

Si les valeurs de I_n ou I_{imp} sont proches de la valeur de crête maximale du choc à laquelle le fusible peut résister, il se dégrade à chaque choc appliqué, alors que si ces valeurs sont très inférieures à la valeur de crête maximale du choc, l'effet peut être ignoré.

- Valeurs de tolérance I^2t d'un fusible

Dans la plupart des cas, les fabricants de fusibles donnent une tolérance pour leurs dispositifs, conformément à la norme des fusibles. Cette tolérance n'est pas liée à la capacité de tenue réelle aux chocs et ne peut pas être utilisée pour les calculs.

N.4 Tenue des fusibles selon les données expérimentales et confirmée par calculs en fonction des paramètres et des limites spécifiés dans la série IEC 60269

Des exemples de rapports entre la tenue à une onde de choc et l'ensemble de l'essai de préconditionnement/fonctionnement en service sont donnés dans le Tableau N.1.

Tableau N.1 – Exemples de rapports entre la tenue à une onde de choc et l'ensemble de l'essai de préconditionnement/fonctionnement en service

Withstand capabilities of gG fuse-links towards operating and additional duty tests					
Rated current of fuse link (A)	Minimum prearcing I²t (Table 113, IEC 60269-2))	Evaluated minimum Adiabatic I²t (A²s)	Safety coefficient (on the value of current)	Maximum I_n (kA) (8/20 µsec)	Maximum I_{Imp} (kA) (10/350 µsec)
8	40	24	0,85	1,2	0,3
10	68	41		1,5	0,3
12	130	78		2,1	0,5
16	291	175		3,1	0,7
20	640	384		4,6	1,0
25	1 210	726		6,4	1,4
32	2 500	1 750		9,9	2,2
40	4 000	2 800		12,5	2,8
50	5 750	4 025		15	3,4
63	9 000	6 300		19	4,2
80	13 700	10 960		25	5,6
100	21 200	19 080		33	7,3
125	36 000	32 400		42	9,6
160	64 000	57 600		57	13
200	104 000	93 600		72	16
224	139 000	125 100		83	19
250	185 000	166 500		96	22
315	302 000	271 800		123	28
400	557 000	445 600		157	35
500	900 000	720 000		200	45
630	1 600 000	1 280 000		267	60

Anglais	Français
Withstand capabilities of gG fuse-links towards operating and additional duty tests	Capacités de tenue des éléments fusibles gG en fonction des essais de fonctionnement et des essais supplémentaires de fonctionnement en charge
Rated current of fuse link	Courant assigné de l'élément fusible
Minimum prearcing I²t (Table 113, IEC 60269-2)	Préarc minimal I²t (Tableau 113, IEC 60269-2)
Evaluated minimum Adiabatic I²t	Adabiatique minimal évalué I²t
Safety coefficient (on the value of current)	Coefficient de sécurité (sur la valeur du courant)
Maximum In	In maximal
Maximum Iimp	Iimp maximal

Explication des données fournies dans le Tableau N.1:

Colonne 2	Ces valeurs minimales de l'énergie I^2t de préarc sont extraites de l'IEC 60269-2, Tableau 113. Elles se rapportent à une durée de préarc de 4 ms et ont été établies à l'origine comme des valeurs de référence par le SC32B.
Colonne 3	Ces valeurs sont calculées sur la base des constantes du matériau et la forme du ruban fusible. Elles se rapportent à la durée de préarc d'environ 3 ms et sont confirmées par expérience.
Colonne 4	Il s'agit d'un coefficient de sécurité pour tenir compte des différentes dimensions de fusible.
Colonnes 5 et 6	Ces valeurs reposent sur les calculs de la colonne 3 et sont confirmées par les données expérimentales des essais de fonctionnement en service.

Il convient que les valeurs du Tableau N.1 soient applicables à tous les types d'éléments fusibles gG, quelles que soient leurs dimensions, mais elles ne sont pas applicables à d'autres caractéristiques de fusible.

Bien entendu, elles peuvent servir à des fins d'estimations sur la base de calculs comparatifs.

Il est nécessaire de vérifier séparément les autres caractéristiques des fusibles en appliquant l'essai de fonctionnement en service complet comme cela est indiqué dans l'IEC 61643-11.

NOTE La plupart des données expérimentales utilisées pour le Tableau N.1 et les calculs correspondants pour les courants de choc 10/350 sont fondés sur des fusibles NH. Toutefois, certains essais réalisés sur quelques fusibles de type cylindrique ont confirmé les capacités de tenue mentionnées ci-dessus pour des tailles de fusible.

N.5 Comportement des déconnecteurs externes en fonction des technologies

Le comportement suivant des disjoncteurs et des fusibles (voir le Tableau N.2) repose sur une enquête réalisée ces 3 dernières années et donne un aperçu de la situation actuelle. Il est nécessaire de garder à l'esprit que le récapitulatif suivant est lié à la technologie et à la taille des disjoncteurs et des fusibles actuels (les essais ont été réalisés à 230/400 V), ceci pouvant avoir également un impact important sur les résultats présentés en cas de changement.

Tableau N.2 – Comportement des déconnecteurs externes selon les technologies

Courant assigné (en A)	0-80	80-...
Tenue au courant de choc (8/20)	En règle générale, les disjoncteurs présentent une tenue bien plus importante que les fusibles (2 fois plus élevée)	En règle générale, les disjoncteurs présentent toujours une tenue plus importante que les fusibles (30 % à 50 % de plus)
Tenue au courant de foudre (10/350)	Aucune véritable déclaration n'est possible, ceci n'étant pas lié au courant assigné des disjoncteurs, mais dans une plus large mesure à leur technologie, la tenue au courant de foudre pouvant être considérablement inférieure ou supérieure à celle des fusibles	
Chute de tension (VD – *voltage drop*) supplémentaire à la tension résiduelle sans fonctionnement lorsque le déconnecteur est dans la branche du parafoudre	En règle générale, les disjoncteurs présentent une chute de tension plus importante que celle des fusibles. La différence diminue avec l'augmentation du courant assigné, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de différence.	En règle générale, les disjoncteurs présentent une chute de tension équivalente, voire inférieure, à celle des fusibles. La différence augmente avec l'augmentation du courant assigné.
Chute de tension (VD) supplémentaire à la tension résiduelle avec fonctionnement* lorsque le déconnecteur est dans la branche du parafoudre	Pour les fusibles, la chute de tension d'arc est supérieure à la chute de tension d'arc des disjoncteurs, mais le comportement temporel du disjoncteur dépend du type de parafoudre utilisé, parafoudre à limitation de tension ou à coupure de tension, ainsi qu'à l'amplitude du courant de suite.	
* Cela peut se produire lorsque les caractéristiques assignées du déconnecteur sont inférieures aux caractéristiques assignées maximales du déconnecteur indiquées dans les fiches techniques du fabricant		

Tous les composants en amont du parafoudre peuvent avoir un impact sur la tenue aux chocs de l'installation. Il convient de connaître cette tenue aux chocs.

N.6 Exigences et valeurs d'essai supplémentaires pour les déconnecteurs externes de parafoudres utilisés dans certains pays

Certains pays donnent des exigences et valeurs d'essai supplémentaires pour les déconnecteurs externes de parafoudre.

Les normes japonaises donnent des exigences relatives aux déconnecteurs à fusibles de parafoudre (SFD – *SPD fusing disconnector*).

NOTE 1 JEITA RC4501: Exigences de performances des déconnecteurs de parafoudre à basse tension et méthodes d'essai des déconnecteurs à fusibles de parafoudre (SFD) au Japon.

NOTE 2 JEITA RC4502: Choix des déconnecteurs de parafoudre à basse tension et principes de mise en œuvre des déconnecteurs à fusibles de parafoudre (SFD) au Japon.

Une norme de l'industrie énergétique chinoise et une norme de l'industrie chinoise des télécommunications ont formulé les exigences et méthodes d'essai pour les déconnecteurs spécifiques au parafoudre (SSD – *SPD specific disconnector*).

NOTE 3 NB/T 42150-2018: Dispositifs de protection spécifiques pour les parafoudres à basse tension, en chinois, YD/T XXXXX: Disjoncteur externe des parafoudres utilisés dans les postes/sites de télécommunication (en cours de publication)

Fondamentalement, ces exigences relatives aux SFD et SSD sont les suivantes:

a) Grande capacité de tenue aux chocs (voir le Tableau N.3)

b) Chute de tension plus faible induite par le courant de choc.

c) Faible courant assigné avec caractéristiques temps/courant pour la coordination en surintensité avec le dispositif de protection contre les surintensités (OCPD) en amont et déconnexion sécurisée en cas de défaillance du parafoudre (voir la Figure N.1).

d) Caractéristiques temps/courant pour la coordination en surintensité avec le dispositif de protection contre les surintensités (OCPD) en amont. (voir la Figure N.2)

Tableau N.3 – Exemples de caractéristiques assignées électriques pour les déconnecteurs à fusibles de parafoudre (SFD)

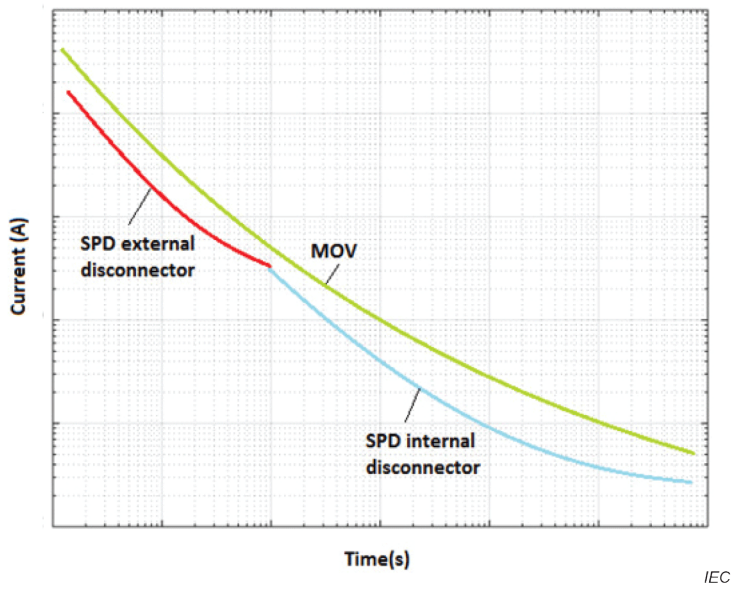
Courant assigné	Capacité de tenue aux chocs	Forme d'onde de choc	Pouvoir de coupure
30 A	20 kA: 15 fois	8/20	250 V en courant alternatif 100 kA
28 A	15 kA: 15 fois		
23 A	10 kA: 15 fois		

Tableau N.4 – Exemples de courants de déclenchement pour les SSD

Courant de déclenchement minimal	Capacité de tenue aux chocs	Forme d'onde de choc	Pouvoir de coupure
3A	25 kA: 1 fois	10/350	250 en courant alternatif, 100 kA
3A	60 kA:15 fois	8/20	250 en courant alternatif, 100 kA
3A	10 kA: 15 fois	8/20	250 en courant alternatif, 25 kA

La Figure N.1 donne un exemple de caractéristiques temps/courant du déconnecteur interne de parafoudre et des déconnecteurs (SFD ou SSD), ainsi que la courbe de défaillance temps/courant (combustion) de la MOV à l'intérieur du parafoudre. Pour la coordination du fonctionnement entre la MOV du parafoudre et les déconnecteurs interne et externe du parafoudre (SFD ou SSD), il est nécessaire de confirmer que:

- La courbe caractéristique des déconnecteurs externes doit couper celle des déconnecteurs internes pour couvrir l'ensemble de la plage des courants de défaillance.
- Les courbes caractéristiques des deux déconnecteurs interne et externe doivent être en bas à gauche de la courbe de défaillance (combustion) de la MOV afin d'interrompre le circuit avant la défaillance de la MOV (combustions).



Anglais	Français
Current	Courant
SPD external disconnector	Déconnecteur externe du parafoudre
MOV	MOV
SPD internal disconnector	Déconnecteur interne du parafoudre
Time	Temps

Légende

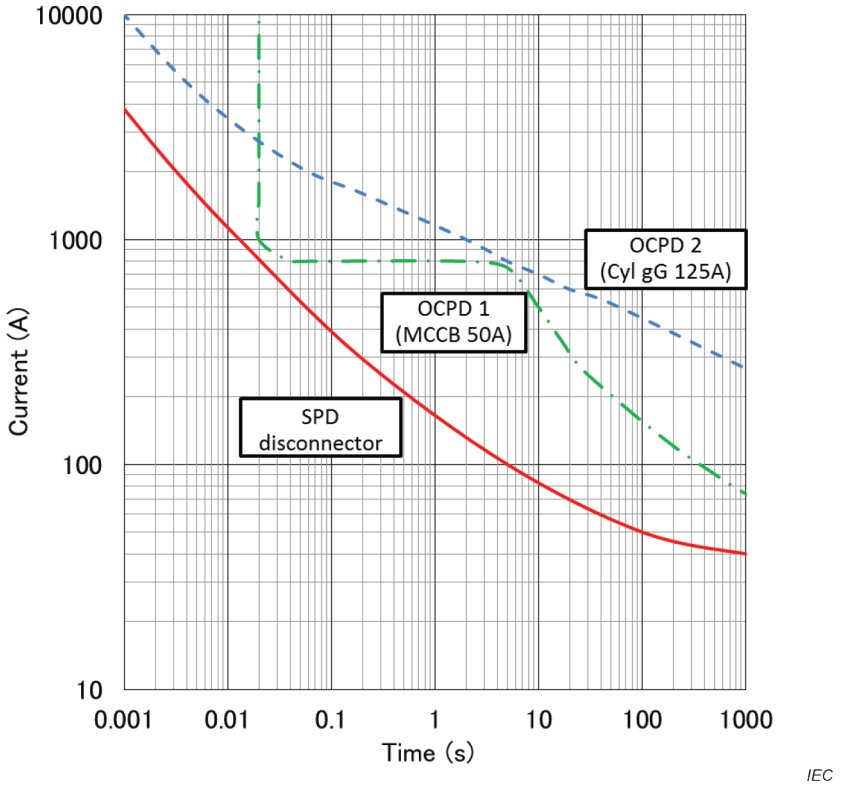
Courbe verte Courbe de défaillance (combustion) courant/temps de la MOV

Courbe rouge Courbe caractéristique courant/temps du déconnecteur externe du parafoudre

Courbe bleue Courbe caractéristique courant/temps du déconnecteur interne du parafoudre

Figure N.1 – Schéma de coordination des déconnecteurs interne et externe du parafoudre avec la varistance à oxyde métallique (MOV)

La Figure N.2 donne un exemple des caractéristiques temps/courant du dispositif de protection contre les surintensités (OCPD) et d'un déconnecteur de parafoudre. Si un disjoncteur boîtier moulé de 50 A ou un fusible gG de 125 A est installé en tant qu'OCPD comme cela est représenté à la Figure 18, il convient que le déconnecteur de parafoudre fonctionne plus rapidement que l'OCPD, c'est-à-dire qu'il convient que la caractéristique temps/courant du déconnecteur de parafoudre se trouve à gauche en dessous de celle de l'OCPD.



Anglais	Français
Current	Courant
Time	Temps
SPD disconnector	Déconnecteur de parafoudre

Légende

Courbe verte Courbe temps/courant du disjoncteur boîtier moulé de 50 A

Courbe rouge Courbe caractéristique courant/temps du fusible Cyl Gg de 125 A

Courbe bleue Courbe caractéristique courant/temps du déconnecteur externe du parafoudre

Figure N.2 – Exemple de caractéristiques temps/courant des déconnecteurs de parafoudre

Annexe O
(informative)

Méthodes pratiques d'essai du niveau d'immunité du réseau dans les conditions de décharge de foudre

O.1 Généralités

Les méthodes d'essai suivantes peuvent être utilisée pour évaluer le niveau d'immunité de l'ensemble du réseau.

O.2 Essai de courant de décharge du parafoudre dans les conditions normales de service

a) Avant l'essai de niveau d'immunité du réseau:

   Il convient de déterminer l'immunité du matériel à protéger. Pour les matériels connectés aux lignes de puissance, l'IEC 60664-1 et l'IEC 61643-12 sont utilisées, et pour les matériels connectés aux lignes de télécommunication, l'IEC 61643-22, l'UIT-T K.20, K.21 et K.45 sont utilisées.

   Il convient de déterminer la protection assurée par les parafoudres à l'aide des procédures d'essai décrites dans les normes d'essai et de performances IEC 61643-11 ou IEC 61643-21.

b) Il convient de soumettre à l'essai le matériel à protéger avec les parafoudres installés selon les instructions du fabricant. Il convient de mettre le matériel sous tension à sa tension d'alimentation nominale et de le soumettre au courant nominal de décharge assigné du parafoudre. Le cas échéant, il convient de connecter les circuits supplémentaires (des lignes de communication, des capteurs, des moteurs, par exemple).

c) La Figure O.1 donne un exemple de circuit utilisé pour procéder aux essais de courant de décharge dans les conditions normales de service.

O.3 Essai d'induction due aux courants de foudre

a) Il convient d'injecter les courants de choc dans une plaque de montage métallique afin d'examiner le comportement de l'ensemble du système en cas de champs électromagnétiques générés par la décharge de foudre simulée.

b) Le système en essai doit être installé de manière aussi réaliste que possible. Il convient que l'installation simulée inclue le matériel à protéger, les parafoudres installés et la longueur et le type réels des lignes d'interconnexion.

c) Les courants de choc induits obtenus dans le câblage de l'ensemble du système doivent être surveillés.

d) Il convient que les caractéristiques et les valeurs applicables de la décharge de courant de foudre primaire soient conformes à celles indiquées dans l'IEC 62305-1:2010, Tableau C.3.

e) La Figure O.2 donne un exemple d'essai d'induction lorsque des parafoudres de classe II sont installés sur le réseau de puissance et commande.

O.4 Classification d'essai recommandée du niveau d'immunité du système (IEC 61000-4-5 suivante)

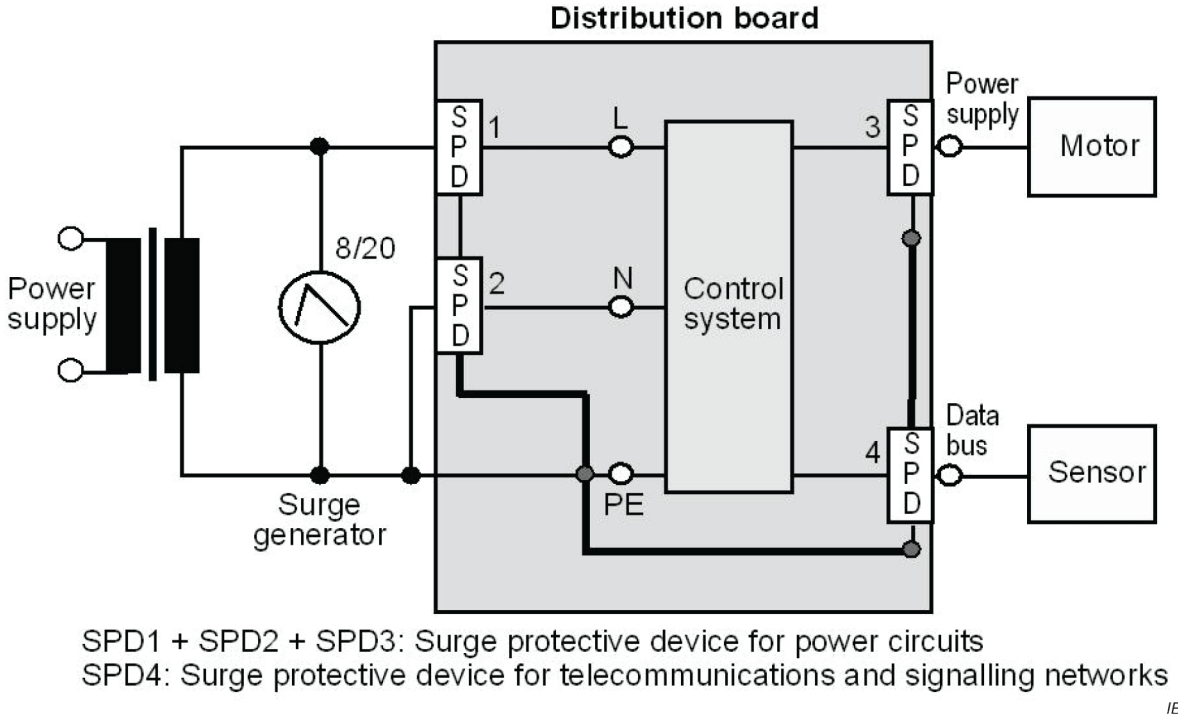
Cette norme définit les critères de réussite suivants:

a) Les performances normales dans les limites spécifiées par les fabricants

b) La perte temporaire de fonction ou la dégradation temporaire des performances cessant après la disparition de la perturbation, le matériel soumis à l'essai retrouvant alors ses performances normales sans l'intervention d'un opérateur

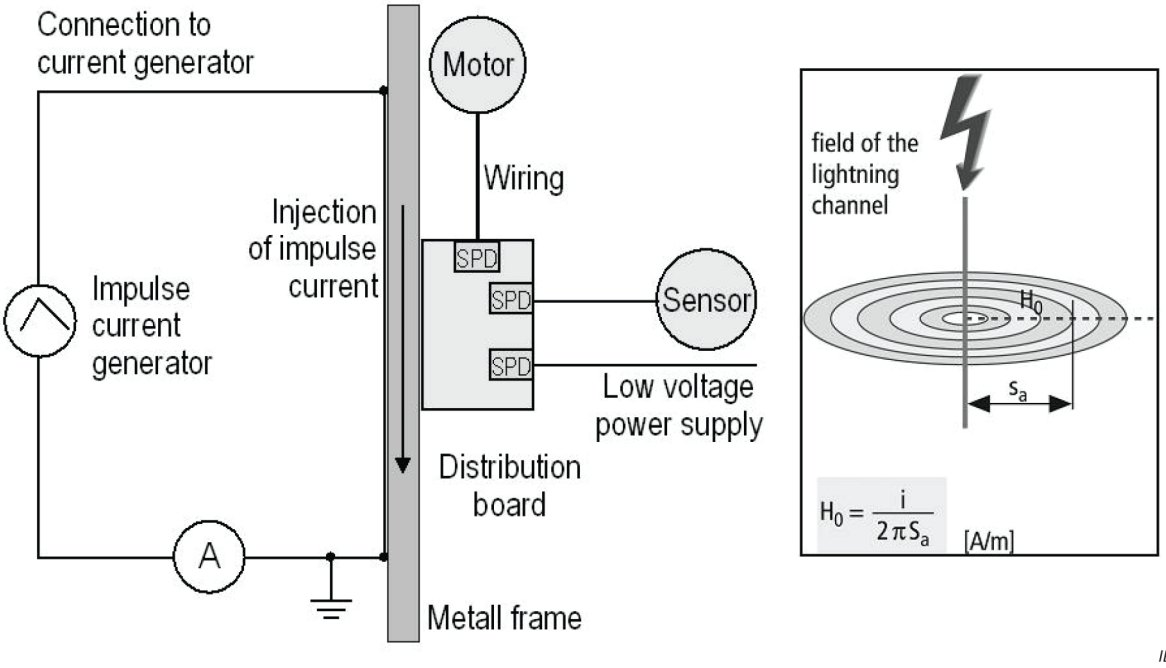
c) La perte temporaire de fonction ou la dégradation temporaire des performances exigeant l'intervention d'un opérateur

d) La perte de fonction ou la dégradation des performances non récupérable, due à une avarie du matériel ou du logiciel ou à une perte de données.



Anglais	Français
Distribution board	Tableau de distribution
Power supply	Alimentation
SPD	Parafoudre
Motor	Moteur
Control system	Système de commande
Surge generator	Générateur d'onde
Data bus	Bus de données
Sensor	Capteur
Surge protective device for power circuits	Parafoudre pour les circuits de puissance
Surge protective device for telecommunications and signalling networks	Parafoudre pour les réseaux de télécommunication et de signalisation

Figure O.1 – Exemple de circuit utilisé pour procéder aux essais de courant de décharge dans les conditions normales de service



Anglais	Français
Connection to current generator	Connexion au générateur de courant
Motor	Moteur
Wiring	Câblage
field of the lightning channel	champ du canal de foudre
Injection of impulse current	Injection du courant de choc
Impulse current generator	Générateur de courant de choc
Sensor	Capteur
SPD	Parafoudre
Low voltage supply	Alimentation à basse tension
Distribution board	Tableau de distribution
Metal frame	Châssis métallique

Figure O.2 – Exemple de circuit d'un essai d'induction due à des courants de foudre

Annexe P
(informative)

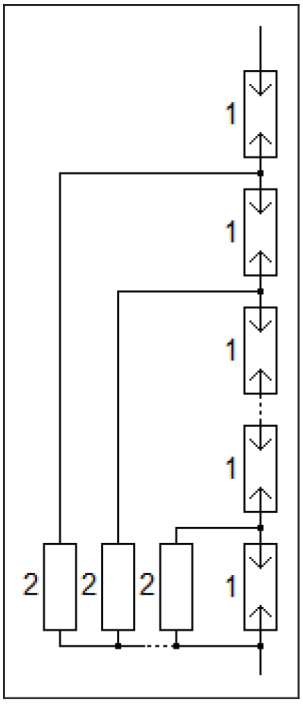
Guide d'essai des parafoudres contenant plusieurs composants

P.1 Généralités

La présente Annexe donne des recommandations relatives aux chemins de courant qui doivent être soumis à l'essai pour différents exemples de parafoudres contenant plusieurs composants. Les parafoudres peuvent devoir être modifiés pour permettre de procéder à cet essai sélectif. Les exigences de préparation des échantillons ont été développées sur la base des dispositions de principe des composants les plus souvent utilisés dans les parafoudres. Aujourd'hui, des circuits de parafoudre de plus en plus complexes font leur entrée sur le marché, ce qui soulève des questions quant à la manière d'appliquer correctement ces exigences de préparation des échantillons en fonction des intentions de départ. Le présent document portant uniquement sur les composants non linéaires, sans se préoccuper de savoir si ces composants peuvent écouler une partie significative du courant de choc ou ce qui pourrait se passer si ces composants venaient à être défaillants, des recommandations supplémentaires sont nécessaires. Ces types de recommandations sont très difficiles à donner de manière générale, car de nouvelles conceptions de circuits apparaissent de temps à autre. Par conséquent, les exemples suivants doivent guider les fabricants et les ingénieurs d'essai à prendre les décisions les plus pertinentes en matière de préparation des échantillons.

P.2 Exemple d'éclateurs multiples en série avec commande de déclenchement ohmique/capacitif

Un exemple d'éclateurs multiples en série avec commande de déclenchement ohmique/capacitif est représenté à la Figure P.1.



Légende

1 éclateurs

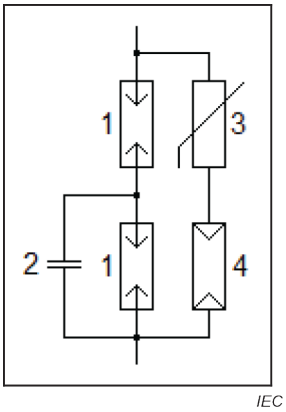
2 commande de déclenchement résistif ou capacitif

Figure P.1 – Exemple d'éclateurs multiples en série avec commande de déclenchement ohmique/capacitif

Les éclateurs connectés en série sont les seuls chemins de courant à soumettre à l'essai. Les circuits de commande de division en tension/de déclenchement ohmique ou capacitif ne constituent pas un chemin de courant séparé au sens du présent document, car ils ne contiennent ni composant non linéaire ni ne prélèvent une partie significative du courant.

P.3 Exemple de 2 éclateurs en série avec commande de déclenchement capacitif et montage en série raccordé en parallèle de GDT + MOV

Un exemple de 2 éclateurs en série avec commande de déclenchement capacitif et montage en série raccordé en parallèle de GDT + MOV est représenté à la Figure P.2.



Légende

1 éclateurs

2 commande de déclenchement résistif ou capacitif

3 MOV

4 GDT

Figure P.2 – 2 éclateurs en série avec commande de déclenchement capacitif

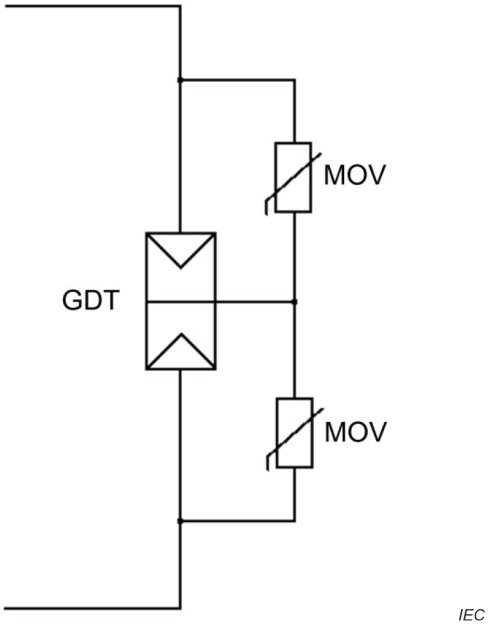
Les 2 éclateurs raccordés en série constituent le chemin de courant principal qu'il est nécessaire de prendre en considération pour les essais.

Il est nécessaire de prendre en considération le chemin de courant parallèle à travers le montage en série du GDT et de la ou des MOV pour des essais séparés, étant donné que la partie du courant qui traverse ce montage en série de GDT et de MOV est difficile, voire impossible, à déterminer et que le présent document ne précise aucune limite pour cette fraction de courant.

Le circuit de commande de déclenchement capacitif ne constitue pas un chemin de courant séparé au sens du présent document, car il ne contient ni composant non linéaire ni ne prélève une partie significative du courant.

P.4 Exemple de GDT à 3 électrodes avec commande de dérivation/déclenchement parallèle avec MOV

Un exemple de GDT à 3 électrodes avec commande de dérivation/déclenchement parallèle avec MOV est représenté à la Figure P.3.



Légende

GDT GDT à 3 électrodes

MOV dérivation "haute énergie"

Figure P.3 – Exemple de GDT à 3 électrodes avec commande de dérivation/déclenchement parallèle avec MOV

Le GDT à 3 électrodes constitue un chemin de courant qu'il est nécessaire de prendre en considération pour les essais.

Il est nécessaire de prendre en considération le chemin de courant parallèle à travers le montage en série des MOV pour des essais séparés, étant donné qu'une partie de courant significative peut être attendue à travers ces MOV connectées en série jusqu'à ce que le GDT fonctionne.

P.5 Exemple d'éclateur à 4 électrodes avec commande de déclenchement GDT + MOV

Un exemple de MOV à 4 électrodes avec commande de déclenchement avec GDT + MOV est représenté à la Figure P.4.

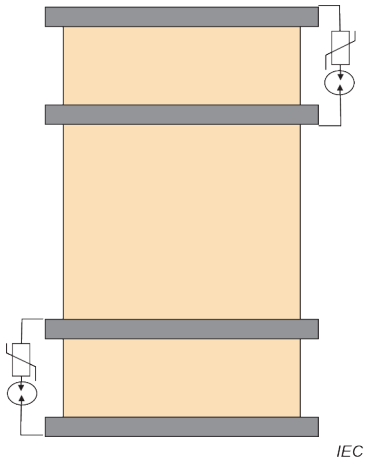


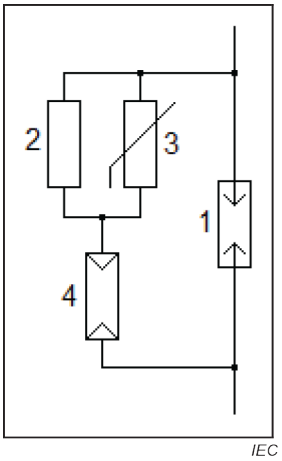
Figure P.4 – Éclateur à 4 électrodes avec commande de déclenchement GDT + MOV

L'éclateur à 4 électrodes constitue le chemin de courant principal qu'il est nécessaire de prendre en considération pour les essais.

Il n'est pas nécessaire de prendre en considération le chemin de courant parallèle fractionnel vers les sections uniques de cet éclateur à 4 électrodes à travers le GDT et la MOV connectés en série, bien que contenant des composants non linéaires, étant donné qu'ils ne constituent pas un chemin de courant parallèle vers le composant principal, c'est-à-dire l'éclateur à 4 électrodes.

P.6 Exemple d'éclateur en parallèle avec un GDT et MOV connectés en série

Un exemple d'éclateur en parallèle avec un GDT et MOV connectés en série est représenté à la Figure P.5.



Légende

1 éclateur

2 résistance

3 MOV

4 GDT

Figure P.5 – Éclateur en parallèle avec un GDT et MOV connectés en série

Le GDT constitue un chemin de courant qu'il est nécessaire de prendre en considération pour les essais.

Il est nécessaire de prendre en considération le chemin de courant parallèle à travers le montage en série MOV plus GDT pour des essais séparés, étant donné que la partie de courant significative peut être attendue à travers ces MOV connectées en série.

P.7 Exemple d'éclateur à 3 électrodes avec transformateur de déclenchement

Un exemple d'éclateur à 3 électrodes avec transformateur de déclenchement est représenté à la Figure P.6.

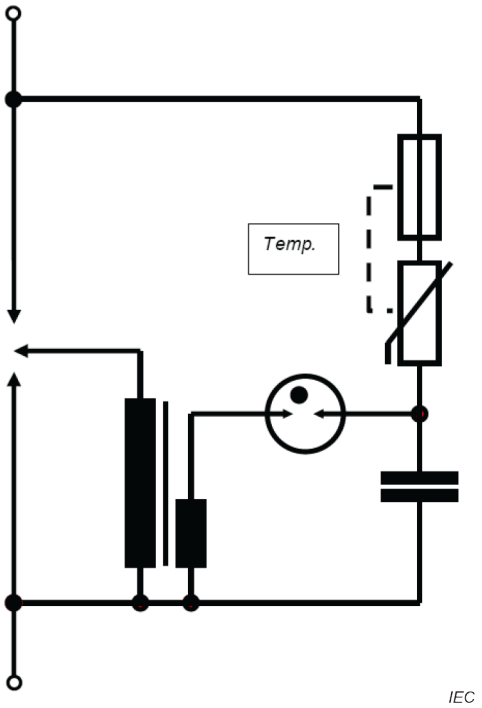


Figure P.6 – Éclateur à 3 électrodes avec transformateur de déclenchement

L'éclateur à 3 électrodes constitue le chemin de courant principal qu'il est nécessaire de prendre en considération pour les essais.

Le chemin de courant parallèle à travers le montage en série de la MOV et du transformateur de déclenchement/condensateur est limité en courant par les composants linéaires. Il n'est donc pas nécessaire de le prendre en considération pour des essais séparés, étant donné qu'absolument aucune partie significative du courant n'est prévue à travers ces circuits.

Annexe Q
(informative)

Exceptions aux États-Unis en matière de parafoudres soumis aux essais de Classe I

Aux États-Unis, les parafoudres soumis à l'essai de Classe I ne sont pas exigés. Cette exception s'applique à l'ensemble du document.

Bibliographie

[1] IEC 60038, *Tensions normales de l'IEC*

[2] Série IEC 60269, *Fusible basse tension*

[3] IEC 60364-4-42, *Installations électriques basse tension – Partie 4-42: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les effets thermiques*

[4] IEC 60364-4-43, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-43: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les surintensités*

[5] IEC 60898-1, *Petit appareillage électrique – Disjoncteurs pour la protection contre les surintensités pour installations domestiques et analogues – Partie 1: Disjoncteurs pour le fonctionnement en courant alternatif*

[6] IEC 60947-2, *Appareillage à basse tension – Partie 2: Disjoncteurs*

[7] IEC 60060-1, *Technique des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

[8] IEC 62305-3:2010, *Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains*

[9] IEC TR 61000-5-6:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-6: Installation and mitigation guidelines – Mitigation of external EM influences*

[10] IEC 61008-1, *Interrupteurs automatiques à courant différentiel résiduel sans dispositif de protection contre les surintensités incorporé pour usages domestiques et analogues (ID) – Partie 1: Règles générales*

[11] IEC 61009-1, *Interrupteurs automatiques à courant différentiel résiduel avec dispositif de protection contre les surintensités incorporé pour usages domestiques et analogues (DD) – Partie 1: Règles générales*

[12] IEC TR 62066:2002, *Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems – General basic information*

[13] IEC 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

[14] IEC 60050-442:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 442: Petit appareillage*

[15] IEC 60050-826:2004, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 826: Installations électriques*

[16] IEC 60099-4:2014, *Parafoudres – Partie 4: Parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour réseaux à courant alternatif*

[17] IEC 60099-5, *Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations*

[18] IEC 61936-1, *Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV – Partie 1: Règles communes*

[19] IEC 61643-21, *Parafoudres basse tension – Partie 21: Parafoudres connectés aux réseaux de télécommunications – Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais*

[20] IEC 61643-22, *Parafoudres basse tension – Partie 22: Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Principes de choix et d'application*

[21] IEC 61643-321, *Composants pour parafoudres basse tension – Partie 312: Spécifications pour les diodes à avalanche (ABD)*

[22] IEC 61643-331, *Composants pour parafoudres basse tension – Partie 331: Exigences de performances et méthodes d'essai pour varistances à oxyde métallique (VOM)*

[23] IEC 61643-341, *Composants pour parafoudres basse tension – Partie 341: Spécifications pour les parafoudres à thyristor*

[24] IEC 62305-3:2010, *Protection contre la foudre – Partie 3: Dommages physiques sur les structures et risques humains*

[25] IEC 62561-6, *Composants des systèmes de protection contre la foudre (CSPF) – Partie 6: Exigences pour les compteurs de coups de foudre (LSC)*

[26] IEEE 1159-2009, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*

[27] IEEE C62.41.1-2002, *IEEE Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits*

[28] IEEE C62.41.2, *IEEE recommended practice on characterization of surges in low-voltage (1000 V and less) AC power circuits*

[29] IEEE C62.72-2016, *IEEE Guide for the Application of Surge-Protective Devices for Use on the Load Side of Service Equipment in Low-Voltage (1000 V or Less, 50 Hz or 60 Hz) AC Power Circuits*

[30] A. ROUSSEAU, P. AURIOL, A. RAKOTOMALALA, Lightning distribution through earthing systems, Hobart Lightning Protection Workshop, 1992

[31] H. ALTMAIER, D. PELZ, K. SCHEIBE, Computer simulation of surge voltage protection in low voltage systems, ICLP, 1992

[32] M. CLEMENT, J. MICHAUD, Overvoltages on the low voltage distribution networks, CIRED, 1993

[33] J. SCHONAU, F. NOACK, R. BROCKE, Coordination of fuses and overvoltages protection devices in low voltage mains. Fifth International Conference on Electrical Fuses and their Applications, 1995

[34] P. HASSE, P. ZAHLMANN, J. WIESINGER, W. ZISCHANK, Principle for an advanced coordination of surge protective devices in low voltage systems, ICLP 1994

[35] A. ROUSSEAU, T. PERCHE, Coordination of surge arresters in the low voltage field, INTELEC, 1995

[36] F. MARTZLOFF, J.S. LAI, Coordinating cascaded surge protective devices: high-low versus low-high, IEEE IAS, 1991

[37] J. HUSE et al., Coordination of surge protective devices in power supply systems: need for a secondary protection, ICLP, 1992

[38] A. ROUSSEAU, Choice of low voltage surge arresters based on risk analysis, Power Quality, 1995

[39] A. ROUSSEAU, V. CREVENAT, Protective levels at equipment terminals for various SPDs, GROUND, 2010

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch