INSO
4123
1st. Revision
2020
Modification of
BS 7430: 2011
+A1: 2015

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۴۱۲۳
تجدیدنظر اول
۱۳۹۸

زمین حفاظتی تأسیسات الکتریکی - آیین کار

Protective earthing of electrical installations - code of practice

ICS:13.260; 29.240.01

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۴۱۲۳ (تجدیدنظر اول): سال ۱۳۹۸

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به‌عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«زمین حفاظتی تأسیسات الکتریکی - آیین کار»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
سعیدی، علی (کارشناسی ارشد مهندسی برق)	مدیرعامل- شرکت توزیع نیروی برق مشهد
دبیر:	
قاسم پور، مهران (کارشناسی مهندسی برق)	معاونت بهینه‌سازی و کاهش تلفات انرژی- شرکت توزیع نیروی برق مشهد
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
ابوترابی زارچی، حسین (دکتری مهندسی برق)	عضو هئیت علمی دانشکده مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد
اصغری مقدم (کارشناسی مهندسی برق)	مدیرعامل- شرکت سما صنعت توس
پور اصغر خمامی، حسین (کارشناسی مهندسی برق)	دبیر- انجمن صنفی مهندسان برق خراسان رضوی
پورباقری شهری، محمود (کارشناسی ارشد مهندسی برق)	معاونت مهندسی- شرکت توزیع نیروی برق مشهد
حسینی مقدم، علی (کارشناسی مهندسی برق- مخابرات)	کارشناس –اداره کل استاندارد خراسان رضوی
خزاعی، امیر (دکتری مهندسی برق)	کارشناس- شرکت توزیع نیروی برق مشهد
دلاوری پور، حسین (دکتری مهندسی برق)	کارشناس- شرکت توزیع نیروی برق مشهد
رستم زاده، جواد (کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک)	کارشناس - اداره کل استاندارد خراسان رضوی
رضایی، مجید (کارشناسی ارشد مهندسی برق)	مدیر گروه پژوهشی فشار قوی- پژوهشگاه نیرو

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
ریاحی، رضا (کارشناسی ارشد مهندسی برق)	مدیرعامل- شرکت برق منطقه‌ای خراسان
سیار، آرزو (کارشناسی مهندسی برق)	انجمن دارندگان نشان استاندارد
طاهری، محمود رضا (دکتری مدیریت کسب و کار)	مدیرکل – اداره کل استاندارد تهران
عباس نژاد مود، مریم (کارشناسی مهندسی برق)	شرکت مهندسی مشاور نیروی خراسان (منیران)
کریمیان جوزان، مجید (کارشناسی مهندسی برق)	مدیرعامل- شرکت شید انرژی هوشمند خراسان
نیاستی، محسن (دکتری مهندسی برق)	رئیس کارگروه تدوین استاندارد- سندیکای صنعت برق ایران

ویراستار:

حسینی، ابراهیم (کارشناسی فیزیک)	کارشناس استاندارد- بازنشسته سازمان ملی استاندارد ایران

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ط
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۵
۴ اصول اجرای زمین ۸
۵ واسط فشار قوی/فشار ضعیف HV/LV ۱۴
۶ تأسیسات فشار ضعیف ۱۴
۷ مولدها ۲۳
۸ تأسیسات خاص ۳۴
۹ سیستم‌های الکترود زمین ۳۹
۱۰ بازرسی و آزمون سیستم زمین ۷۸
پیوست الف (آگاهی دهنده) راهنمای واسط‌های نوعی HV/LV ۹۴
پیوست ب (آگاهی دهنده) نصب ساده نوعی سیستم زمین برای یک پست LV کوچک ۱۰۰
پیوست پ (الزامی) تغییرات اعمال شده در این استاندارد ملی در مقایسه با استاندارد منبع ۱۰۳
کتاب‌نامه ۱۰۵
شکل ۱ سیستم TN-S ۱۰
شکل ۲ سیستم TN-C ۱۱
شکل ۳ سیستم TN-C-S ۱۱
شکل ۴ سیستم TT ۱۲
شکل ۵ سیستم IT ۱۳
شکل ۶ ترتیب اتصال به زمین و هادی‌های حفاظتی برای تأسیسات مصرف‌کننده ۱۷
شکل ۷ مولدهای تک فاز فشار ضعیف کوچک به‌عنوان یک سیستم شناور ۲۴
شکل ۸ مولدهای فشار ضعیف کوچک برای تغذیه تأسیسات نصب ثابت ۲۶
شکل ۹ مولدهای زمین نشده کوچک تغذیه‌کننده‌ی یک واحد سیار یا قابل جابجایی ۲۷
شکل ۱۰ مولدهای فشار ضعیف پشتیبان با کلید زنی نقطه ستاره ۳۰
شکل ۱۱ مولدهای فشار ضعیف پشتیبان با ترانسفورماتورهای زمین کننده‌ی نقطه‌ی خنثی ۳۱
شکل ۱۲ مولدهای فشار ضعیف پشتیبان تکی (بدون امکانات موازی کردن) ۳۲
شکل ۱۳ اندازه‌گیری مقاومت ویژه زمین ۴۳
شکل ۱۴ امپدانس زمین الکترودهای زمین افقی دفن شده در خاک همگن ۴۴
شکل ۱۴-الف اثر فاصله بین الکترود بر مقاومت ترکیبی ۴۵

عنوان **صفحه**

شکل ۱۵ پیکربندی‌های الکترودی متفرقه ۴۹
شکل ۱۶ پتانسیل‌های سطح زمین در اطراف یک میله منفرد و سه میله هم‌راستا ۵۷
شکل ۱۷ اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک ۸۱
شکل ۱۸ اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک با یک میله ۸۲
شکل ۱۹ اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین ۸۵
شکل ۲۰ منحنی‌های مقاومت زمین ۸۵
شکل ۲۱ تجهیز اندازه‌گیری ۳ ترمینالی با کلمپ CT ۸۸
شکل ۲۲ تستر کلمپی ۸۸
شکل ۲۳ آزمون ۱۸۰°/۹۰° ۹۰
شکل ۲۴ نتایج آزمون نوعی ۱۸۰°/۹۰° ۹۰
شکل الف-۱ سیستم TN-S با زمین‌های جدا از هم تجهیزات HV و خنثی LV ۹۴
شکل الف-۲ سیستم TN-S با زمین مشترک تجهیزات HV و خنثی LV ۹۵
شکل الف-۳ زمین‌های مجزا شده HV و LV ۹۶
شکل الف-۴ تغذیه کلید HV خارجی ۹۷
شکل الف-۵ واسط HV/LV بیرونی مشترک برای تغذیه چندین ساختمان ۹۸
شکل الف-۶ واسط HV/LV بیرونی و مولد پشتیبان ۹۹
شکل ب-۱ آرایش فرضی الکترود برای یک پست کوچک با مقاومت ویژه خاک ۳۵۰ Ωm ۱۰۰
جدول ۱ مثال‌هایی از مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر(Ωm) ۴۲
جدول ۲ فاکتورها برای الکترودهای عمودی چیده شده در یک مربع توخالی ۵۱
جدول ۳ میانگین فاصله هندسی z برای میله‌های تقویت‌کننده با فاصله نزدیک در یک الگوی متقارن ۵۴
جدول ۴ چگالی‌های جریان خطای اتصال به زمین در مدت‌زمان یک ثانیه، برای هادی‌های زمین با دمای اولیه ۳۰ °C ۶۱
جدول ۵ جریان‌های خطای اتصال به زمین (برحسب kA) برای هادی‌های زمین نواری (تسمه‌ای) مسی ۶۲
جدول ۶ جریان‌های خطای اتصال به زمین (برحسب kA) برای هادی‌های زمین تسمه‌ای آلومینیومی ۶۳
جدول ۷ مقادیر K و β ۶۳
جدول ۸ مقاومت در برابر خوردگی برخی جنس الکترودها نسبت به پارامترهای خاک ۷۲
جدول ۹ تناسب مواد برای اتصال با هم ۷۳
جدول ۱۰ اندازه‌های حداقلی قطعات برای الکترودهای زمین ۷۳

عنوان **صفحه**

جدول ۱۱ مواد توصیه‌شده برای ساخت قطعات زمین ۷۵
جدول ۱۲ آزمون ٪ ۶۱٫۸ - فاصله پروب برای شبکه‌هایی با اندازه‌های مختلف ۸۷
جدول ۱۳ نمونه فرم بازرسی تأسیسات نیروگاهی زمینی ۹۲
جدول ۱۴ قرائت‌های قابل‌قبول همبندی در داخل پست‌های توزیع ۹۳

پیش‌گفتار

استاندارد «آیین کار زمین حفاظتی تأسیسات الکتریکی» که نخستین‌بار در سال ۱۳۷۵ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد پ، بند ۷، استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ برای اولین بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در یک‌هزار و دویست و چهل و هفتمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد برق و الکترونیک مورخ ۱۳۹۸/۱۱/۲۹ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط موردتوجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۴۱۲۳: سال ۱۳۷۵می‌شود.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد زیر به روش «ترجمهٔ تغییر یافته» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی همراه با اعمال تغییرات با توجه به مقتضیات کشور است:

BS 7430: 2011+A1: 2015, Code of practice for protective earthing of electrical installations

زمین حفاظتی تأسیسات الکتریکی - آیین کار

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه توصیه‌ها و راهنمایی‌ها به‌منظور رعایت الزامات زمین برای تأسیسات الکتریکی است که شامل موارد زیر می‌باشد:

الف- زمین حفاظتی تأسیسات فشار ضعیف مطابق با استاندارد BS 7671: 2008 + A3:2015؛

ب- واسط زیرسیستم‌های LV[1] و HV[2] پست‌های توزیع نیروی برق مطابق با استاندارد BS EN 61936-1: 2010+A1:2014 در داخل ساختمان پست؛

پ- چیدمان زمین حفاظتی و کلید تغییر وضعیت برای مولدهایی که تأسیسات فشار ضعیف را تغذیه می‌کنند.

به‌طورکلی اجرای زمین یک سیستم یا تأسیسات به دلایل ایمنی انجام می‌شود.

این استاندارد فقط برای تأسیسات زمینی در داخل و اطراف ساختمان‌ها به کار می‌رود. این استاندارد برای موارد زیر کاربرد ندارد:

۱- کشتی‌ها، هواپیما یا تأسیسات فراساحلی؛

۲- اجرای زمین تجهیزات پزشکی (به استاندارد BS EN 60601 (همه قسمت‌ها) مراجعه شود)؛

۳- مشکلات ویژه در مواجهه با قطعات الکترونیکی حالت‌جامد؛

۴- تجهیزات حساس به الکتریسیته ساکن؛

۵- الزامات برای اتصال زمین عملیاتی[3]؛

۶- اجرای زمین خطوط هوایی بین تأسیسات الکتریکی؛

۷- اجرای زمین داخلی تجهیز.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به‌صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده‌شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط، جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

1 - Low voltage
2 - High voltage
3 - Functional earthing

درصورتی‌که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده‌شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده‌شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 BS 215-2:1970, Specification for aluminium conductors and aluminium conductors, steel-reinforced for overhead power transmission – Aluminium conductors, steel-reinforced

2-2 BS 729, Specification for hot dip galvanized coatings on iron and steel articles

2-3 BS 951, Electrical earthing – Clamps for earthing and bonding – Specification

2-4 BS 1400, Specification for copper alloy ingots and copper alloy and high conductivity copper castings

2-5 BS 1449:1991 (all parts), Steel plate, sheet and strip

2-6 BS 1473:1972, Specification for wrought aluminium and aluminium alloys for general engineering purposes – Rivet, bolt and screw stock

2-7 BS 1474:1987, Specification for wrought aluminium and aluminium alloys for general engineering purposes: bars, extruded round tubes and sections

2-8 BS 1561:1997, Founding – Grey cast irons

2-9 BS 1562:1997, Founding – Malleable cast irons

2-10 BS 1377-3, Methods of test for soils for civil engineering purposes – Part 3: Chemical and electro-chemical tests

2-11 BS 2871-1:1971, Specification for copper and copper alloys – Tubes – Part 1: Copper tubes for water, gas and sanitation

2-12 BS 2871-2:1972, Specification for copper and copper alloys – Tubes – Part 2: Tubes for general purposes

2-13 BS 2871-3:1972, Specification for copper and copper alloys – Tubes – Part 3: Tubes for heat exchangers

2-14 BS 2873:1969, Specification for copper and copper alloys – Wire

2-15 BS 2874:1986, Specification for copper and copper alloy rods and sections (other than forging stock)

2-16 BS 3288-1, Insulator and conductor fittings for overhead power lines – Part 1: Performance and general requirements

2-17 BS 7375, Distribution of electricity on construction and demolition sites – Code of practice

2-18 BS 7671:2008+A3:2015, Requirements for Electrical Installations – IEE Wiring Regulations – Seventeenth edition

2-19 BS EN 485-2:2008, Aluminium and aluminium alloys – Sheet, strip and plate – Part 2: Mechanical properties

2-20 BS EN 586-2:1994, Aluminium and aluminium alloys – Forgings – Part 2: Mechanical properties and additional property requirements

2-21 BS EN 755-2:2008, Aluminium and aluminium alloys – Extruded rod/bar, tube and profiles – Part 2: Mechanical properties

2-22 BS EN 1011-4, Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 4: Arc welding of aluminium and aluminium alloys

2-23 BS EN 1652:1998, Copper and copper alloys – Plate, sheet, strip and circles for general purposes

2-24 BS EN 1780-1:2002, Aluminium and aluminium alloys – Designation of alloyed aluminium ingots for remelting, master alloys and castings – Part 1: Numerical designation system

2-25 BS EN 1982:2008, Copper and copper alloys – Ingots and castings

2-26 BS EN 10025-2:2004, hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels

2-27 BS EN 10088-1:2005, Stainless steels – List of stainless steels

2-28 BS EN 10263-4:2001, Steel rod, bars and wire for cold heading and cold extrusion – Technical delivery conditions for steels for quenching and tempering

2-29 BS EN 12163:2011: Copper and copper alloys – Rod for general purposes

2-30 BS EN 12165:2011, Copper and copper alloys – Wrought and unwrought forging stock

2-31 BS EN 12167:2011, Copper and copper alloys – Profiles and bars for general purposes

2-32 BS EN 12420:1999, Copper and copper alloys – Forgings

2-33 BS EN 12449:1999, Copper and copper alloys – Seamless, round tubes for general purposes

2-34 BS EN 13601:2002, Copper and copper alloys – Copper rod, bar and wire for general electrical purposes

2-35 BS EN 50122-1, Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit – Part 1: Protective provisions against electric shock

یادآوری– استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۱۸۴۴ : سال ۱۳۹۴، کاربردهای راه‌آهن- تأسیسات ثابت- ایمنی الکتریکی ایمنی - اتصال به زمین و مدار بازگشتی- قسمت ۱: حفاظت مجاز در برابر شوک‌های الکتریکی، با استفاده از استاندارد BS EN 50122-1 تدوین‌شده است.

2-36 BS EN 50122-2, Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit – Part 2: Provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems

2-37 BS EN 50522:2011, Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.

2-38 BS EN 60228:2005, Conductors of insulated cables

یادآوری– استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۸۴ : سال ۱۳۸۷، هادی‌های کابل‌های عایق شده، با استفاده از استاندارد BS EN/IEC 60228:2004 تدوین‌شده است.

2-39 BS EN 60309/IEC 60309 (all parts), Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes

یادآوری- مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۷۲۱۲، چند شاخه‌ها، پریزها و اتصال‌دهنده‌ها برای مصارف صنعتی، با استفاده از برخی قسمت‌های مجموعه استاندارد BS EN 60309/IEC 60309، تدوین شده است.

2-40 BS EN 61010 (all parts), Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use

یادآوری- مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۴۲۳۲، الزامات ایمنی تجهیزات الکتریکی برای استفاده در اندازه‌گیری، کنترل و آزمایشگاه، با استفاده از برخی قسمت‌های مجموعه استاندارد BS EN 61010، تدوین شده است.

2-41 BS EN 61140, Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۴۸: سال ۱۳۹۵، حفاظت در برابر شوک الکتریکی- جنبه‌های عمومی برای تأسیسات و تجهیزات، با استفاده از استاندارد BS EN 61140:2016 تدوین‌شده است.

2-42 BS EN 61557/IEC 61557 (all parts), Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures

یادآوری- مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۱۷۳، ایمنی الکتریکی در سیستم‌های توزیع فشار ضعیف تا ۱۰۰۰ Va.c و ۱۵۰۰V d.c- تجهیزات برای آزمون ،اندازه‌گیری یا پایش معیارهای حفاظت ، با استفاده از برخی قسمت‌های مجموعه استاندارد BS EN 61557، تدوین شده است.

2-43 BS EN 61936-1:2010+A1:2014, Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules

2-44 BS EN 62305-2, Protection against lightning – Part 2: Risk management

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۶۲۳۰۵ : سال ۱۳۹۲، حفاظت در برابر آذرخش- قسمت ۲: مدیریت ریسک، با ستفاده از استاندارد BS EN 62305-2:2010 تدوین‌شده است.

2-45 BS EN 62305-3, Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۶۲۳۰۵ : سال ۱۳۹۲، حفاظت در برابر آذرخش- قسمت ۳: آسیب فیزیکی به ساختمان‌ها و خطرات انسان، با استفاده از استاندارد BS EN 62305-3:2010 تدوین‌شده است.

2-46 BS EN 62035-4, Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۴-۶۲۳۰۵ : سال ۱۳۹۲، حفاظت در برابر آذرخش- قسمت ۴: سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی درون ساختمان‌ها، با استفاده از استاندارد BS EN 62305-4:2010 تدوین‌شده است.

2-47 BS IEC 60050-195, International electrotechnical vocabulary – Part 195: Earthing and protection against electric shock

2-48 ER G59, Recommendations for the connection of embedded generating plant to the Regional Electricity Companies' distribution systems

2-49 ER G83, Recommendations for the Connection of Small-Scale Embedded Generators (Up To 16 A per Phase) In Parallel with Public Low-Voltage Distribution Networks

2-50 ER G84, Recommendations for the Connection of Mobile Generating Sets to Public Distribution Networks

2-51 ER S36-1, Identification and Recording of "Hot Sites" – Joint Electricity Industry/BT Procedure

2-52 ISO/IEC Guide 51, Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards

2-53 IEC 60050-604, International electrotechnical vocabulary – Part 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation

2-54 IEC Guide 104, the preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications

2-55 PD 970:2005, Wrought steels for mechanical and allied engineering purposes – Requirements for carbon, carbon manganese and alloy hot worked or cold finished steels

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استانداردهای BS 7671:2008+A3 و BS IEC 60050-195، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به‌کار می‌رود:

۳-۱

شبکه زمین

earth grid

الکترود زمین متشکل از دو گروه از الکترودهای دفنی موازی و افقی همپوشان که معمولاً به‌صورت تقریباً عمود بر هم قرارگرفته و در هر محل تقاطع متصل می‌شوند.

۳-۲

پتانسیل زمین

earth potential

پتانسیل الکتریکی نسبت به جرم کلی زمین که در داخل یا روی سطح زمین اطراف الکترود زمین، در اثر عبور یک جریان از الکترود به زمین ایجاد می‌شود.

۳-۳

افزایش پتانسیل زمین

earth potential rise

به ولتاژ بین سیستم زمین و زمین مرجع گفته می‌شود.

[منبع: استاندارد BS EN 50522:2011]

۴-۳

مقاومت زمین

earth resistance

به مقاومت الکتریکی الکترود زمین یا شبکه زمین نسبت به زمین مرجع گفته می‌شود.

۵-۳

سیستم زمین

earthing system

آرایشی از اتصالات و ابزارهای لازم برای زمین کردن تجهیز یا سیستم، به‌صورت مستقل یا متصل است.

[منبع: زیر بند 02-04-604 استاندارد IEC 60050-604]

۶-۳

سیستم زمین سراسری

global earthing system

سیستم زمین معادل متشکل از اتصال به هم سیستم‌های زمین محلی، که تضمین‌کننده عدم ایجاد ولتاژهای تماسی خطرناک در مجاورت این سیستم‌های زمین می‌باشد.

یادآوری ۱- این‌چنین سیستم‌هایی اجازه می‌دهند جریان خطای زمین توزیع شود تا از افزایش ولتاژ در سیستم محلی کاسته شود. می‌توان گفت این‌چنین سیستمی یک سطح شبه هم‌پتانسیل ایجاد می‌کند.

یادآوری ۲- در سیستم‌های نوعی، وجود سیستم زمین سراسری می‌تواند با انجام اندازه‌گیری‌های نمونه‌ای یا محاسبات تعیین شود. مثال‌های نوعی از سیستم زمین سراسری عبارت است از : مراکز شهری، نواحی شهری یا صنعتی با زمین توزیع‌شده در شبکه فشار ضعیف و فشار قوی.

[منبع: استاندارد BS EN 50522:2011]

۷-۳

سایت گرم

hot site

پستی که افزایش پتانسیل زمین آن می‌تواند در شرایط بیشینه خطای اتصال به زمین از مقادیر ۴۳۰ V یا ۶۵۰ V ، بسته به زمان رفع خطا، فراتر رود.

۸-۳

گرادیان پتانسیل (در یک نقطه)

potential gradient (at a point)

نرخ تغییر ولتاژ اندازه‌گیری شده در آن نقطه و در جهتی که آن بیشینه است.

۹-۳

پتانسیل انتقال یافته

transferred potential

افزایش پتانسیل یک سیستم زمین، ناشی از یک جریان به زمین منتقل‌شده به‌وسیله‌ی یک هادی متصل (به‌عنوان‌مثال یک غلاف فلزی کابل، هادی PEN[1]، خط لوله، ریل) به نواحی با پتانسیل کمتر و یا صفر نسبت به زمین مرجع است که منجر به تولید یک اختلاف‌پتانسیل بین هادی و محیط پیرامون آن می‌شود.

یادآوری ۱- این تعریف در مورد یک هادی متصل به زمین مرجع، که به داخل ناحیه افزایش پتانسیل هدایت می‌شود، نیز به‌کار می‌رود.

یادآوری ۲- پتانسیل‌های انتقالی می‌توانند منجر به مسیرهای برق‌گرفتگی از طریق بدن انسان به‌غیراز مسیر ولتاژ تماس شوند، مانند مسیر دست‌به‌دست.

[منبع: استاندارد BS EN 50522:2011]

۱۰-۳

پتانسیل تماس (مؤثر)

(effective) touch potential

ولتاژ بین قسمت‌های هادی وقتی‌که به‌طور هم‌زمان لمس می‌شوند.

یادآوری- مقدار این ولتاژ می‌تواند به‌طور چشم‌گیری متأثر از امپدانس شخصی که در اتصال الکتریکی با قسمت‌های هادی قرار می‌گیرد، باشد.

[منبع: زیر بند 195-05-11 استاندارد BS EN 60050-195، اصلاح‌شده]

۱۱-۳

پتانسیل تماس احتمالی

prospective touch potential

ولتاژ بین بخش‌های رسانا تا وقتی‌که آن بخش‌ها لمس نشده باشند و به‌طور هم‌زمان در دسترس باشند.

[منبع: استاندارد IEV 195-05-09، اصلاح شده.]

۱۲-۳

ولتاژ گام

پتانسیل گام

step voltage
step potential

1- Protective earth and neutral

ولتاژ بین دو نقطه بر روی سطح زمین که در فاصله‌ی m ۱، معادل قدم بلند یک شخص، از یکدیگر قرار دارند.

[منبع: زیر بند 12-05-195 استاندارد BS IEC 60050-195]

۴ اصول اجرای زمین[1]

۴-۱ قاعده‌ی اساسی حفاظت در برابر برق‌گرفتگی

استاندارد BS EN 61140 اصول اساسی و الزاماتی که در تأسیسات، سیستم‌ها و تجهیزات الکتریکی مشترک هستند یا برای هماهنگی تأسیسات، سیستم‌ها و تجهیزات بدون محدودیت ولتاژ ضروری می‌باشند، را ارائه می‌دهد. استاندارد BS EN 61140 توضیح می‌دهد که قاعده اساسی حفاظت در برابر برق‌گرفتگی این است که:

- بخش‌های برق‌دار خطرآفرین نباید در دسترس باشند و قسمت‌های رسانای در دسترس نباید به‌صورت خطرآفرین برق‌دار باشند:
- چه تحت شرایط عملکرد عادی (بهره‌برداری در استفاده‌ی موردنظر، به زیر بند 3.13 راهنمای ISO/IEC 51 مراجعه شود و در غیاب خطا) یا
- تحت شرایط تک خطایی (همچنین به زیر بند 2.8 راهنمای IEC104 مراجعه شود)

استانداردهای سیستم و تجهیزات در حال اصلاح هستند تا با استاندارد BS EN 61140 منطبق شوند و به‌نحوی‌که قاعده‌ی اساسی مذکور برای پذیرش تعاریف یکسان برآورده گردد.

به‌منظور دست‌یابی به اصول مندرج در استاندارد BS EN 61140 در مجموعه استانداردهای تأسیسات الکتریکی، استاندارد BS 7671: 2008 + A3 الزامات خاصی را برای اجرای زمین تأسیسات و زیرساخت‌ها به‌منظور ایمنی ارائه می‌دهد. به استثنای محل‌های بدون اتصال به زمین، الزام اصلی تحت شرایط تک خطایی، به‌منظور قطع خودکار منبع با انتخاب امپدانس‌های کابلی می‌باشد، تا ولتاژهای تماسی معین حاصل گردد.

۴-۲ اتصال زمین سیستم تغذیه

۴-۲-۱ قانون‌گذاری

در کشور ایران زمین کردن یک سیستم تغذیه الکتریکی طبق مقررات و دستورالعمل‌هایی عموماً برگرفته از استاندارد ملی شماره ۱-۱۳۹۷ [۱]، استاندارد ملی شماره ۴۱-۴-۱۳۹۷ [۲]، استاندارد سیستم‌های زمین شبکه‌های توزیع [۳] و مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان [۴] انجام می‌شود.

1- Earthing principles

این مقررات الزام می‌دارند که هر شبکه با هر سطح ولتاژ باید به زمین متصل باشد و اتصال تحت شرایط خطا محافظت شود. این الزامات در درجه اول به‌منظور حفظ امنیت سیستم طراحی می‌شود، با این اطمینان که پتانسیل هر هادی به مقداری محدود گردد که با سطح عایق‌بندی اعمال‌شده برای آن‌ها سازگار باشد. به‌طورکلی نیاز است هر هادی خنثی تغذیه (در شبکه‌های فشار ضعیف LV) در محل منبع ولتاژ به زمین متصل گردد.

این مقررات شامل یک الزام ویژه است، آنجایی که هادی‌های خنثی و حفاظتی ترکیب می‌شود و در قالب سیستم‌های حفاظتی زمین شده‌ی مکرر (PME[1]) می‌باشد که مطابق شکل ۳ از معمول‌ترین سیستم‌های منطبق شده به حساب می‌آید.

۴-۲-۲ سیستم‌های تأمین برق فشارقوی (HV)

یادآوری - الزامات اجرای زمین تأسیسات HV در استانداردهای BS EN 61936-1:2010+A1:2014 و BS EN 50522:2011 ارائه شده است. به بند ۵ نیز مراجعه شود.

۴-۲-۳ طبقه‌بندی سیستم‌های فشار ضعیف

۴-۲-۳-۱ کلیات

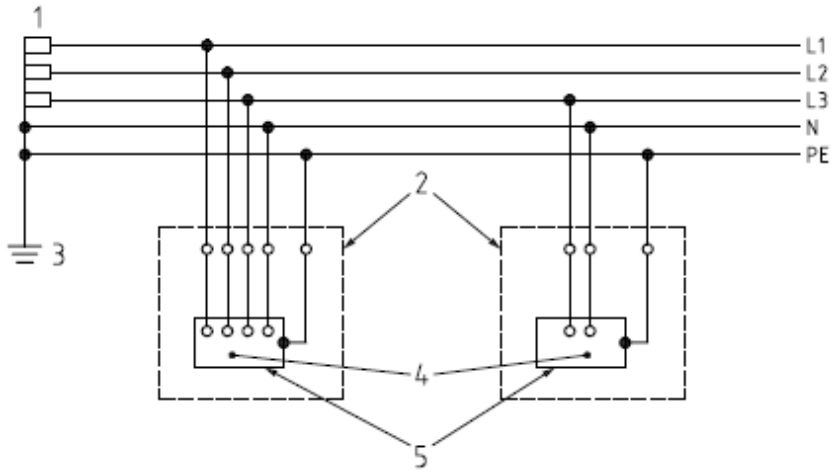
برای اهداف این استاندارد، سیستم‌های زمین زیر تعریف می‌شوند:

TN-S، TN-C، TN-C-S، TT و IT.

۴-۲-۳-۲ سیستم TN-S

در سیستم TN-S (به شکل ۱ مراجعه شود) هادی‌های خنثی و حفاظتی باید در سرتاسر سیستم مجزا نگه‌داشته شوند و منبع به‌طور مستقیم زمین[2] می‌شود.

1- Protective multiply earthed
2- Solidly earth



راهنما:

1	منبع انرژی	4	تجهیزات موجود در تأسیسات
2	تأسیسات مصرف‌کنندگان	5	قسمت‌های رسانای در دسترس
3	زمین منبع	PE	زمین حفاظتی

شکل ۱- سیستم TN-S

یادداشتی در مورد زیر بند ۴-۲-۳-۲- سیستم TN-S نقطه‌ضعف بارزی دارد و آن اینکه اگر هادی حفاظتی مدارباز شود، هیچ نشانه‌ای مبنی بر بروز خطا وجود نخواهد داشت و تأسیسات ممکن است به‌طور نادانسته بدون زمین باقی بمانند. در صورت وقوع خطای اتصال به زمین ممکن است ولتاژ قسمت‌های رسانای در دسترس در داخل تأسیسات مصرف‌کننده به یک پتانسیل خطرناک افزایش یابد. تجهیزات حفاظت در برابر بروز خطای اتصال زمین به علت عدم عبور جریان خطای اتصال به زمین عمل نخواهند کرد.

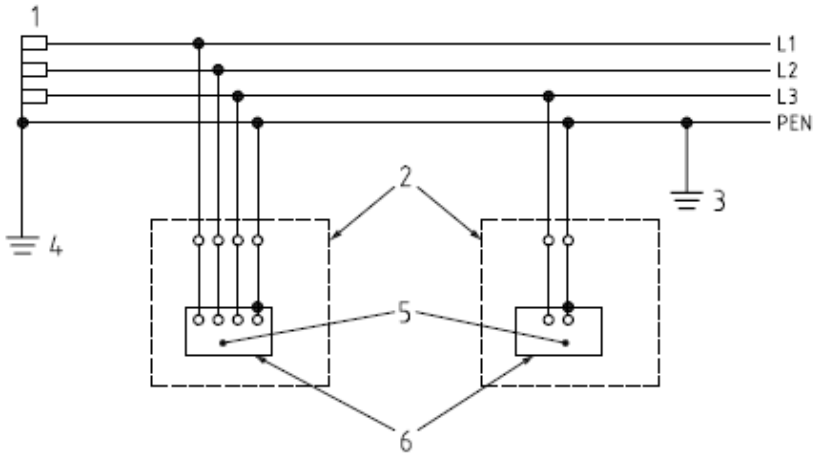
۴-۲-۳-۳ سیستم TN-C

در سیستم TN-C (به شکل ۲ مراجعه شود) کارکرد هادی‌های خنثی و حفاظتی باید در یک هادی واحد (PEN) در سرتاسر کل سیستم ادغام شوند. توصیه می‌گردد هادی PEN در طول مسیر در چندین نقطه و منبع به‌طور مستقیم زمین شوند.

یادداشتی در مورد زیر بند ۴-۲-۳-۳ - نیاز به اتصال متعدد به زمین به این دلیل است که اگر هادی خنثی به هر دلیلی مدارباز شود، ولتاژ قسمت‌های فلزی در معرض تماس، در حالت تک فاز به مقدار ولتاژ فاز به نول و در حالت سه فاز به مقدار ولتاژ خط به زمین، بسته به میزان نامتعادلی بار افزایش خواهد یافت.

۴-۲-۳-۴ سیستم TN-C-S

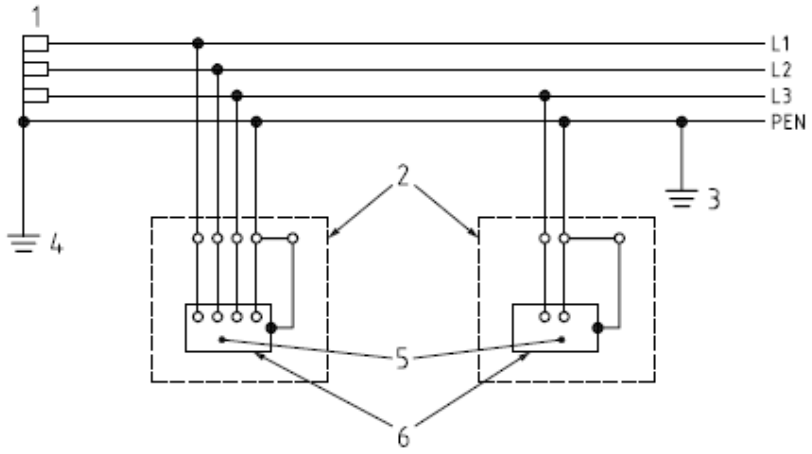
در سیستم TN-C-S (به شکل ۳ مراجعه شود) کارکرد هادی‌های خنثی و حفاظتی در یک هادی واحد (PEN) از منبع (به‌طور مستقیم زمین شده) تا نقطه تحویل به مصرف‌کنندگان مشترک شده است. توصیه می‌گردد هادی PEN در سرتاسر سیستم در چند نقطه به زمین متصل شود. در تأسیسات مصرف‌کننده هادی‌های حفاظتی و خنثی باید جدا از هم نگه‌داشته شوند.



راهنما:

1	منبع انرژی	5	تجهیزات موجود در تأسیسات
2	تأسیسات مصرف‌کنندگان	6	قسمت‌های رسانای در دسترس
3	زمین تکمیلی منبع	PEN	هادی مشترک خنثی و حفاظتی
4	زمین منبع		

شکل ۲- سیستم TN-C



راهنما:

1	منبع انرژی	5	تجهیزات موجود در تأسیسات
2	تأسیسات مصرف‌کنندگان	6	قسمت‌های رسانای در دسترس
3	زمین تکمیلی منبع	PEN	هادی مشترک خنثی و حفاظتی
4	زمین منبع		

شکل ۳- سیستم TN-C-S

یادداشتی در مورد زیر بند ۴-۲-۳-۴ - سیستم TN-C-S به‌عنوان سیستم حفاظتی زمین شده چندگانه (PME) نیز شناخته می‌شود. هادی PEN، که به یک هادی خنثی و زمین ادغام‌شده (CNE[1]) اشاره دارد، در محل منبع، انتهای انشعابات توزیع و نقاط فی‌مابین زمین می‌شود، و ازاین‌رو به اتصال زمین چندگانه اشاره دارد. اتصال به زمین چندگانه هادی CNE این اطمینان را می‌دهد که اگر هادی به هر دلیلی مدارباز شود، قسمت‌های رسانای در دسترس متصل به زمین باقی

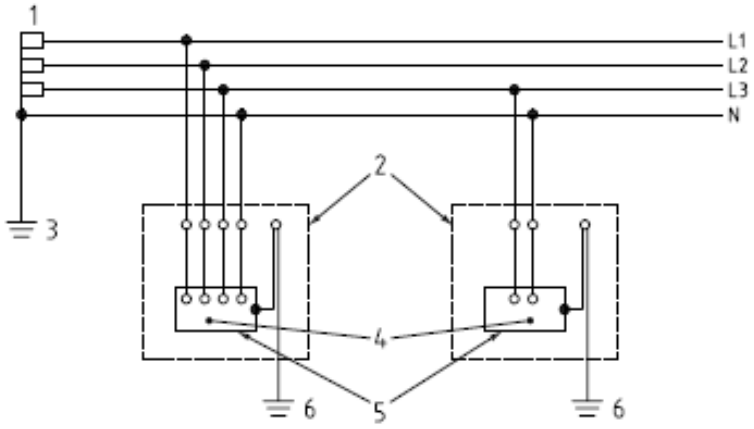
1- Combined neutral and earth

می‌مانند. تحت این شرایط ولتاژ منبع تغذیه بین هادی‌های خنثی و خط تأسیسات به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و مصرف‌کنندگان تغییرات ولتاژ غیرقابل‌قبولی را تجربه خواهند کرد.

۴-۲-۳-۵ تأسیسات TT

سیستم TT (به شکل ۴ مراجعه شود) دارای منبعی است که به‌طور مستقیم زمین شده است؛ قسمت‌های رسانای در دسترس تأسیسات مصرف‌کننده از طریق یک الکترود زمین که به لحاظ الکتریکی، مستقل از زمین منبع است، زمین می‌شود.

یادداشتی در مورد زیر بند ۴-۲-۳-۵ - در سیستم TT امپدانس حلقه‌ی خطای اتصال به زمین به‌طورکلی بالا است چون مسیر خطا شامل مقاومت الکترود زمین منبع و مقاومت الکترود زمین تأسیسات مصرف‌کننده است.



راهنما:

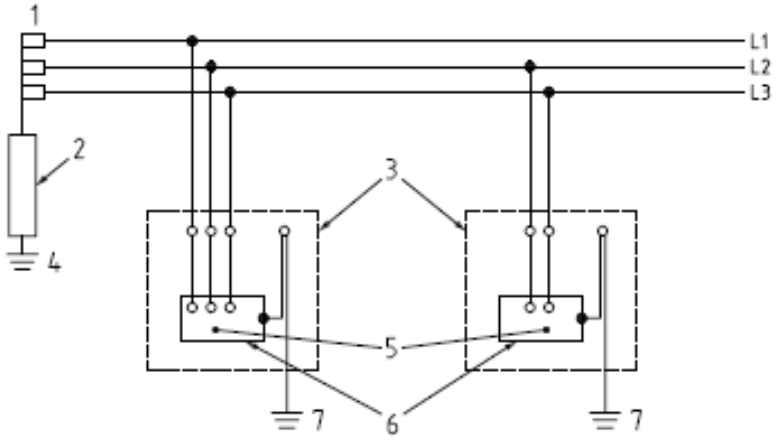
1	منبع انرژی	4	تجهیزات موجود در تأسیسات
2	تأسیسات مصرف‌کنندگان	5	قسمت‌های رسانای در دسترس
3	زمین منبع	6	الکترود زمین تأسیسات

شکل ۴- سیستم TT

۴-۲-۳-۶ سیستم IT

سیستم IT (به شکل ۵ مراجعه شود) منبعی دارد که یا از طریق یک امپدانس به زمین متصل شده و یا از زمین جداشده است. مشابه سیستم TT، تمام قسمت‌های رسانای در دسترس تأسیسات به یک الکترود زمین متصل می‌شود.

یادداشتی در مورد زیر بند ۴-۲-۳-۶- به‌طورکلی، سیستم IT برای مکان‌هایی از قبیل مراکز پزشکی و معادن که در آن منبع تغذیه حتی در حالت بروز خطا نیز باید حفظ شود، و مکان‌هایی که در آن اتصال به زمین مشکل است (به‌عنوان‌مثال مولدهای سیار)، انتخاب می‌شود.



راهنما:

1	منبع انرژی	5	تجهیزات موجود در تأسیسات
2	امپدانس زمین	6	قسمت‌های رسانای در دسترس
3	تأسیسات مصرف‌کنندگان	7	الکترود زمین تأسیسات
4	زمین منبع		

شکل ۵- سیستم IT

۳-۴ اتصال زمین تأسیسات – اتصال زمین تأسیسات فشار ضعیف

هدف از زمین کردن بخش‌های فلزی بدون جریان یک سازه و تجهیزات تأسیسات فشار ضعیف این است که:

الف- امپدانس حلقه خطای اتصال به زمین کم گردد تا قطع خودکار منبع هنگام بروز خطا به قسمت‌های رسانای در دسترس تسهیل شود.

ب - افزایش پتانسیل تحت شرایط اتصال زمین قسمت‌های فلزی بدون جریان را با توجه به زمین محدود نمایید، تا ایمنی افراد و حیوانات در مجاورت چنین قسمت‌های فلزی، افزایش یابد.

توسعه‌ی ساختار زمین تأسیساتی که در داخل یک ساختمان است با استفاده از همبندی هم‌پتانسیل حفاظتی قسمت‌های رسانای در دسترس و قسمت‌های رسانای بیگانه، ایمنی اشخاص و حیوانات را با کاهش ولتاژهای تماس بین این‌گونه قسمت‌ها افزایش می‌دهد و این کار می‌تواند جرقه‌های خطرناک را نیز حذف نماید.

الزامات عملکردی برای سیستم زمین تأسیسات فشار ضعیف (به‌عنوان‌مثال زمان‌های قطع، سطح مقطع هادی) در استاندارد BS 7671:2008+A3 تعیین می‌شوند.

به این واقعیت توجه شود که استاندارد BS 7671:2008+A3، مقررات 411.3.2.6 یک حاشیه اطمینان دارد:

411.3.2.6 جایی که قطع خودکار طبق مقررات 411.3.2.1 نمی‌تواند در زمان موردنیاز طبق مقررات 411.2.3.2، 411.3.2.3 یا 411.3.2.4 محقق شود، به‌طور مناسب، باید همبندی هم‌پتانسیل تکمیلی طبق مقررات ۲-۴۱۵ فراهم گردد. همچنین، مقررات 411.4.9 اجازه می‌دهد تجهیز حفاظتی جریان باقیمانده (RCD[1]) به‌منظور برآوردن الزامات این مقررات استفاده شود و اکنون مقادیر بیشینه امپدانس حلقه‌ی خطای اتصال به زمین در جدول 41.5 استاندارد BS 7671:2008+A3 آمده است.

۴-۴ تجهیزات مصرف‌کننده برق[2]

هدف از زمین کردن تجهیزات مصرف‌کننده برق مشابه آن چیزی است که در زمین کردن تأسیسات الکتریکی مطرح است. با این وجود، برای سری استانداردهای BS EN 60335، قطع خودکار منبع در بروز خطای اتصالی به بخش‌های رسانای در دسترس، موردنیاز نیست.

[به بند 27 استاندارد BS EN 60335-1:2002+A14 مراجعه شود].

27 تدارک زمین

27.1 بخش‌های فلزی در دسترس وسایل کلاس 0I و I که ممکن است در بروز خطای عایق برقدار شوند، باید به‌طور دائمی و مطمئن به ترمینال زمین درون دستگاه یا به اتصال زمین ورودی دستگاه متصل شوند. ترمینال‌های زمین و اتصالات زمین نباید به ترمینال خنثی متصل گردند.

فیوز که طبق استاندارد BS 1363 در دوشاخه وسایل تعبیه‌شده، در مفاد مربوط به استاندارد BS EN 60335 الزام‌آور نیست؛ مقدار نامی آن به نحوی انتخاب می‌شود که حفاظت کابل تغذیه انعطاف‌پذیر دستگاه را فراهم کند.

۵ واسط فشارقوی/ فشار ضعیف HV/LV

الزامات خاصی که باید برای تأسیسات فشارقوی شامل پست‌ها مدنظر قرار گیرند، در استانداردهای BS EN 61936-1:2010+A1:2014 و BS EN 50522:2011 ارائه می‌شوند. الزاماتی که باید برای حفاظت تأسیسات سمت فشار ضعیف (LV) از اضافه ولتاژهای موقت ناشی از خطاهای زمین در یک سیستم تغذیه فشارقوی (HV) مدنظر قرار گیرند در بخش 442 استاندارد BS 7671:2008+A3 ارائه می‌گردد.

یادآوری- توضیحات بیشتر در خصوص واسط زیرسیستم‌های LV و HV، شامل نمونه‌هایی از طرح‌واره‌های اجرای زمین، در پیوست الف آمده است.

1- Residual-current device
2- Current-using equipment

۶ تأسیسات فشار ضعیف

یادآوری- الزامات اجرای زمین برای تأسیسات فشار ضعیف در استاندارد BS 7671:2008+A3 تعیین می‌شوند. در فصل 44 استاندارد BS 7671:2008+A3، ملزومات برای حفاظت تأسیسات فشار ضعیف در برابر اضافه ولتاژهای موقت به‌واسطه‌ی خطاهای زمین در سیستم فشارقوی و به‌واسطه‌ی خطاها در سیستم فشار ضعیف با جزئیات آمده است. این موارد در بند ۵ در نظر گرفته‌شده است.

۶-۱ قطع خودکار

یادداشتی در مورد زیر بند ۶-۱- هنگامی‌که خطای اتصال به زمین در یک تأسیسات رخ می‌دهد، ولتاژهای خطرناکی می‌توانند بین بخش‌های رسانا ظاهر شوند، و چنانچه این بخش‌ها به‌طور هم‌زمان در دسترس باشند ممکن است یک خطر برق‌گرفتگی ایجاد کنند. شدت هرگونه شوکی که یک فرد در معرض خطر تجربه می‌کند، در کنار سایر عوامل، به نوع جریان (یعنی a.c یا d.c)، اندازه ولتاژها و مدت‌زمان تداوم خطای اتصال به زمین، بستگی دارد.

جریان خطای اتصال به زمین همچنین می‌تواند چنان اندازه و مدت‌زمانی داشته باشد که منجر به افزایش دمایی بیش‌ازحد در هادی‌های حامل آن جریان گردد و بدین ترتیب خطر آتش‌سوزی را ایجاد نماید.

استاندارد BS 7671: 2008 + A3 شامل برخی از تدابیر حفاظتی است که می‌تواند برای حفاظت در مقابل خطای اتصال به زمین بکار گرفته شوند. بااین‌حال، این استاندارد فقط اقدام حفاظتی قطع خودکار از منبع را شامل می‌شود. این امر بیشترین استفاده رایج از اقدامات حفاظتی موجود در استاندارد BS 7671: 2008 + A3 است. علاوه بر این، دیگر اقدامات حفاظتی به زمین وابسته نیستند و کاربردهای بسیار محدودی دارند.

قطع خودکار منبع (ADS[1]) یک اقدام حفاظتی است که در آن:

الف - حفاظت پایه با عایق‌بندی پایه بخش‌های برقدار یا با ایجاد محافظ و حصارها مهیا می‌شود؛ و

ب - حفاظت در برابر بروز خطا با زمین حفاظتی، همبندی هم‌پتانسیل کننده‌ی حفاظتی و قطع خودکار در حالت بروز خطا فراهم می‌شود.

خلاصه‌ای از الزامات ارائه شده در استاندارد BS 7671:2008+A3 برای قطع خودکار از منبع در زیر بندهای ۶-۲ و ۶-۱۱ ارائه شده است.

جایی که قطع خودکار از منبع بکار گرفته می‌شود، تجهیزات با کلاس کاری I و II می‌توانند استفاده شوند.

در طراحی سیستم حفاظتی هر یک از تأسیسات، باید توجه داشت که بازرسی، آزمون و تعمیرات دوره‌ای بتواند به‌راحتی و ایمن انجام شود.

1- Automatic disconnection of supply

۶-۲ زمین تأسیسات

بیشتر تأسیسات الکتریکی بخشی از سیستم TN یا TT می‌باشند، و در هر دو نوع تأسیسات، قسمت‌های رسانای در دسترس تمامی تجهیزات الکتریکی مربوط به هر یک از تأسیسات باید به‌وسیله‌ی هادی‌های حفاظتی به ترمینال زمین اصلی متصل گردند. امپدانس حلقه‌ی خطای زمین باید به‌اندازه‌ی کافی برای دستگاه‌های حفاظتی (فیوز، کلیدهای قطع مدار و RCD) پایین باشد تا در زمان موردنیاز و در لحظه‌ی خطای اتصال به زمین عمل کند.

تجهیزات کلاس II، چه آن‌هایی که دارای بدنه‌های فلزی بوده و چه آن‌هایی که دارای بدنه‌های عایق می‌باشند در ساختار خود علاوه بر عایق‌بندی پایه دارای عایق‌بندی تکمیلی و یا تقویت‌شده می‌باشند و لذا چنین فرض می‌شود که بخش‌های فلزی در دسترس این قبیل تجهیزات تحت شرایط خطا برق‌دار نخواهند شد، به این معنی که به‌عنوان قسمت‌های رسانای در دسترس تلقی نمی‌شوند.

سیستم‌های مختلف زمین در زیر بند ۴-۲ در نظر گرفته‌شده است.

۶-۳ اطلاعاتی که در صورت درخواست باید ارائه شوند

در صورت نیاز، مالک هر یک از تأسیسات، کارفرما یا پیمانکار باید طبق دستورالعمل‌های موجود اطلاعات مربوط را از شرکت توزیع دریافت نماید. مالک یا نماینده قانونی او باید مطمئن شود که مشخصات مسیر جریان خطای اتصال به زمین، شامل هر قسمتی از آن مسیر که تحت یک تغذیه قرار دارند، برای عملکرد حفاظت استفاده‌شده در تأسیسات مربوطه مناسب می‌باشد.

یادداشتی در مورد زیر بند ۶-۳ – هنگامی‌که نصب منابع تغذیه آماده به کار به‌صورت موازی با منبع تغذیه نرمال ارائه شده توسط یک تأمین‌کننده موردنظر باشد، پیکربندی باید مطابق نظر شرکت توزیع باشد.

همبندی اصلی با سایر تأسیسات خدماتی، در نظر گرفته‌شده در زیر بند ۶-۴، ممکن است به مجوز مؤسسات مسئول آن خدمات نیاز داشته باشد، و این چنین همبندی با مدارهای تلفن تلگراف مجاز نمی‌باشند، مگر با مجوز سازمان‌های مربوطه؛ راهنما در استانداردهای مربوط به صنعت مخابرات مانند BS 7671 :2008+A3 و BS EN 50173 (تمام قسمت‌ها) آورده شده است.

۶-۴ همبندی هم پتانسیل کننده حفاظتی

یادآوری ۱– برای قطع خودکار مدار توسط تجهیزات حفاظتی، موارد زیر لازم است:

الف - قطع خودکار در زمان وقوع خطای اتصال به زمین؛

ب - زمین حفاظتی (جهت تسهیل آن)؛ و

پ - اجرای همبندی هم‌پتانسیل کننده حفاظتی برای کاهش ولتاژهای تماس.

درجایی که قطع خودکار منبع تغذیه موردنیاز باشد، همبندی حفاظتی، مستقل از نوع سیستم تغذیه برای هم‌پتانسیل کردن پیشنهاد می‌شود (به شکل ۶ مراجعه شود). همبندی قسمت‌های رسانای بیگانه به

ترمینال زمین اصلی تأسیسات، به‌وسیله‌ی هادی‌های همبندی هم‌پتانسیل کننده اصلی توصیه می‌شود. قسمت‌های رسانای بیگانه شامل موارد زیر می‌باشند:

الف - لوله‌های تأسیسات آب؛

ب - لوله‌های تأسیسات گاز؛

پ - لوله‌ها و داکتهای سایر تأسیسات؛

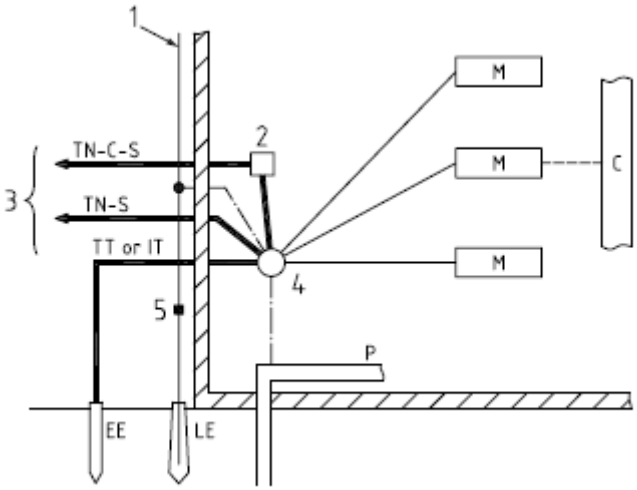
ت - سیستم‌های حرارتی مرکزی و تهویه هوا؛

ث - سازه‌های فلزی در دسترس ساختمان؛ و

ج - سایر بخش‌های فلزی مانند رک‌های سینی‌ها و نردبان کابل.

اتصال یک سیستم حفاظت صاعقه به همبندی هم‌پتانسیل حفاظتی باید با توجه به استاندارد BS EN 62305-4 انجام گیرد.

یادآوری ۲- با توجه به استاندارد BS EN 62305-4 لازم است که همبندی بین سیستم حفاظت صاعقه و سیستم همبندی هم‌پتانسیل کننده تأسیسات ایجاد شود. مسئولیت اجرای این همبندی بر عهده سازمان مسئول سیستم حفاظت صاعقه است.



راهنما:

———	هادی حفاظتی مدار	———	هادی زمین
----------	هادی‌های همبندی هم‌پتانسیل کننده تکمیلی (در صورت نیاز)	— · — · —	هادی همبند کننده اصلی
M	قسمت‌های رسانای در دسترس	1	هادی نزولی صاعقه گیر
P	سایر خدمات	2	بلوک خنثی
C	قسمت رسانای بیگانه	3	برحسب نوع منبع یکی از آن‌ها استفاده می‌شود
EE	الکترود زمین (سیستم‌های IT و TT)	4	ترمینال زمین اصلی
LE	الکترود صاعقه گیر	5	نقطه آزمون

شکل ۶- چیدمان اتصال به زمین و هادی‌های حفاظتی برای تأسیسات مصرف‌کننده

در مواردی که لوله‌های اصلی گاز و لوله‌های اصلی آب وارد یک مکان شوند می‌توان از یک هادی همبندی مشترک استفاده کرد. در چنین مواردی به‌منظور حفظ تداوم، این هادی‌ها باید یکپارچه بوده و یا دارای اتصالات دائمی (به‌وسیله لحیم‌کاری یا بست‌های پرسی) باشد. چنین هادی همبندی می‌تواند در ارتباط با سایر قسمت‌های رسانای بیگانه نیز بکار رود.

اتصالات همبندی هم پتانسیل کننده اصلی به لوله‌های آب و گاز باید تا حد امکان نزدیک به نقطه‌ی ورود آن‌ها به ساختمان باشد. اگر در آن نقطه یک قسمت یا ورودی عایق وجود دارد، اتصال همبندی باید به لوله‌های فلزی در طرف مصرف‌کننده آن بخش یا ورودی و قبل از انشعاب انجام شود.

در صورت قابل‌اجرا بودن، اتصال باید در محدوده ۶۰۰ mm از خروجی کنتور و یا چنانچه کنتور بیرون نصب‌شده باشد در هر نقطه‌ی ورودی ساختمان ایجاد شود (به مقررات 544.1.2 از استاندارد BS 7671:2008+A3 مراجعه شود).

۶-۵ ترمینال زمین اصلی

هر یک از تأسیسات فشار ضعیف مصرف‌کننده، تغذیه‌شده از شبکه‌های توزیع TN، باید یک ترمینال زمین اصلی (MET[1]) داشته باشد که به هادی حفاظتی منبع متصل می‌شود و از این طریق به الکترودهای زمین نصب‌شده در شبکه توزیع متصل می‌گردد.

در شرایطی که هر یک از تأسیسات برق تعدادی از مشترکین را تأمین نماید، اگر تغذیه اصلی یک هادی حفاظتی و خنثی ادغام‌شده داشته باشد، الکترود زمین مستقل باید به ترمینال زمین اصلی نیز متصل گردد،

در مورد سیستم‌های TT و IT، ترمینال زمین اصلی باید تنها با یک الکترود زمین مستقل زمین شود.

یادداشتی در مورد زیر بند ۶-۵- ترمینال زمین اصلی MET نقطه مرجعی را برای تأسیسات فراهم می‌کند. ترمینال زمین اصلی از یک ترمینال یا باس برای اتصال هادی‌های حفاظتی، شامل هادی‌های همبندی حفاظتی، و هادی‌های مربوط به اتصال زمین عملیاتی، تشکیل‌شده است. با وجود اینکه MET به زمین متصل می‌شود، پتانسیل آن به‌ندرت صفر است که دلیل آن اختلاف‌پتانسیل ایجاد شده ناشی از جریان‌های نشتی و سایر جریان‌ها به زمین است.

به زیر بند 411.4.2 استاندارد BS 7671:2008+A3 مراجعه شود.

۶-۶ هادی‌های حفاظتی

اصطلاح عمومی «هادی حفاظتی» انواع خاصی را شامل می‌شود که در شکل ۶ نشان داده‌شده‌اند. در هر یک از حالات خاص، باید کاربرد موردنظر آن به‌درستی مشخص گردد تا معلوم شود در هر مورد از مقررات مختلفی که در استاندارد BS 7671:2008+A3 مشخص‌شده‌اند، کدام‌یک کاربرد دارند.

1- Main earthing terminal

یادداشتی در مورد زیر بند ۶-۶- با توجه به استاندارد BS 7671:2008+A3، لازم است. استاندارد BS 7671:2008+A3 الزام می‌دارد کلیه هادی‌های حفاظتی در برابر اثرات مخرب شیمیایی و مکانیکی و نیز آثار الکترودینامیکی به‌طور مناسبی حفاظت شوند.

دو روش برای تعیین سطح مقطع هادی حفاظتی وجود دارد. در روش اول، سطح مقطع هادی حفاظتی با توجه به سطح مقطع هادی فاز و به‌صورت تجربی مشخص می‌شود (به جدول 54.7 استاندارد BS 7671:2008+A3 مراجعه شود.) و در روش دوم، سطح مقطع با استفاده از «معادله‌های آدیاباتیک (هم‌دما)» مقررات 543.1.3 استاندارد BS 7671:2008+A3 محاسبه می‌شود:

543.1.3 هرجایی که سطح مقطع محاسبه می‌شود، نباید مقداری کمتر ازآنچه که با فرمول زیر به دست می‌آید باشد، یا اینکه مرجع BS 7454 در نظر گرفته شود.

$$S \geq \frac{I\sqrt{t}}{k}$$

یادآوری- این معادله یک معادله آدیاباتیک (هم‌دما) است و برای مواقع قطعی کمتر از s ۵ کاربرد دارد. که در آن:

S سطح مقطع نامی هادی برحسب میلی‌متر مربع؛

I جریان خطا برحسب آمپر (rms برای a.c) برای یک خطا با امپدانس قابل‌چشم‌پوشی است، که می‌تواند از طریق دستگاه حفاظتی مرتبط جاری شود، ناشی از در نظر گرفتن اثر محدودکننده جریان امپدانس‌های مدار و محدودیت توانایی (I^2t) آن دستگاه حفاظتی؛

t زمان عملیاتی وسیله قطع کننده برحسب ثانیه متناظر با آمپراژ جریان خطا I؛

k ضریبی برای در نظر گرفتن ضریب مقاومت، ضریب دمایی و ظرفیت گرمایی است که به نوع هادی و دمای اولیه و دمای نهایی مجاز بستگی دارد.

مقادیر k برای هادی‌های حفاظتی در انواع کاربرد یا خدمات در جدول 54.2 تا 54.6 آمده است. این مقادیر بر اساس دمای اولیه و دمای نهایی در هر جدول در نظر گرفته‌شده‌اند.

هر جا که کاربرد فرمول، مقداری غیراستاندارد را ایجاد می‌کند، باید از یک هادی با بزرگ‌ترین سطح مقطع استاندارد نزدیک به آن استفاده شود.

مزیت محاسبه آدیاباتیک (هم‌دما) این است که استفاده از هادی‌های با سطح مقطع کوچک‌تر مجاز می‌گردد. اما این روش در مورد هادی‌های همبندی حفاظتی، قابل‌استفاده نیست.

برای زمان‌های قطع بیش از s ۵ به استاندارد BS 7454 مراجعه شود.

۶-۷ هادی‌های زمین

هادی‌های زمین، هادی‌های حفاظتی هستند که اندازه آن‌ها باید با همان روش سایر هادی‌های حفاظتی تعیین شود (به زیر بند ۶-۶ مراجعه شود)، اما زمانی که این هادی در زمین دفن است حداقل سطح مقطع در جدول 54.1 استاندارد BS 7671:2008+A3 مشخص‌شده است.

یادآوری ۱- هادی دفن شده مسی نسبت به هادی فولادی دفن شده دارای بار (پتانسیل) الکتریکی مثبت است و زمانی که این دو از طریق یک رسانای الکتریکی به یکدیگر متصل شوند، یک سلول الکتروشیمیایی تشکیل را می‌دهند که می‌تواند باعث خوردگی سریع‌تر فولاد شود (به استاندارد BS EN 14505 مراجعه شود). به‌طور تقریبی می‌توان گفت عبور جریان مستقیم یک آمپری از الکترود فولادی مدفون در خاک، باعث خورده شدن (تحلیل) حدود ۹kg فلز فولاد در طول یک سال خواهد شد.

از هادی آلومینیوم یا آلومینیوم با پوشش مس، نباید برای اتصال نهایی به الکترودهای زمین استفاده شود. در مواردی که یک هادی مسی به یک هادی آلومینیومی متصل شود باید فرایند ارائه شده در زیر بند ۹-۹-۴-۳ مورد استفاده قرار گیرد.

اتصال هادی زمین به الکترود زمین یا سایر وسایل زمین کننده باید به‌طور کامل با استفاده از ترکیبات پرکننده، بست‌های کپسولی یا محکم از مواد غیر آهنی صورت گیرد. در مواردی که هادی زمین باید به غلاف فلزی و زره کابل متصل شود، زره و غلاف باید به یکدیگر همبندی شده و اتصال اصلی بین کابل و هادی زمین باید از طریق غلاف فلزی انجام‌شده و به آن لحیم شود.

از طرف دیگر، اگر برای انجام اتصال از بست استفاده شود، طراحی و نصب بست باید به‌گونه‌ای باشد که بتوان نسبت به اتصال مطمئن بوده و آسیبی به کابل وارد نیاید. مشخصات بست‌های مربوط به اتصال و زمین بهتر است با استانداردهای BS 951 مطابقت داشته باشد.

یادآوری ۲- اگر اتصالات موردبحث در زیر زمین و در یک محفظه اتصال قرارگرفته باشند که نتوان به‌سادگی به آن دست پیدا کرد، استاندارد BS 7671:2008+A3 قید می‌کند که باید امکاناتی را در یک محل قابل‌دسترسی برای قطع ترمینال زمین اصلی تأسیسات از وسایل زمین کننده (الکترود) پیش‌بینی نمود تا اندازه‌گیری‌های مربوط به زمین به‌راحتی انجام شود.

۸-۶ هادی‌های حفاظتی مدار

در مواردی که از غلاف فلزی کابل به‌عنوان هادی حفاظتی مدار استفاده شود، همه اتصالات و مفصل‌های غلاف باید طوری انجام شود که جریان مجاز حرارتی آن از ظرفیت عبور جریان غلاف کمتر نباشد. درصورتی‌که از جعبه‌ها یا مفصل‌های غیرفلزی استفاده شود، باید به‌منظور حفظ تداوم، از وسایلی مانند تسمه فلزی که جریان مجاز حرارتی آن برابر با جریان مجاز حرارتی بزرگ‌ترین کابل ورودی به جعبه باشد، استفاده شود.

در موارد استفاده از زره یا غلاف فلزی باید به قابلیت گلندها و اتصالات کابل برای عبور جریان‌های اتصال به زمین نیز توجه داشت و نظر سازندگان را در این مورد جویا شد. ممکن است اعمال احتیاط‌های خاص در مورد قسمت‌های فلزی تجهیزات به‌ویژه صفحات گلند هنگامی‌که از مواد مقاوم در برابر ساییدگی مانند پوشش‌های پودری استفاده می‌شود، لازم باشد.

از محفظه‌های فلزی مانند لوله‌های برق، مجراها و ترانکینگ‌ها که برای هادی‌ها و کابل‌ها استفاده می‌شود، می‌توان به‌عنوان هادی حفاظتی مدار استفاده کرد، ولی درصورتی‌که از لوله‌های قابل‌انعطاف یا خم شو استفاده شود، برای حفظ تداوم مسیر اتصال زمین، هادی‌های حفاظتی جداگانه‌ای باید در داخل لوله‌ها یا کانال‌ها استفاده شوند. در موارد استفاده از مجرای کابل و لوله برق، یک استاندارد سطح بالای نحوه کار در

تأسیسات ضروری است. اتصالات باید به نحوی انجام شود که جریان مجاز حرارتی آن از لوله کمتر نشود. همچنین اتصالات باید از نظر عایق‌بندی، حفاظت و استقامت مکانیکی دارای خواصی مشابه خواص سیستم سیم‌کشی یا لوله‌کشی به اتصالاتی که بخشی از آن را تشکیل می‌دهند، باشند. محکم نبودن اتصالات ممکن است منجر به زوال در تداوم الکتریکی و حتی قطع کامل آن شود. از اتصال نوع فشاری فنری[1] نباید استفاده شود. در مورد لوله غیر پیچی[2]، توصیه می‌شود از اتصالات حلقه فشاری[3] استفاده شود ولی برای تأسیسات فضای باز و آن‌هایی که در معرض خوردگی جوی قرار دارند، همیشه باید از لوله پیچی[4] که به نحو مطلوب در برابر خوردگی حفاظت شده است، استفاده شود. در تأسیساتی که در آن‌ها از لوله‌های پیچی استفاده شود، به‌کارگیری زیاد مهره‌های قفل کننده توصیه می‌شود. کلیه اتصالات در سیستم‌های لوله‌کشی پیچی باید بعد از پایان نصب، رنگ‌آمیزی شوند.

پیش‌بینی‌های ذکرشده کافی به نظر می‌رسد اما لازم است آزمون‌های دوره‌ای برای اطمینان از این‌که تداوم الکتریکی کافی برقرار است، انجام شود.

یادآوری- احتمال بروز خوردگی الکترولیتی در اثر تماس بین فلزات غیرمشابه در شرایط مرطوب وجود دارد. به‌ویژه مس و آلیاژهایی که درصد مس آن‌ها بالا است تحت این شرایط و هنگامی‌که در تماس با آلیاژهای آلومینیوم هستند موجب بروز خوردگی می‌شوند.

در مواردی که فلزات غیرمشابه، بخشی از یک مدار الکتریکی را تشکیل دهند، اتصالات آن باید تمیز شده و هنگام نصب، عاری از رطوبت باشند و بلافاصله پس‌ازآن باید با ماده‌ای مناسب که در برابر نفوذ رطوبت مقاوم است، پوشانده شوند.

جایی که شرایط رطوبتی غالب می‌شود، اتصالات، پیچ‌های نصب و بست‌های محکم کننده در مورد هادی‌هایی که اساس آن‌ها آلومینیوم است باید از آلیاژ آلومینیوم یا فولاد که به نحوی مناسب حفاظت‌شده است (پوشیده شده با روی) ساخته شود و سطوحی که در تماس با هادی می‌باشند باید قبل از نصب رنگ‌آمیزی شوند.

۹-۶ تأسیسات و مکان‌های با خطر بالای شوک (برق‌گرفتگی)

برای تأسیسات و مکان‌هایی که درخطر بالای شوک هستند، تمهیدات تکمیلی دیگری لازم است ازجمله:

الف- همبندی هم‌پتانسیل کننده تکمیلی؛

ب- RCDها با جریان باقی‌مانده نامی ۳۰ mA یا کمتر؛ و

پ- تجهیزات با ولتاژ خیلی ضعیف حفاظتی (PELV[5]) و تجهیزات با ولتاژ خیلی ضعیف مجزا (SELV[6]).

1- plain slip or pin-grip sockets
2- unscrewed conduit
3- lug-grip fitting
4- screwed conduit
5- protective extra-low voltage
6- separated extra-low voltage

زمانی که یک تأسیسات، تعدادی از ساختمان‌ها را تغذیه می‌کند، همبندی هم‌پتانسیل کننده اصلی برای هر ساختمان لازم است، بنابراین هر یک دارای یک نقطه مرجع هستند که بخش‌های رسانا به آن متصل می‌شوند. به زیر بند ۶-۴ مراجعه شود. برای کاهش ولتاژ که در زمان خطای اتصال به زمین اتفاق می‌افتد، گاهی لازم است که همبند هم‌پتانسیل کننده تکمیلی موضعی نصب شود.

۶-۱۰ همبندی تکمیلی- مدارهایی که در آن‌ها زمان‌های قطع نمی‌تواند تأمین شود

یادداشتی در مورد زیر بند ۶-۱۰- درجایی که زمان‌های قطع بند 41 استاندارد BS 7671:2008+A3، محقق نمی‌شود (معمولاً ۰/۴ s و ۵ s برای سیستم‌های ۲۳۰V TN) مقررات 411.3.2.6 همبندی تکمیلی را با توجه به مقررات 415.2.2 لازم می‌داند:

415.2.2 درجایی که نسبت به تأثیر همبندی هم‌پتانسیل کننده تکمیلی تردید داریم، باید تائید شود که مقاومت R بین بخش‌های رسانا که به‌طور هم‌زمان در دسترس قرار می‌گیرند و بخش‌های رسانا بیگانه، شرایط زیر محقق شود:

$R \leq 50\ V/Ia$ در سیستم‌های a.c

$R \leq 120\ V/Ia$ در سیستم‌های d.c

که در آن I_a جریان عامل برحسب آمپر در وسیله حفاظتی است:

- برای RCDها، $I_{\Delta n}$
- برای وسایل تشخیص‌دهنده اضافه جریان، جریان منجر به قطع خودکار در ۵ s گردد.

این روابط به طول‌های نسبتاً طولانی اجازه می‌دهد و بعید است که به سطح مقطع‌های استاندارد هادی نیاز باشد.

۶-۱۱ تأسیسات صنعتی و تجاری

۶-۱۱-۱ کلیات

اکثر تأسیسات صنعتی، برق خود را از شبکه‌های عمومی در ولتاژی که ممکن است بیش از 1000 Vac باشد، دریافت می‌کنند. ظرفیت خطا نیز ممکن است نسبت به ظرفیت خطای مسکونی بیشتر باشد و بنابراین باید دقت بیشتری در طراحی هادی‌های حفاظتی و اتصالات آن‌ها صورت گیرد.

به همین اندازه، توجه به تأثیری که اتصال زمین می‌تواند بر روی فرایند انجام‌شده در بعضی کارخانه‌ها باقی بگذارد نیز اهمیت دارد.

در مشکلاتی که به مایعات و گازهای قابل اشتعال مربوط شود، یا اگر اطلاعات بیشتری در مورد زمین کردن حفاظتی که مستقیماً مربوط به ایمنی الکتریکی نیست، نیاز باشد، باید به استانداردهای مرتبط معتبر مراجعه شود.

یادآوری- اطلاعات بیشتر از شرایط، کدها و استانداردهای در نظر گرفتن اجرای سلامت و ایمنی، در دسترس است که در فرایندهای خاص اعمال می‌شوند.

در مواردی شامل مدارهای ابزار دقیق و داده، لازم است توجه خاصی هنگام اتصال سیستم‌های زمین به یکدیگر به عمل آید. طراح همچنین باید جریان‌های گذرا یا گردان در سیستم زمین که می‌تواند از طریق القاء مغناطیسی باعث ایجاد ولتاژهای ناخواسته در مدارهای الکترونیکی شود را در نظر داشته باشد.

ممکن است مواردی پیش آید که وقتی قسمت‌های فلزی در دسترس مستقیماً زمین شوند می‌تواند با سایر سیستم‌ها که از جرم کلی زمین برای عبور جریان استفاده می‌کنند تداخل پیدا کند که باید در نظر گرفته شود. مثال‌های نوعی در این مورد، مدارهای تلفن و حفاظت کاتدی می‌باشند.

۶-۱۱-۲ امپدانس حلقه خطای اتصال به زمین

همانند منابع ولتاژ قوی، در سیستم‌های صنعتی فشار ضعیف نیز استفاده از مسیرهای با مقاومت پایین برای برگشت جریان خطای اتصال به زمین، ضروری است و امپدانس کل حلقه باید-به میزان کافی پایین باشد تا وسیله حفاظتی مناسب انتخاب‌شده مانند فیوز یا کلید قطع مدار یا RCD بتواند در زمان مشخص‌شده در استاندارد BS 7671:2008+A3 عمل نماید.

۶-۱۱-۳ کابل‌های تک‌رشته‌ای

در مواردی که از کابل‌های تک‌رشته‌ای در هر یک از تأسیسات فشار ضعیف استفاده‌شده باشد، ترجیحاً کلیه غلاف‌ها یا زره‌های فلزی در هر دو سر همبندی و زمین می‌شوند (همبندی مستقیم[1]). ولتاژهای القایی در زره و غلاف‌ها باید به مقادیر پایینی کاهش یابد تا بتوان از آن‌ها به‌عنوان هادی حفاظتی استفاده کرد که در صورت نیاز با یک رسانای کمکی موازی می‌شود. جریان‌های چرخشی در غلاف یا زره جریان مجاز حرارتی کابل‌ها را کاهش می‌دهد؛ درصورتی‌که این کاهش موردقبول نباشد، غلاف‌ها و زره‌ها را می‌توان تنها در یکسر هر کابل، همبندی نمود (همبندی از یک نقطه) که در این صورت استفاده از یک رسانای حفاظتی جداگانه موردنیاز خواهد بود.

یادآوری- مقادیر ولتاژ ایستا که در انتهای مدارباز زره یا غلاف ظاهر می‌شود در زیر بند ۹-۱۲-۲ در نظر گرفته‌شده است.

۷ مولدها

یادداشتی در مورد بند ۷ – در این بند سه نوع اصلی از مجموعه تولیدی مدنظر می‌باشند.

الف – مجموعه‌های کوچک با توان نامی زیر ۱۰ kW که زمین نشده‌اند و به‌صورت موازی با شبکه برق بهره‌برداری نمی‌شوند؛

ب – مجموعه‌هایی با توان نامی بیش از ۱۰ kW که معمولاً سه فاز هستند و لازم است زمین شوند؛

پ – مولدهای مقیاس کوچک (تا ۱۶ A بر فاز) برای بهره‌برداری به‌صورت موازی با شبکه‌های توزیع فشار ضعیف سراسری.

1- Solid bonding

۷-۱ مجموعه‌های تولیدی زمین نشده (توان نامی زیر ۱۰ kW)

۷-۱-۱ کلیات

یادآوری ۱- مجموعه‌های تولیدی تک فاز و فشار ضعیف عموماً ماشین‌های سیار یا قابل جابجایی با ظرفیت۰٫۲ kW تا ۱۰ kW می‌باشند.

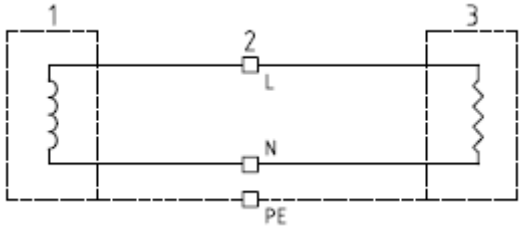
یادآوری ۲- اتصالات سیم‌پیچ‌ها به‌طورمعمول بیرون آورده شده و به پریزی متصل می‌گردد که در آن هادی سوم یا هادی حفاظتی به محفظه مولد وصل می‌شود.

مولدهای تک فاز کوچک به‌عنوان سیستم‌های شناور مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، یعنی سیم‌پیچ به بدنه یا زمین متصل نمی‌باشد، شکل ۷ مشاهده شود؛ بدنه و محفظه‌ی مولد باید از طریق یک رشته از کابل ارتباطی به‌عنوان رسانای حفاظتی که به‌درستی متصل شده باشد با تمام هادی‌های در دسترس سمت بار همبندی شود.

کابل‌ها، دوشاخه‌ها، پریزها و متصل‌کننده‌های کابل باید برای شرایط محیطی مربوطه مناسب باشند. کابل‌ها باید از نوع انعطاف‌پذیر باشند و دارای یک نوار بافته‌شده یا پرده فلزی بوده که به‌عنوان هادی حفاظتی مناسب قابل‌استفاده باشد.

یادآوری ۳- اتصال کابل با نوار بافته‌شده به پریزهای داخلی ممکن است مشکل باشد. به همین دلیل شاید ترجیح داده شود از سوکتها و پریزهایی انتخاب شود که مطابق با استاندارد BS EN 60309 (همه قسمت‌ها) باشد.

اگر از یک کابل بدون پرده فلزی استفاده‌شده باشد، باید انعطاف‌پذیر و دارای پوشش خارجی تقویت‌شده با مقاومت سایشی بالا و یک هادی حفاظتی مستقل باشد.



راهنما:

1 مولد زمین نشده
2 دوشاخه و پریز
3 وسیله

شکل ۷- مولدهای تک فاز فشار ضعیف کوچک به‌عنوان یک سیستم شناور

کابل‌ها، دوشاخه‌ها و پریزها باید به‌طور مرتب بررسی شوند و اگر معیوب بودند، بدون تعمیر باید جایگزین شوند؛ تجهیزات و کابل‌هایی که در شرایط خوبی هستند، برای ایمنی مداوم یک سیستم زمین نشده حیاتی هستند و خط مقدم حفاظت در مواجهه با خطر شوک را تشکیل می‌دهند.

درصورتی‌که عملی است تمام کابل‌ها باید کوتاه باشند و تغذیه باید به‌طور فشرده به بار نزدیک باشد، زیرا تجربه نشان داده است که تأسیسات فشرده نسبت به نوع گسترده آن احتمالاً کمتر در معرض آسیب عایقی منتهی به خطای اتصال به زمین می‌شود.

باید توجه شود که RCDها در اولین خطا عمل نمی‌کنند و تنها در مورد خطاهای خاص بعدی عمل خواهند کرد.

۷-۱-۲ اقدامات حفاظتی جداسازی الکتریکی

با توجه به الزامات ارائه شده در بخش 413 از استاندارد BS 7671:2008+A3، سازه‌های زمین نشده در انطباق با زیر بند ۷-۱-۱ باید به یک مورد از تجهیزات محدود شود مگر اینکه با مجوز فرد خبره یا ذی‌صلاح باشد (به مجموعه مقررات 418.3 از استاندارد BS 7671:2008+A3 مراجعه شود).

۷-۱-۳ مولدهای زمین نشده (با توان نامی زیر ۱۰ kW) جهت تغذیه تأسیسات نصب ثابت

در مواردی که از مولد زمین نشده جهت تغذیه یک تأسیسات نصب ثابت (به شکل ۸ مراجعه شود) استفاده می‌شود، توصیه می‌گردد که قطع خودکار تغذیه طبق موارد زیر انجام گیرد:

الف- یک قطب از مولد تک فاز باید به ترمینال زمین اصلی تأسیسات متصل گردد؛

ب- ترمینال زمین اصلی باید به الکترود زمین متصل گردد (شکل ۸)؛

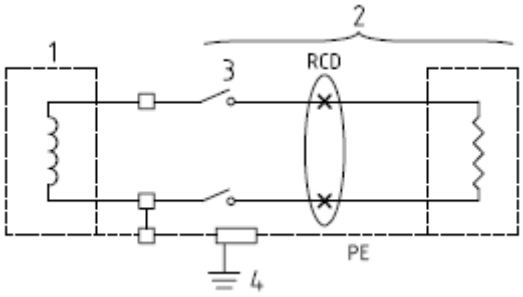
پ- تأسیسات باید مطابق با استاندارد BS 7671:2008+A3 با اتصال تمامی قسمت‌های رسانای در دسترس و قسمت‌های رسانای بیگانه به ترمینال زمین اصلی باشد؛

ت- تأسیسات باید با RCDها حفاظت شوند.

تأسیسات باید مطابق الزامات استاندارد BS 7671:2008+A3 شامل آنچه برای قطع خودکار تغذیه ذکرشده، باشد.

الکترود زمین نباید مقاومت زمین بیش از ۲۰۰ Ω داشته باشد (به جدول 41.5 یادآوری 2 از استاندارد BS 7671:2008+A3 مراجعه شود)

RCD، حفاظتی برای خطاهای سمت مولد این RCD فراهم نمی‌کند و در نتیجه تمهیدات پیشگیرانه باید دیده شوند.



راهنما:

1 مولد زمین نشده
2 تأسیسات الکتریکی
3 جداساز
4 ترمینال زمین اصلی

شکل ۸- مولدهای فشار ضعیف کوچک برای تغذیه تأسیسات نصب ثابت

۷-۱-۴ مولدهای زمین نشده تغذیه‌کننده‌ی واحد سیار یا قابل جابجایی

بهتر است بخش 717 از استاندارد BS 7671:2008+A3 و به‌طور ویژه شکل 717.2 برای سازه‌هایی که واحدهای سیار و قابل جابجایی را تغذیه می‌کنند، استفاده شود.

آنجایی که یک مولد زمین نشده جهت تغذیه تأسیسات سیار بکار گرفته شود، توصیه می‌شود که اقدامات حفاظتی قطع خودکار از تغذیه طبق رویه زیر انجام گیرد: (به شکل ۹ مراجعه شود).

الف- یک قطب از مولد تک فاز باید به ترمینال زمین اصلی تأسیسات متصل گردد؛

ب- تأسیسات باید مطابق با استاندارد BS 7671:2008+A3 با اتصال تمامی قسمت‌های رسانای در دسترس و قسمت‌های رسانای بیگانه به ترمینال زمین اصلی باشد؛

پ- تأسیسات باید با RCDها حفاظت شوند؛

ت- اگر واحد، تجهیزات یا پریزهای بیرونی را تغذیه می‌کند، باید این مدارات توسط RCDهایی که در آن‌ها جریان عملیاتی باقی‌مانده نامی از ۳۰ mA و زمان عملیاتی از ۴۰ ms فراتر نرود برای یک جریان باقی‌مانده $5I_{\Delta n}$، طبق بخش 717 و مقررات 551.4.4 از استانداردBS 7671:2008+A3 حفاظت شوند.

تأسیسات باید مطابق الزامات استاندارد BS 7671:2008+A3 شامل آنچه برای قطع خودکار تغذیه ذکرشده باشد.

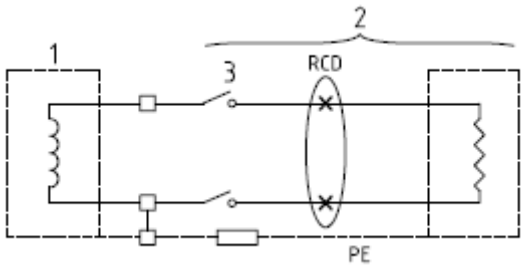
اگر عملی است، یک الکترود زمین با مقاومت زمین به‌اندازه کافی پایین باید به ترمینال زمین اصلی واحد متصل شود تا RCD ها عملکرد داشته باشند، RCD، حفاظتی برای خطاهای سمت مولد این RCD فراهم نمی‌کند و در نتیجه تمهیدات پیشگیرانه باید دیده شوند.

۷-۲ مجموعه‌های تولیدی زمین شده

۷-۲-۱ کلیات

اتصال به زمین مجموعه‌های تولیدی برق برای محدود کردن پتانسیل هادی‌های حامل جریان نسبت به جرم کلی زمین در شرایط خطا و یا نامتعادلی صورت می‌پذیرد و به‌طورکلی به‌عنوان قسمتی از حفاظت در برابر خطر شوک الکتریکی ضروری می‌باشد (به شکل‌های ۱۰ تا ۱۲مراجعه شود).

اتصال زمین حفاظتی مجموعه‌های تولیدی، از طریق اتصال بدنه و نقطه خنثی مجموعه تولیدی، قسمت‌های رسانای در دسترس و قسمت‌های رسانای بیگانه مربوط به ترمینال زمین اصلی انجام می‌شود. ترمینال یا شینه زمین باید به یک الکترود زمین مستقل متصل شود. امپدانس حلقه‌ی زمین در هر نقطه از تأسیسات باید به اندازه‌ی کافی کوچک باشد تا عملکرد حفاظت خطا به طور مطمئن اجرا شود، و اگر الکترود زمین مانند سیستم TT (اما نه TN) بخشی از حلقه خطای اتصال به زمین را تشکیل می‌دهد نیز این نکته باید موردتوجه قرار گیرد.



راهنما:

1 مولد زمین نشده
2 واحد قابل‌حمل
3 جداساز

شکل ۹- مولدهای زمین نشده کوچک تغذیه‌کننده‌ی یک واحد سیار یا قابل جابجایی

برای الکترودهای زمین مستقل مرتبط با زمین محلی نقطه مرکز ستاره نیروگاه تولیدی، مقاومت زمین نباید از ۲۰ Ω فراتر رود.

یادآوری ۱- اگر مجموعه تولیدی به‌طور دائمی نصب‌شده باشد، سایر تجهیزات زمین مربوط به تأسیسات ممکن است ضروری باشد.

یادآوری ۲- در اجرای زمین سیستم الکتریکی ممکن است نیاز باشد تا نقطه خنثی مولد AC به‌طور مستقیم و یا از طریق امپدانس به زمین متصل گردد.

در مواردی که هریک از تأسیسات از بیش از یک منبع انرژی تغذیه شود (مثلاً یک تغذیه از یک شرکت توزیع و یک تغذیه از مجموعه تولیدی)، سیستم زمین تأسیسات مربوطه باید طوری طراحی شود تا هریک

از منابع که می‌تواند مستقل از منابع دیگر کار کند، درصورتی‌که سایر منابع دیگر وصل نباشند، زمین شده باقی بماند.

یادآوری ۳- روش‌های مختلفی در طراحی سیستم وجود دارد و برای هر کاربرد خاص، نحوه دقیق زمین کردن هر منبع انرژی به توصیه‌های تأمین‌کننده‌ی تجهیزات و پارامترهای سیستم بستگی خواهد داشت.

یادآوری ۴- شبکه‌های توزیع فشار ضعیف سراسری باید طبق دستورالعمل‌ها و استاندارد سیستم زمین شبکه‌های توزیع [۳] مستقیماً به زمین وصل شوند. ازآنجایی‌که انتظار می‌رود هر تأسیسات متصل شده به شبکه توزیع به همان روش طراحی شود، به‌طورمعمول برای هر مجموعه‌های تولیدی که چنین تأسیساتی را تغذیه می‌کند، بر اتصال مستقیم به زمین انطباق می‌یابد.

هرگاه در نظر باشد یک مجموعه تولیدی خصوصی برای تغذیه قسمتی از سیستم مصرف‌کننده‌ای که در حالت معمول از طریق شرکت توزیع تغذیه می‌شده است استفاده شود، باید با شرکت توزیع و تأمین‌کننده مشورت گردد.

۷-۲-۲ مراجع

توصیه‌های مهندسی ENA ذیل در صورت لزوم باید مورد مشورت قرار گیرند:

- ER G59، توصیه‌ها برای اتصال نیروگاه تولیدی تعبیه‌شده به سیستم‌های توزیع شرکت‌های برق منطقه‌ای؛
- ER G83، توصیه‌هایی برای اتصال مولدهای مقیاس کوچک تعبیه‌شده (تا A ۱۶ بر فاز) موازی با شبکه‌های توزیع فشار ضعیف عمومی؛
- ER G84، توصیه‌هایی برای اتصال مجموعه تولیدی تلفن همراه به شبکه‌های توزیع عمومی.

یادآوری- مرجع ER G84 روش‌های کاری توصیه‌شده جهت اتصال مجموعه‌های تولیدی قابل‌حمل کوچک و مجموعه‌های تولید سیار بزرگ برای مقاصد تأمین تغذیه موقتی مشترکین یا برای شبکه پشتیبان را ارائه می‌دهد. این مرجع به اتصالات مستقیم به شبکه فشار ضعیف و اتصالات از طریق واحد افزاینده به شبکه فشارقوی اشاره دارد.

۷-۲-۳ مجموعه‌های تولیدی با توان نامی بیشتر از ۱۰ kW

مجموعه‌های تولیدی با خروجی بیشتر از ۱۰ kW عموماً سه فاز هستند؛ این نوع مجموعه‌ها در محفظه‌های ضد آب و عایق صوتی محصورشده و سوار بر چرخ یا خودرو ممکن است به‌طور دائمی در ساختمان‌ها نصب شوند. توصیه می‌شود فرض شود که خروجی سیم پیچی‌های مولد حتما به قاب متصل نیستند.

یک مولد مستقل ممکن است به‌منظور تغذیه کارگاه‌های ساختمانی (به بخش 704 از استاندارد BS 7671: 2008، مراجعه شود) یا تأسیسات موقت برق (به بخش 740 از استاندارد BS 7671: 2008، مراجعه شود) به‌عنوان جایگزینی برای شبکه توزیع که هنوز در دسترس نیست، نصب شود. چنین تأسیساتی، هرچند موقت، باید مقاوم و مطابق با الزامات استاندارد BS 7671: 2008، مجهز به یک ترمینال زمین اصلی که عموماً متصل به یک الکترود زمین است، باشد.

۷-۲-۴ مولدهایی با عملکرد مستقل از شبکه

در این روش بهره‌برداری، نیروگاه تولیدی باید به‌عنوان تنها منبع تغذیه یک تأسیسات باشد. اگر تنها یک مولد وجود داشته باشد، هر دو زمین سیستم حفاظتی و تغذیه از اتصال نقطه‌ی خنثی اتصال ستاره مولد، بدنه مولد، قسمت‌های رسانای در دسترس و قسمت‌های رسانای بیگانه به یک ترمینال زمین اصلی و استفاده از یک الکترود زمین مستقل حاصل می‌شوند. در مواردی که بیش از یک مولد به‌طور موازی کار می‌کنند، جزئیات مربوط به جریان‌های گردشی خنثی/ زمین، طبق روش‌های ارائه شده در زیر بند ۷-۲-۶ اشاره‌شده است.

۷-۲-۵ مولدهایی که یک تغذیه جایگزین را فراهم می‌کنند

در این روش بهره‌برداری، نیروگاه تولیدی می‌تواند به‌منظور تأمین یک تغذیه جایگزین کامل برای کل یا بخشی از یک تأسیسات استفاده شود. بهتر است به فرایندهای چیدمان تغییر وضعیت منبع توجه ویژه شود چراکه عملکرد موازی با شبکه امکان‌پذیر نمی‌باشد. جداسازی خط و نقطه خنثی از تغذیه برق ورودی باید فراهم شود.

در مواردی که تنها یک مجموعه تولیدی وجود دارد، نقطه‌ی خنثی سیم‌پیچی‌های آن، بدنه‌ی مولد، کلیه قسمت‌های رسانای در دسترس و قسمت‌های رسانای بیگانه باید به ترمینال زمین اصلی وصل شوند. این شینه زمین باید به یک الکترود زمین مستقل و درصورتی‌که کفایت کند به ترمینال زمین که توسط شبکه‌ی تغذیه پیش‌بینی می‌شود، متصل گردد.

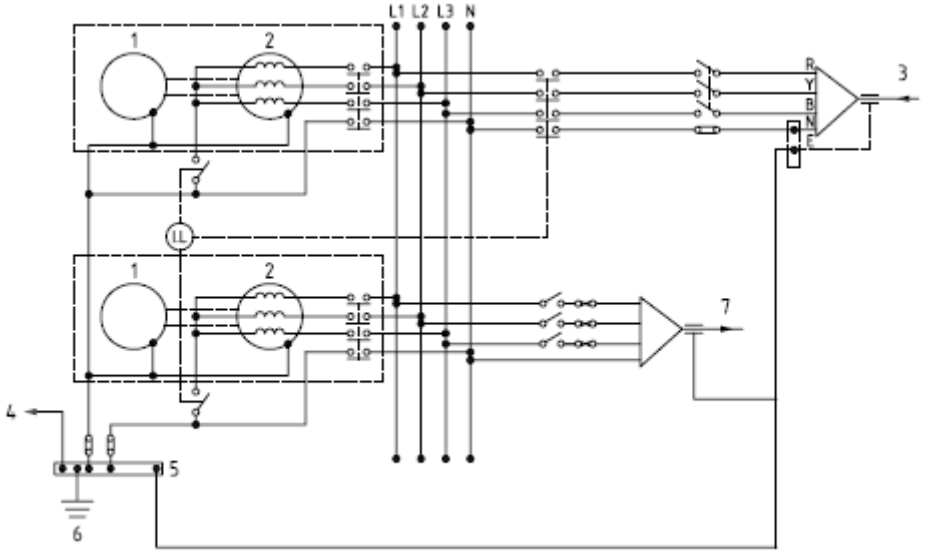
۷-۲-۶ دو یا چند مولد با عملکرد موازی (به‌منظور فراهم آوردن یک تغذیه جایگزین)

هنگامی‌که دو یا چند مجموعه تولیدی، به‌طور موازی برای تغذیه تأسیسات استفاده شوند، زمین حفاظتی بدنه‌های مولد و قسمت‌های فلزی مربوط به آن، باید از فرایند مشابهی که برای یک مجموعه تولیدی تشریح شد، پیروی کنند. درهرحال روش اتصال زمین سیستم تغذیه برای سیم‌پیچ‌های مولد باید با توجه به دامنه جریان‌های گردشی، به‌طورمعمول هارمونیک سوم، که می‌تواند در هادی‌های خنثی/ زمین جریان پیدا کنند، انتخاب شود.

این مسئله را می‌توان با یکی از رویکردهای زیر برطرف کرد:

- مجموعه‌های تولیدی که شامل مولدهایی با تولید هارمونیک کمتر در خروجی هستند (مانند ماشین‌های با سیم‌پیچ زیگزاگ)؛
- کلیدزنی نقطه‌ی ستاره به‌نحوی‌که در هنگام عملکرد موازی، نقطه‌ی خنثی فقط یک مولد به زمین متصل گردد (یک آرایش کلیدزنی نقطه ستاره در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است). بسیار مهم است که قفل و بست‌های مکانیکی و الکتریکی بر کلیدهای نقطه‌ی ستاره پیش‌بینی شود تا صحت کار اتصال زمین/ خنثی را در همه‌ی موارد و تحت کلیه شرایط کاری ممکن، تضمین گردد؛

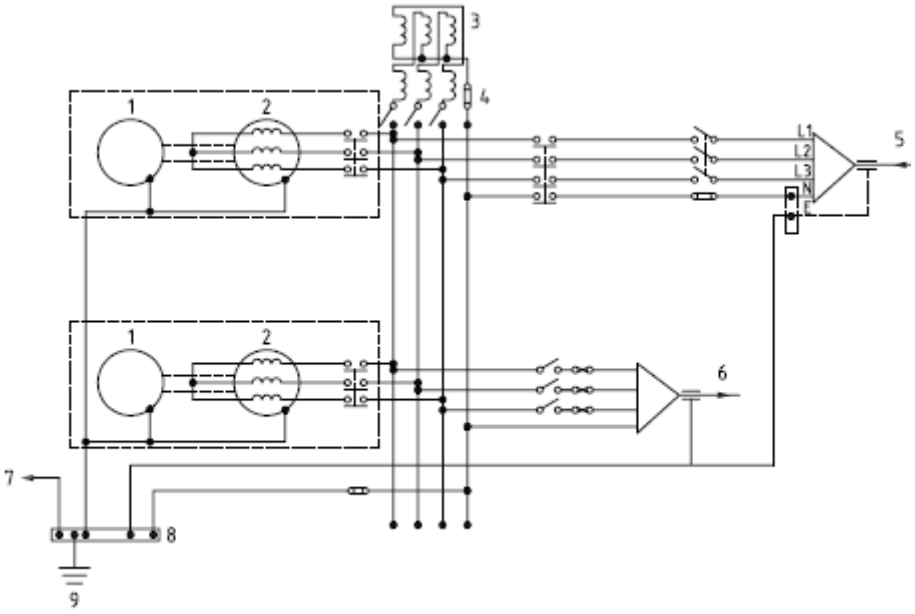
- استفاده از یک ترانسفورماتور اتصال به زمین خنثی بین هادی‌های فاز و زمین؛ این کار اتصال دائمی نقطه خنثی تأسیسات را به زمین به‌طور دائم میسر می‌سازد، درحالی‌که مولدها به‌صورت ماشین‌های سه سیمه به شین‌ها متصل می‌شوند(یک ساختار ترانسفورماتور اتصال به زمین خنثی در شکل ۱۱ ارائه شده است.)؛ یا
- استفاده از یک راکتور مناسب در محل وصل نقطه خنثی هر مولد که باعث تضعیف جریان‌های فرکانس بالا شود، بدون آنکه امپدانس قابل‌توجهی را در فرکانس اصلی از خود نشان دهد (یک چیدمان اتصال به زمین برای یک بهره‌برداری تک ماشینه در حالت تغییر وضعیت در شکل ۱۲ نمایش داده‌شده است).



راهنما:

---------	کابل یا غلاف حفاظتی زمین (در صورت وجود)	3	منبع شبکه برق LV
(IL)	قفل و بست مکانیکی برای اطمینان از اینکه منبع انرژی همیشه فقط در یک نقطه زمین شده است.	4	قسمت‌های رسانای بیگانه
N E	اتصال PME (در صورت وجود)	5	شینه زمین
1	محرک اولیه	6	الکترود زمین مستقل
2	مولد	7	بار

شکل ۱۰- مولدهای فشار ضعیف آماده به کار با کلیدزنی نقطه ستاره



راهنما:

--------	کابل یا غلاف حفاظتی زمین (در صورت وجود)	5	منبع تغذیه LV
N E	اتصال PME (در صورت وجود)	6	بار
1	محرک اولیه	7	قسمت‌های رسانای بیگانه
2	مولد	8	شینه زمین
3	ترانسفورماتور زمین خنثی	9	الکترود مستقل زمین
4	کلید غیر خودکار		

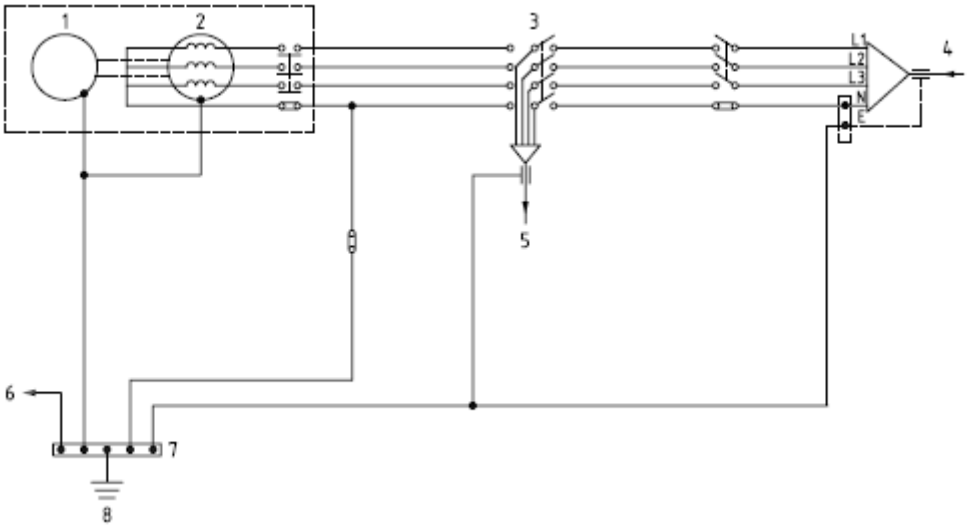
یادآوری – اگر یک کلید جداکننده نصب شود. یک ترانسفورماتور زمین در هر باس بار موردنیاز است

شکل ۱۱- مولدهای فشار ضعیف آماده به کار با ترانسفورماتورهای زمین کننده‌ی نقطه‌ی خنثی

۷-۲-۷ مولد با عملکرد موازی با شبکه تغذیه

عملکرد موازی مولدهای سنکرون و آسنکرون تحریک‌شده با یک تغذیه ورودی فراهم‌شده از طرف شرکت توزیع به‌طور کلی مجاز است.

اگر یک نقطه‌ی خنثی بر روی سیم‌پیچی‌های مولد وجود داشته باشد، این نقطه نباید زمین شود. بدنه مولد، قسمت‌های رسانای در دسترس و قسمت‌های رسانای بیگانه باید به ترمینال زمین اصلی تأسیسات و در صورت امکان شینه زمین شبکه توزیع، متصل گردند.



راهنما:

---------	کابل یا غلاف حفاظتی زمین (در صورت وجود)	4	منبع تغذیه LV
N E	اتصال PME (در صورت وجود)	5	بار
1	محرک اولیه	6	قسمت‌های رسانای بیگانه
2	مولد	7	شینه زمین
3	امکان تغییر وضعیت (خودکار و دستی)	8	الکترود زمین مستقل

یادآوری – کلید تغییر وضعیت می‌تواند سه پل با خنثی باشد.

شکل ۱۲- مولدهای فشار ضعیف آماده به کار تکی (بدون امکانات موازی کردن)

مولدهای سنکرون و آسنکرون خود تحریک می‌توانند به‌طور موازی با شبکه کار کنند، به شرطی که در صورت قطع برق ورودی یا بروز خطای جزئی، حفاظت لازم برای قطع تغذیه ورودی فراهم باشد.

وقتی‌که یک مجموعه تولیدی در حالت موازی با شبکه کار می‌کند، مشکلات مربوط به جریان‌های گردشی خنثی/ زمین شدت می‌یابد. در مواردی که اندازه جریان‌های گردشی بیش‌ازحد شود و یا اگر لازم شود مجموعه‌های تولیدی در حالت تغییر وضعیت کار کند، توصیه‌های اشاره‌شده در زیر بند ۷-۲-۶ باید بکار گرفته شوند.

۷-۲-۸ واحدهای سیار یا قابل‌حمل

مولد، کابل‌ها و تجهیزات بار برای مجموعه‌های تولیدی باید مطابق با استاندارد BS 7671:2008 نصب شوند، شامل مقررات 551.4.4 و بخش 717 که به ارائه‌ی الزامات مولد و تأسیسات سیار می‌پردازد.

این واحدهای قابل‌حمل می‌توانند روی تریلر، شاسی یا یک وسیله‌ی نقلیه نصب شوند و توان خروجی آن‌ها بیش از ۱۰ kW باشد (همان‌طور که بیان شد، سیم‌پیچ‌های مولد را نمی‌توان به بدنه ماشین وصل کرد). ترمینال‌های سه فاز و اتصالات نقطه‌ی خنثی باید جداگانه به جعبه ترمینال مولد و یا در مولدهای کوچک‌تر به پریز خروجی که طبق استاندارد BS EN 60309 (همه‌ی قسمت‌ها) باشد، آورده شوند.

به‌منظور محدود ساختن پتانسیل هادی‌ها نسبت به بدنه فلزی و اطمینان از عملکرد صحیح وسایل حفاظتی، نقطه‌ی ستاره سیم‌پیچ‌های مولد باید به یک نقطه‌ی مرجع مشترک وصل شود. برای ایجاد این نقطه‌ی مرجع بدنه مولد، کلیه قسمت‌های فلزی در دسترس، شاسی وسیله‌ی نقلیه و کلیه هادی‌های حفاظتی باید به نقطه‌ی مرجع مشترک وصل شوند.

جعبه ترمینال و یا پریز اتصالی باید دارای پنج اتصال باشد به این معنی که یک اتصال برای هادی حفاظتی به‌طور مجزا و چهار اتصال دیگر برای سه فاز و خنثی دیده شود. چنانچه چهار ترمینال دیده شود، مولد فقط باید برای تغذیه بارهای متعادل بکار گرفته شود و یک اتصال باید برای هادی حفاظتی رزرو شود. قابل توجه است اتصال چهارم و هادی مربوطه نباید برای اهداف خنثی/حفاظتی مشترک استفاده شود، زیرا در صورت قطع این هادی احتمال بروز خطر افزایش می‌یابد.

استفاده از هادی‌های مجزای خنثی و حفاظتی ضروری است و لازم است که در سمت بار کلید RCD، اتصال بین خنثی و زمین وجود نداشته باشد.

۷-۲-۹ حفاظت تکمیلی در برابر برق‌گرفتگی

یادآوری ۱- برخی مولدهای سه فاز با یک RCD داخلی عرضه می‌شوند و نقطه‌ی ستاره سیم‌پیچی‌ها به‌صورت داخلی با بدنه مولد و ترمینال هادی حفاظتی همبندی می‌شوند. علاوه بر این، ممکن است نصب یک RCD مجزا به جهت فراهم آوردن یک اتصال خارجی مناسب ضروری باشد.

به‌منظور حفاظت در برابر برق گرفتگی، در زمان اتصالی یک بخش برقدار و جرم کلی زمین، با توجه به استاندارد BS 7671:2008+A3 و مقررات411.3.3، باید یک RCD با جریان ۳۰ mA در نظر گرفته شود و نقطه‌ی مرجع مشترک/ ترمینال زمین اصلی به زمین اصلی متصل گردد.

یادآوری ۲- در صورت عدم وجود اتصال تعمدی بین هادی حفاظتی و زمین، تماس اتفاقی بین پوشش فلزی تجهیزات و زمین ممکن است به‌گونه‌ای باشد که هر جریان خطای اتصال به زمین محتمل به خطر شوک، منجر به عملکرد RCD شود بااین‌وجود بهتر است به‌منظور اطمینان از عملکرد هرکجا که عملی است، اتصال زمین انجام گیرد.

مطابق استاندارد BS 7671:2008+A3 مقاومت الکترود زمین باید کمتر از $50/I_{\Delta n}$ باشد که $I_{\Delta n}$ جریان عملیاتی اسمی RCD است.

یادآوری ۳ - برای RCD با جریان ۳۰ mA در ولتاژ ۲۳۰V، یک مقاومت زمین ۱۶۶۷ Ω مجاز خواهد بود. بااین‌وجود، یک یادآوری در جدول 41.5 از استاندارد BS 7671:2008 توصیه می‌کند که مقاومت تا جایی که عملی است کاهش یابد و مقاومت بیشتر از ۲۰۰ Ω ممکن است پایدار نباشد.

۷-۳ منابع تغذیه بدون وقفه (UPS)

حفاظت خطای UPS باید مطابق زیر بند 551.4.3.3 از استاندارد BS 7671+A3 باشد.

۷-۴ منابع دیگر

حفاظت خطای سایر منابع باید مطابق استاندارد BS 7671:2008+A3 باشد.

۸ تأسیسات خاص

۸-۱ داربست‌های موقت و سازه‌های فلزی مشابه

۸-۱-۱ سازه‌های فلزی که به کمک اتصالات پیچی یا بست‌های پیچی اجرا می‌شوند.

یادآوری ۱- در مواردی که سازه‌ها با استفاده از اتصالات پیچی یا بست‌های پیچی نصب‌شده باشند، تعداد این اتصالات احتمالاً چندین مسیر با مقاومت نسبتاً کم ایجاد می‌کند. گرچه این سازه‌ها به‌منظور یک ارتباط الکتریکی مداوم طراحی نشده‌اند، منطقی است فرض شود که آن‌ها مقاومت الکتریکی پایینی دارند.

صرف‌نظر از نوع بست‌ها و یا پایه‌هایی که در تماس با زمین می‌باشند و صرف‌نظر از نحوه وصل سازه موقت به سازه دائمی، نباید فرض شود که سازه موقت فلزی به نحوی مؤثر زمین شده است.

یادآوری ۲ - بیشتر اصول داربست‌های فلزی، موضوع مقررات قانونی مربوط به کار ساخت‌وساز هستند. توزیع برق در کارگاه‌های ساختمانی باید مطابق استاندارد BS 7375 باشد.

به‌غیراز موارد لازم برای اهداف حفاظت در برابر صاعقه (به زیر بند ۸-۲ مراجعه شود)، داربست‌های خارجی یک سازه نباید از طریق سازه‌ای که در اختیار تأمین‌کننده برق است به هادی‌های زمین متصل گردد.

جایی که داربست در مقابل یا اطراف یک سازه‌ای غیر برقدار احداث گردد و تجهیزات الکتریکی برای کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار نگرفته باشند، ممکن است همبندی الکتریکی به‌منظور حفاظت در برابر شوک حذف شود.

در مواردی که هادی‌های حفاظتی موردنیاز هستند، باید از جنس مس بوده و به‌وسیله پوشش عایقی حداقل معادل با عایق یک کابل بدون غلاف در برابر خوردگی محافظت‌شده باشند و باید از مسیری عبور کنند که از آسیب ناشی از کار تجهیزات و فعالیت‌های کاری جلوگیری شود. یک هادی باید توسط یک بست مقاوم در برابر خوردگی مطابق با استاندارد BS 951 به داربست متصل شود و به‌طور مناسب در برابر آسیب‌های مکانیکی محافظت گردد.

برای سازه‌های داربست گسترده، اتصالات زمین باید در فواصل افقی کمتر از ۲۰ m ایجاد (و تکرار) شوند.

۸-۱-۲ سازه‌هایی که بخشی از اقدامات احتیاطی برای جلوگیری از خطرات ناشی از خطوط هوایی برق‌دار را تشکیل می‌دهند

یادداشتی در مورد زیر بند ۸-۱-۲- مجری ایمنی و سلامت (HSE[1])، راهنمای خطرات خطوط انتقال هوایی را منتشر کرده است [۱۶].

1- health and safety executive

۸-۲ حفاظت در برابر صاعقه

اگر سازه فلزی موقتی در نزدیکی یک سازه موجود حفاظت‌شده در برابر صاعقه و یا دارای سیستم صاعقه گیر (LPS[2]) باشد، نصب شود، این سازه باید هم به شبکه اتصالات زمینی و هم به شبکه اتصالات هوایی LPS هم‌بندی شود. در غیر این صورت، حفاظت در برابر صاعقه باید با توجه به ارزیابی خطر انجام‌شده مطابق با استاندارد BS EN 62305-2 ارائه شود.

سایر سازه‌های بلند فلزی موقتی ممکن است برای حفاظت کافی در برابر صاعقه به الکترودهای زمین جداگانه نیاز داشته باشند که به ساختار پی‌ها و پایه‌های موقت بستگی دارد. استاندارد BS EN 62305-3 برای رهنمود بیشتر باید بکار گرفته شود و در صورت لزوم باید نظر متخصص اخذ گردد.

۸-۳ سایر سازه‌های موقت

توصیه‌هایی برای اجرای زمین یا آرایش‌های همبندی خاص یعنی سازه‌هایی که نیاز به حفاظت در برابر صاعقه ندارند چه برای آن‌هایی که در نزدیکی خطوط هوایی نبوده و چه برای آن‌هایی که مدارهای الکتریکی با ولتاژ بیش از ۲۵ V متناوب نسبت به زمین را حمل نمی‌کنند، وجود ندارد.

۸-۴ تجهیزات و مدارهای مخابراتی

توصیه‌هایی برای نصب کابل و اجرای زمین تجهیزات مخابراتی، شامل تجهیزات مربوط به ایستگاه‌های ولتاژ بالا، در ER S36-1 ارائه شده است.

آنجا که تجهیزات مخابراتی در مجاورت تجهیزات فشارقوی تولید، انتقال و توزیع است، باید اقدامات احتیاطی خاصی صورت گیرد تا از انتقال افزایش ولتاژ سیستم زمین تجهیزات فشارقوی به مدارات مخابراتی جلوگیری شود.

2- Lightning protection system

۸-۵ تجهیزات معابر

۸-۵-۱ کلیات

یادآوری- تجهیزات معابر شامل پایه‌های روشنایی ثابت، سیستم ترافیک، سیگنال‌های عابر پیاده، علائم راهنمایی و رانندگی، چراغ‌های روشنایی و دیگر تجهیزات الکتریکی می‌باشد.

مرجع الزامات موردنیاز برای چراغ‌های روشنایی و تأسیسات روشنایی در بخش 559 از استاندارد BS 7671:2008+A3 مشخص‌شده است.

ساختار تجهیزات معابر می‌تواند شامل موارد ذیل باشد:

الف- ساختار کلاس I، که در آن قسمت‌های رسانای در دسترس به ترمینال زمین داخل تجهیزات اتصال یابند، همان‌طور که در زیر بند ۸-۵-۲ شرح داده شد؛ یا

ب- ساختار کلاس II، که در آن هیچ مقرراتی برای اتصال قطعات فلزی در دسترس در تجهیزات معابر به زمین ایجاد نشده است. در این نوع ساختار باید اطمینان حاصل شود که هرگونه هادی حفاظتی یا PEN در کابل تغذیه، دارای اتصالات عایق باشد که مانع تماس یا اتصال به قطعات فلزی تجهیزات معابر گردد.

سیستم تغذیه باید یک سیستم TN-S با هادی‌های جداگانه فاز، خنثی و حفاظتی باشد، یا یک سیستم TN-C-S باشد که منبع تغذیه آن یک کابل هم‌مرکز شامل زمین و خنثی ادغام‌شده در قالب یک سیستم PME است، یا یک سیستم TT باشد که در آن منبع تغذیه تنها شامل یک هادی فاز و خنثی است. ولتاژ منبع تغذیه باید فشار خیلی ضعیف (معمولاً کمتر از ۵۰ V) و یا فشار ضعیف (معمولاً تک فاز در ۲۳۰ V یا سه فاز در ۴۰۰ V) باشد.

پانل‌های دسترسی، بدنه‌ها و یا درب‌های تجهیزات معابر ممکن است سازه غیرفلزی یا فلزی باشند که برای دسترسی لولایی بوده یا باید قابلیت گذاشت و برداشت داشته باشد. پانل‌های دسترسی، درپوش‌ها و یا درهای تجهیزات معابر نباید به‌عنوان یک عامل حفاظت پایه به‌منظور جلوگیری از تماس به بخش‌های برق‌دار داخل تجهیزات معابر تلقی شوند. بهتر است محافظ‌ها و موانع کافی برای فراهم آوردن سطح حفاظت لازم ایجاد شوند (برای جزئیات بیشتر به استاندارد BS 7671:2008+A3 مراجعه شود).

برای تجهیزات معابر با ساختار کلاس II، هیچ‌گونه اتصال الکتریکی نباید بین پانل‌های فلزی در دسترس، بدنه‌ها یا درب‌ها و سایر بخش‌های فلزی موجود در وسایل برقرار گردد.

برای تجهیزات معابر با ساختار کلاس I، مشخصات سیستم تغذیه، مشخصات سیستم زمین، شامل نحوه‌ی اجرای زمین مصرف‌کننده، جنس تجهیزات معابر و سطوح محافظ، و آنچه مربوط به پانل‌ها است از جمله بدنه یا درب‌های دسترسی چه به‌صورت لولایی یا قابل گذاشت و برداشت، باید به طراح محاسبات ریسک اطلاع‌رسانی شوند تا نیاز آن‌ها به ارتباط الکتریکی توسط طراح ارزیابی شود.

برای دستیابی به یک قضاوت مستدل مهندسی، برای یک سیستم TN-C-S باید به موارد ثبت‌شده و امکان جابجایی فاز و نول در آینده یا از دست رفتن اتصال خنثی در طرف تغذیه توجه شود.

در همه‌ی موارد، قبل از آنکه کار طراحی روی تجهیزات معابر جدید شروع شود باید با شرکت توزیع مشورت شود تا نوع سیستمی که تأسیسات جدید را تغذیه می‌کند معلوم گردد.

۸-۵-۲ سیستم‌های تغذیه برای تجهیزات معابر

۸-۵-۲-۱ کلیات

تجهیزات معابر عموماً از سیستم‌های TN-S و یا TN-C-S تغذیه می‌شوند.

۸-۵-۲-۲ سیستم‌های TN-S

تجهیزات معابر می‌توانند از طریق سیستم TN-S تغذیه و حفاظت شوند و در چنین چیدمان از یک کابل تغذیه با هادی‌های فاز، خنثی و حفاظتی مجزا از یکدیگر استفاده می‌شوند. در کلاس I تجهیزات معابر، سیم‌کشی در سمت بار وسیله‌ی حفاظتی در هر واحد باید شامل هادی‌های فاز، خنثی و مدار حفاظتی مجزا باشد. قسمت‌های رسانای در دسترس بخش‌های تجهیزات معابر باید به ترمینال زمین در داخل دستگاه اتصال داده شود. ترمینال زمین باید خود به هادی حفاظتی مدار تغذیه متصل شود.

اگر همه تأسیسات از اقلام کلاس II باشند، هیچ هادی حفاظتی نیاز نیست و سیم‌کشی سمت بار وسیله‌ی حفاظتی می‌تواند تنها شامل هادی‌های فاز و خنثی باشد.

توصیه می‌شود، در یک مدار که یک یا چند قلم از تجهیزات کلاس II و یا ترکیبی از کلاس I و کلاس II را تغذیه می‌کند، یک هادی مدار حفاظتی اجرا شود و در هر نقطه از سیم‌کشی و تجهیزات جانبی اتصالات مناسب برقرار شود.

۸-۵-۲-۳ سیستم TN-C-S

یک روش دیگر برای تغذیه و حفاظت تجهیزات معابر که می‌تواند بکار گرفته شود، استفاده از سیستم TN-C-S است. در این موارد، به‌طور عادی از کابل تغذیه با هادی حفاظتی و خنثی ادغام‌شده (PEN) ممکن است استفاده شود (برای مثال به یک پایه چراغ روشنایی واحد یا برای تأسیسات بزرگ‌تر، یک PME تأمین‌کننده تغذیه محلی به پایه تغذیه‌کننده، با کابل‌هایی متشکل از هادی‌های فاز، خنثی و حفاظتی مجزا برای تغذیه اقلام خاصی از تجهیزات معابر که ممکن است در مسیرهای پیاده‌روی مورد استفاده قرار گیرند، یا برای تغذیه اقلامی از تجهیزات معابر در بزرگراه‌ها).

درصورتی‌که مداری بیش از یک قلم از تجهیزات معابر را تغذیه کند؛ برای مثال با استفاده از یک کابل با هادی‌های فاز، خنثی و حفاظتی مجزا، یک الکترود زمین باید هم در محل تغذیه و هم در واحد آخر یا ماقبل آخر نصب شود و این الکترود طوری باشد که مقاومت زمین نقطه‌ی خنثی در هر نقطه قبل از وصل هر هادی همبندی یا هادی حفاظتی مدار به ترمینال خنثی کمتر از ۲۰ Ω باشد. اگر یک الکترود تکی

مقاومت بیش از ۲۰ Ω ایجاد کند، باید در فواصل مساوی از هم در امتداد مدار الکترودهای دیگری قرار گیرند.

۸-۵-۲-۴ سیستم‌های TT

یکی دیگر از حالاتی که می‌تواند به وجود آید این است که، مجری روشنایی باید الکترود (های) زمین حفاظتی خود را تعبیه کند: در این صورت توزیع‌کننده برق، ترمینال زمین (یک سیستم TT) را فراهم نمی‌کند.

در این مورد، لازم است اطمینان حاصل شود که هر دو امپدانس اولیه و امپدانس در طول زمان مسیر خطا به‌اندازه کافی کم باشد تا عملکرد دستگاه محافظ در زمان وقوع یک خطا در وسایل را تضمین نماید.

۸-۵-۳ چیدمان حفاظتی برای تجهیزات معابر

الکترود زمین خنثی در ترانسفورماتور تغذیه یک بخش مهم از حلقه خطا است، اما مقاومت زمین آن تحت کنترل مجری روشنایی نیست؛ در چنین شرایطی باید با استفاده از RCDها از قطع تجهیزات معیوب اطمینان پیدا کرد.

پایه‌های روشنایی معابر فلزی یا بخش‌های فلزی موجود در پایه‌های تغذیه‌کننده و یا واحدهای کنترل و غیره، می‌توانند به‌عنوان الکترودهای زمین حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد. ارائه محاسبات مناسب و اندازه‌گیری‌های بعدی نشان می‌دهد که چنین استفاده‌ای مناسب است.

۸-۶ راه‌آهن و ریل‌های حمل‌ونقل

۸-۶-۱ کلیات

راه‌آهن و واگن‌های برقی تأسیساتی هستند که بسته به سیستم‌های برق‌رسانی و سیگنالی آن‌ها لازم است آیین‌نامه‌های بخصوصی را اعمال نمود. بیشتر این تأسیسات استانداردهای فنی با جزئیات برای اجرای زمین، همبندی و اطمینان از ایمنی سیستم‌های الکتریکی مجاور را برای خودشان دارند.

استانداردهای BS EN 50122-1 و BS EN 50122-2 به مباحث خاص راه‌آهن می‌پردازند. (به زیربند ۲-۳۵ مراجعه شود).

برای تأسیسات خارج از ناحیه راه‌آهن، عموماً نیاز به اعمال قوانین بخصوصی نیست.

برای هر یک از تأسیسات که قرار است به‌صورت مستقیم با سیستم الکتریکی راه‌آهن متصل گردد، طراح باید با گروه فنی شرکت متصدی راه‌آهن و یا تراموا مشورت کند.

بدون موافقت صریح اداره فنی مرتبط، ایجاد یا حذف هر اتصالی از هر قسمتی از تأسیسات راه‌آهن و یا تراموا مجاز نیست.

۸-۶-۲ خطوط برق‌دار نشده در محوطه‌های خصوصی

خطوط برق‌دار نشده ریل‌ها در محوطه‌های خصوصی یا پست‌های الکتریکی باید از هر راه‌آهن مجاور ازنقطه‌نظر الکتریکی جدا شوند و به سیستم زمین موجود در محوطه متصل گردند.

اتصالات ریلی با عایق مناسب باید در محدوده سایت لحاظ شود به گونه‌ای که جداسازی الکتریکی از سیستم راه‌آهن هم‌جوار حفظ شود.

یادآوری – در برخی موارد، ممکن است برای جلوگیری از پل زده شدن بر روی عایق توسط وسیله نقلیه ریلی، دو اتصال ریلی عایق موردنیاز باشد.

۸-۶-۳ سیستم‌های برق‌رسانی به تأسیسات راه‌آهن

استانداردهای BS EN 50122-2 و استاندارد ملی به شماره ۱-۲۱۸۴۴ (به زیربند ۲-۳۵ مراجعه شود)، انواع سیستم‌های برق‌رسانی به تأسیسات الکتریکی راه‌آهن را ارائه می‌دهند و به بررسی اقدامات حفاظتی موردنظر با توجه به نوع تأسیسات، موقعیت تأسیسات و نوع تغذیه می‌پردازند.

۸-۷ منابع تغذیه بدون وقفه (UPS)

یادآوری – دو نوع منبع تغذیه بدون وقفه وجود دارد؛ هر دو یک تغذیه بدون وقفه و پیوسته را در شرایط خطای سیستم توزیع نیروی برق فراهم می‌کنند. یک نوع، منابع تغذیه بدون وقفه ایستا هستند که از باتری‌های قابل شارژ جهت فراهم نمودن یک فرم جایگزین تغذیه ورودی استفاده می‌کنند، و قدرت خروجی توسط مبدل‌های استاتیک مشخص‌شده در استاندارد BS EN 62040-1-2 تولید می‌شود. نوع دیگر، یو پی اس‌های چرخشی هستند که در آن قدرت ورودی توسط انرژی ذخیره‌شده و/یا موتور احتراق داخلی تأمین می‌شود و قدرت خروجی توسط یک یا چند ماشین الکتریکی مطابق با استاندارد BS EN 88528-11 فراهم می‌گردد.

حفاظت اتصال به زمین منابع تغذیه بدون وقفه باید مطابق بخش 55 از استاندارد BS 7671:2008+A3 رعایت شود.

۹ سیستم‌های الکترود زمین

۹-۱ کلیات

اجرای زمین یک سیستم یا تجهیزات، برقراری یک اتصال با جرم کلی زمین است. مقاومت این اتصال نباید بزرگ‌تر از مقداری باشد که برای عملکرد سازوکارهای ایمنی، جداسازی تغذیه الکتریکی در یک شرایط خطا و حد تحمل بیشینه جریان خطای مورد انتظار، نیاز است. مقاومت موردنیاز ممکن است همیشه تابع یک مقدار به‌طور خودکار تنظیم‌شده نباشد.

بنابراین، عوامل متعددی که الکترود زمین را شکل می‌دهند بر مقاومت زمین و ظرفیت جریان خطای اتصال به زمین هادی دفن شده، مؤثر هستند، باید در نظر گرفته شوند. این باید شامل اندازه و شکل هادی

زمین، مقاومت ویژه‌ی خاکی که در آن دفن شده و اتصال سیستم به آن باشد. همچنین ضروری است که چگالی جریان در سطح الکترود و پتانسیل‌های زمین در اطراف آن موردتوجه قرار گیرند.

۹-۲ ماهیت ساختگاه

۹-۲-۱ کلیات

ماهیت و مشخصات بنیادی خاک بدون صرف هزینه بالا نمی‌تواند عوض شود. برای انتخاب بهترین محل اجرای سیستم زمین باید بررسی‌های دقیق زمین‌شناسی انجام شود.

جایی که امکان انتخاب وجود دارد، ساختگاه باید از بین موقعیت‌های ذیل به ترتیب اولویت انتخاب شود.

الف- زمین باتلاقی مرطوب؛

ب- خاک رس یا مثل خاک رس و باغچه، زمین‌های زراعی، زمین‌های گلی، زمین‌های رسی یا باغچه‌ای مخلوط با ماسه ریز؛

پ- خاک رس و باغچه مخلوط با نسبت‌های مختلف از شن و ماسه، و سنگ؛

ت- شن و ماسه مرطوب، کود گیاهی (شاخ برگ درختان که بر روی زمین پوسیده‌شده است).

از زمین‌های شن و ماسه‌ای خشک، گچی، آهکی، صخره‌ای، هر زمین بسیار سنگلاخی و تمام مکان‌هایی که صخره‌های طبیعی نزدیک سطح دارند باید تا حد امکان اجتناب کرد. ساختگاه باید نزدیک جایی انتخاب شود که به‌طور پیوسته رطوبت مناسبی در حدود ٪ ۱۵ تا ۲۰٪ داشته باشد. لازم نیست یک مکان غرق در آب باشد مگر اینکه خاک شن و ماسه‌ای باشد. باید احتیاط شود که از یک ساختگاه که در آن آب‌های روان جاری‌اند اجتناب گردد (به‌طور مثال: بستر رود) برای اینکه در این شرایط نمک‌های سودمند می‌توانند از این خاک به‌طور کامل حذف شوند.

۹-۲-۲ بهبود خاک

در مکان‌هایی با مقاومت ویژه بالا یا زمین‌های صخره‌ای جایی که عملکرد طولانی‌مدت موردنیاز است، درصورتی‌که عملی است ممکن است استفاده از یک بتن رسانا نیاز باشد، تا مقاومت زمین اطراف یک میله یا تسمه (نوار) زمین بهبود یابد. برای دستیابی مؤثر به این هدف مواد تجاری در دسترس هستند، اما باید توجه داشت که آن‌ها در هنگام نصب چگونه عمل می‌کنند تا مطمئن شد آن‌ها در تماس با میله یا تسمه باقی می‌مانند و بعد از خشک شدن منقبض یا متورم نمی‌شوند.

تغییر شیمیایی خاک جدا از خطر خوردگی سیستم زمین، اثرات زیست‌محیطی دارد و نباید به‌عنوان یک راه‌حل بلندمدت به‌منظور رسیدن به یک سطح مشخص مقاومت در نظر گرفته شود. کک[1] نیز نباید به دلیل طبیعت بسیار خورنده آن مورد استفاده قرار گیرد.

1 - Coke breeze

۹-۳ مقاومت ویژه خاک

یادآوری ۱- مقاومت زمین یک الکترود داده‌شده بستگی به مقاومت ویژه الکتریکی خاک دارد. اغلب فرمول‌های ابتدایی مربوط به خاک همگن است که در عمل به‌ندرت اتفاق می‌افتد و لایه‌های مختلف زمین بر توزیع عبور جریان از طریق الکترود تأثیر می‌گذارند.

جدول ۱ نمونه‌هایی از مقاومت ویژه را نشان می‌دهد. این ارقام بسیار عمومی هستند و نباید جایگزین اندازه‌گیری‌های واقعی به‌دست‌آمده در سایت (محل پروژه) مدنظر شوند. آن‌ها ممکن است برای نشان دادن مشکلاتی که ممکن است در تهیه یک طراحی مناسب در محل انتخاب‌شده به وجود آید، مورد استفاده قرار گیرد. مقاومت ویژه توسط نمک‌های معدنی زمین و سطح رطوبت نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد، به همین دلیل باید به توجه داشت که قرائت پس از مدت طولانی از نصب می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی از نتایج آزمون اصلی متفاوت باشد.

دمای خاک بر لایه‌های فوقانی زمین‌های سنگی اثرگذار است، اما تنها در شرایط یخبندان مهم است. بنابراین نباید برای هر بخش از سیستم الکترود که پایین‌تر از ۰٫۵ m زیر سطح زمین است، تأثیری در نظر گرفته شود.

یادآوری ۲- جدول ۱ تنها به‌عنوان یک راهنمای کلی آورده شده است. مقاومت ویژه زمین اساساً الکترولیتی است و متأثر از میزان رطوبت و توانایی خاک برای حفظ رطوبت به همراه ترکیب شیمیایی و غلظت نمک‌های سودمند حل‌شده در آب است. ستون ۵ به دشت‌های باتلاقی اطراف رودخانه اختصاص دارد.

۹-۴ اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک

مقاومت ویژه خاک ممکن است با یک روش مشابه با ارزیابی مقاومت الکترود زمین اندازه‌گیری شود. لازم به ذکر است که این نوع اندازه‌گیری‌ها همیشه ساده نیستند و اغلب می‌توانند گستره وسیعی از مقادیر مقاومت را بر اساس تعدادی از ضرایب از قبیل موارد ذکرشده در زیر بند ۹-۳، نتیجه دهند.

اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک برای تعیین مقاومت زمین یا امپدانس زمین باید با استفاده از روش چهار پروب (معروف به روش ونر، همچنین زیر بند ۱۰-۲-۲ ملاحظه شود) به‌صورت زیر انجام شود.

الف - چهار الکترود آزمون را در فواصل مساوی و در عمقی که فراتر از ٪ ۵ فاصله آن‌ها نیست، بکوبید. مهم است که مطمئن شوید محدوده مقاومت آن‌ها همپوشانی ندارد (به شکل ۱۳ مراجعه شود)؛

ب - بین دو الکترود بیرونی جریان عبور دهید؛

پ - پتانسیل زمین بین دو الکترود داخلی را اندازه‌گیری کنید.

جدول ۱- مثال هایی از مقاومت ویژه خاک بر حسب اهم متر (Ωm)

نوع خاک	شرایط آب و هوایی			
	بارش معمولی و زیاد، یعنی بیش از ۵۰۰ mm بر سال		شرایط بارش کم و بیابانی یعنی کمتر از ۲۵۰ mm بر سال	آب‌های زیر زمینی (شور)
	مقدار محتمل	گستره مقادیر بدست آمده	گستره مقادیر بدست آمده	گستره مقادیر بدست آمده
۱	۲	۳	۴	۵
آبرفت و خاک های رسی سبکتر	۵	[a]	[a]	۵-۱
خاک رس (به جز آبرفت)	۱۰	۲۰-۵	۱۰۰-۱۰	۵-۱
خاک آهک دار (مانند: خاک آهکی کوپر)	۲۰	۳۰-۱۰	۳۰۰-۵۰	-
سنگ آهک متخلخل (مانند: گچ)	۵۰	۱۰۰-۳۰	-	-
ماسه سنگ متخلخل (مانند: ماسه سنگ کوپر و سنگ های رسی)	۱۰۰	۳۰۰-۳۰	-	-
کوارتز، سنگ آهک فشرده و کریستالی (به عنوان مثال رسوبات کربنیک، سنگ مرمر و غیره)	۳۰۰	۱۰۰۰-۱۰۰	-	-
تخته سنگهای رسی و سنگ های رسوبی	۱۰۰۰	۳۰۰۰-۳۰۰	۱۰۰۰ به بالا	۱۰۰-۳۰
گرانیت	۱۰۰۰	-	-	-
رسوبات فسیلی، صخره های آذرین و gneiss	۲۰۰۰	۱۰۰۰ به بالا	-	-
[a] به سطح آب محل بستگی دارد				

مقاومت R باید از نسبت (تقسیم) ولتاژ بین الکترودهای داخلی و جریان عبوری از الکترودهای بیرونی به دست آید. در خاک همگن میانگین مقاومت ویژه ρ در واحد اهم‌متر می‌تواند از رابطه زیر به دست آید.

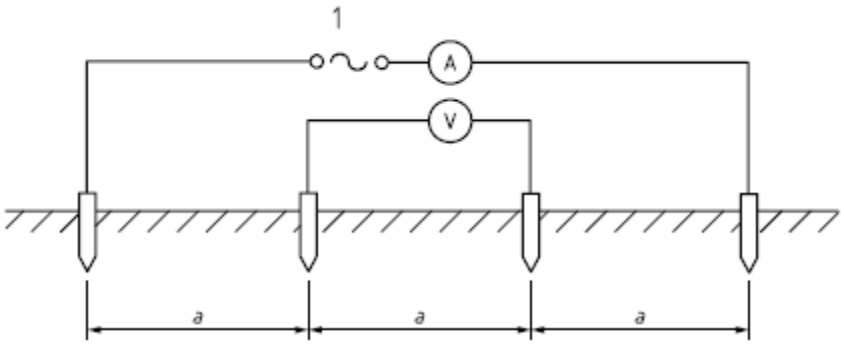
$$\rho = 2\pi aR$$

که در آن:

a فاصله بین الکترودها برحسب متر (m)؛

R مقاومت اندازه‌گیری شده بین الکترودهای میانی برحسب اهم (Ω) است.

مقاومت ویژه‌ی به‌دست‌آمده برای یک فاصله الکترودی a بکار می‌رود که با عمق بررسی متناسب است. با تکرار اندازه‌گیری با افزایش مقادیر a، مقاومت ویژه ظاهری دربرگیرنده عمق‌های بیشتر می‌تواند ارزیابی شود. این امر می‌تواند به‌عنوان علامتی از امکان دستیابی به مقاومت موردنیاز با کوبیدن میله‌های عمیق‌تر و غیره به داخل لایه‌های با مقاومت ویژه کمتر تلقی گردد.



راهنما:

1 منبع جریان

A آمپرمتر

V ولت‌متر

شکل ۱۳ - اندازه‌گیری مقاومت ویژه زمین

۹-۵ انواع الکترودهای زمین و محاسبه مقاومت آن‌ها

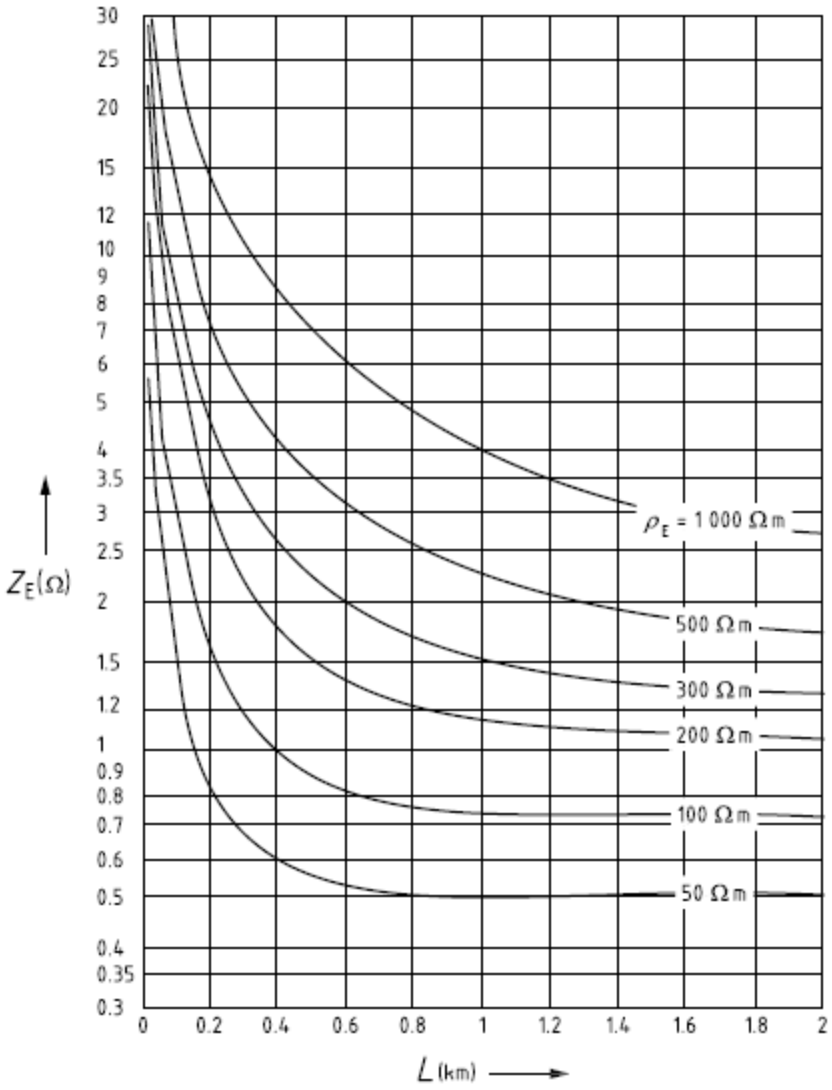
۹-۵-۱ کلیات

یک سیستم زمین باید از بالاترین انسجام و ساختاری مقاوم برخوردار باشد، برای اطمینان از اینکه ایمن باقی می‌ماند و سلامت و ایمنی افراد یا محیط اطراف را به خطر نمی‌اندازد. اکثر فرمول‌های ارائه شده در زیر مربوط به جریان‌های فرکانس پایین است و نمونه‌های فرکانس بالا را شامل نمی‌شود. اگر یک هادی افقی طولانی برای ایجاد یک مقاومت پایین در نظر گرفته شود، امپدانس در نهایت به یک مقدار نهایی محدود می‌شود (به شکل ۱۴ مراجعه شود).

سیستم‌های زمین باید شامل هادی‌های مسی، میله‌های پوشش مسی یا فولاد ضدزنگ غیر مغناطیسی با ابعاد مناسب (برای جزئیات بیشتر به زیر بند ۹-۷ مراجعه شود)، صفحات چدنی یا شمع‌های فولادی، به‌صورت جداگانه یا در یک ترکیب به هم متصل باشند تا یک سیستم الکترود زمین محلی منفرد را تشکیل دهند.

فرمول‌های زیر همه بر اساس شرایط خاک همگن هستند، بنابراین در اکثر موقعیت‌های عملی اگر لایه‌ها به‌گونه‌ای باشد که مقاومت در سطوح مختلف تغییر کند این فرمول‌ها صرفاً یک ایده‌ی منطقی از مشکلاتی که ممکن است وجود داشته باشد را ارائه می‌دهند. ممکن است لازم باشد روش‌های عددی که پیچیده‌تر از فرمول‌های زیر است، در نظر گرفته شوند و نرم‌افزار برای انجام محاسبات مفصل‌تر موجود است. نتایج حاصل از فرمول‌های زیر اغلب نتایجی را با دقت ٪ ۱۵ ارائه می‌دهند و می‌تواند به‌عنوان راهنما برای خروجی یک طرح ارائه شده کافی فرض شود. بااین‌حال، قبل از اقدام به طراحی و نصب سیستم زمین، باید همواره آزمون میدانی مقاومت ویژه انجام شود.

تأثیر شکل بر مقاومت الکترود، به چگالی جریان پیرامون الکترود خاص موردنظر ارتباط دارد. برای دستیابی به مقاومت کلی کوچک، باید حد وسط چگالی جریان در اطراف الکترود تا حد ممکن کوچک باشد. این امر می‌تواند با بزرگ ساختن یک بعد نسبت به دو بعد دیگر به دست آید: لذا به ازای یک مساحت سطحی برابر، میله یا نوار لوله‌ای مقاومت بسیار کوچک‌تری نسبت به یک صفحه دارد.



راهنما:

Z_E مقاومت زمین

L طول الکترود داخل خاک

ρ_E مقاومت ویژه خاک

شکل۱۴- امپدانس زمین الکترودهای زمین افقی دفن شده در خاک همگن

۹-۵-۲ صفحه‌ها

مقاومت زمین تقریبی یک صفحه، R برحسب اهم (Ω)، می‌تواند از رابطه زیر محاسبه شود.

$$R = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}}$$

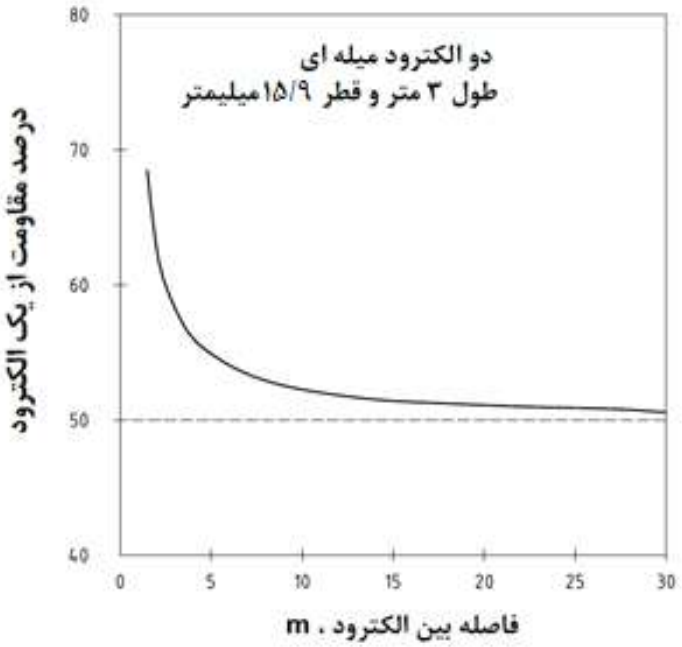
که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک است (با فرض یکنواختی) برحسب اهم‌متر (Ωm)؛

A سطح یک وجه از صفحه برحسب مترمربع (m^2) است.

صفحات در صورت استفاده، باید با ابعاد کوچک که بیش‌تر از ۱٫۲ m × ۱٫۲ m نباشد و به‌صورت عمودی و موازی هم به فاصله حداقل ۲ m از یکدیگر نصب شوند. حداقل ضخامت لایه خاک بالای آن نباید از ۶۰۰ mm کمتر و خاک اطراف باید مرطوب باشد. اتصالات به صفحه باید با هادی مسی جوش داده‌شده، پیچ شده یا در غیر این صورت با موادی که موجب خوردگی در اتصالات نمی‌شوند، انجام شود. اتصال نهایی باید با لایه ضخیمی از قیر پوشانده شود. نوار اتصال‌دهنده به نقطه جداسازی بالای زمین باید کاملاً عایق گردد تا از واکنش الکترولیتی جلوگیری شود.

در مواقعی که صفحه در یک شیار قرار داده می‌شود، برای مثال در یک بستر گچی در نزدیکی سطح، شیار باید به‌اندازه کافی بزرگ باشد تا اجازه دهد حداقل ۳۰۰ mm ضخامت خاک یا دیگر پوشش میانی با مقاومت ویژه‌ی تماسی پایین اطراف کل صفحه را بپوشاند. این امر نیاز به نصب دقیق در حین نصب دارد تا اطمینان حاصل شود که پایین صفحه در میان مواد استفاده‌شده و نه بر روی لایه گچی یا مقاومت بالا قرار گیرد.



شکل ۱۴- الف- اثر فاصله بین الکترود بر مقاومت ترکیبی

یادآوری- در اندازه‌های مرسوم، مقاومت به‌طور معکوس با ابعاد به‌صورت خطی متناسب است، نه با مساحت سطح. به‌عنوان‌مثال یک صفحه ۰٫۹ m × ۰٫۹ m دارای مقاومت تقریباً ٪ ۲۵ بالاتر از صفحه ۱٫۲ m × ۱٫۲ m است.

۹-۵-۳ الکترود میله‌ای

مقاومت یک میله R_r برحسب اهم می‌تواند با رابطه زیر محاسبه شود:

$$R_r = \frac{\rho}{2\pi L}\left[\log_e\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right]$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm)؛

L طول الکترود برحسب متر (m)؛

d قطر میله برحسب متر (m) است.

یادآوری ۱- تغییر قطر تأثیر اندکی بر مقاومت نهایی دارد و اندازه آن بیشتر تابع استحکام مکانیکی میله است تا زمانی که به میله‌های عمیق زمین نیاز است مانند عمق ۲۰ m و یا بیشتر استقامت مکانیکی کوبیده شدن را داشته باشد.

تعدادی از میله‌ها می‌توانند به‌صورت موازی متصل شوند و مقاومت تقریباً متناسب با تعداد میله‌های به‌کار رفته است، فاصله جداسازی آن‌قدر است که خارج از منطقه مقاومت هر میله باشد.

یادآوری ۲- استفاده از میله با قطر ۱۵٫۹ mm و عمق ۳ m، در فاصله بیش از ۱۰ m تأثیر کمتری بر روی مقاومت کل دارد. (به زیر بند ۹-۵-۴ برای اتصال موازی میله‌های قرارگرفته در یک ردیف مراجعه شود).

۹-۵-۴ اتصال موازی میله‌ها در یک ردیف

مقاومت R_t برحسب اهم برای n میله عمودی کوبیده شده در فاصله جدا از هم s متر، می‌تواند از رابطه زیر محاسبه شود:

$$R_t = \frac{1}{n} \times \frac{\rho}{2\pi L}\left[\log_e\left(\frac{8L}{d}\right) - 1 + \frac{\lambda L}{s}\right]$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm)؛

L طول الکترود برحسب متر (m)؛

n تعداد میله‌ها؛

s فاصله بین میله‌ها برحسب متر (m)؛

λ ضریب گروهی است به‌طوری‌که

$$\lambda = 2\sum\left(\frac{1}{2} + \ldots + \frac{1}{n}\right)$$

برای مقادیر بزرگ n، λ می‌تواند تقریب زده شود با :

$$\lambda = 2\log_e \frac{1,781 \times n}{2,718}$$

۹-۵-۵ الکترودهای هادی نواری یا گرد

یادآوری – متن ذیل تنها برای یک هادی گرد یا نواری (تسمه‌ای) مستقیم (افقی) صحیح است. برای طرح‌بندی‌های دیگر به زیر بندهای ۹-۵-۶ و ۹-۵-۸ مراجعه شود.

مقاومت R_{ta} برای یک هادی نواری یا گرد می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$R_{ta} = \frac{\rho}{2\pi L} \log_e \left(\frac{L^2}{khd}\right)$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک؛

L طول تسمه یا هادی برحسب متر (m)؛

h عمق الکترود برحسب متر (m)؛

d پهنای نوار (تسمه) یا قطر هادی گرد برحسب متر (m)؛

k دارای مقدار ۱٫۳۶ برای هادی نواری و ۱٫۸۳ برای هادی گرد است.

هنگامی‌که دو یا چند طول مستقیم، هر یک به طول L برحسب متر و فاصله جداسازی s برحسب متر، به‌صورت موازی با یکدیگر دفن می‌شوند و در یک انتها به هم متصل می‌شوند، مقاومت ترکیبی می‌تواند از رابطه زیر محاسبه شود:

$$R_n = FR_1$$

که در آن:

R_n مقاومت هادی‌های موازی؛

R_1 مقاومت یک نوار با طول L_1 که پیش‌تر با معادله R_{ta} محاسبه شد برحسب اهم‌متر؛

F از مقدارهای زیر

برای دو طول $F = 0,5 + 0,078(s/L)^{-0,307}$

برای سه طول $F = 0,33 + 0,071(s/L)^{-0,408}$

برای چهار طول $F = 0,25 + 0,067(s/L)^{-0,451}$

به‌طوری‌که $0,02 < (s/L) < 0,3$ محاسبه می‌شود.

۹-۵-۶ مش

مقاومت برای یک مش R_m (شبکه) برحسب اهم Ω می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$R_m = 0,443 \frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L}$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm)؛

A منطقه واقعی پوشیده شده با مش برحسب مترمربع (m^2)؛

L مجموع طول نوار (تسمه) استفاده‌شده در مش برحسب متر (m).

۹-۵-۷ مقاومت یک الکترود در داخل مواد مقاومت پایین به‌طور مثال: بتن هادی

مقاومت یک الکترود که اطراف آن با مواد پرشده R_b برحسب اهم Ω می‌تواند به‌طور زیر محاسبه شود:

$$R_b = \frac{1}{2\pi L}\left\{(\rho - \rho_c)\left[\log_e(\frac{8L}{D}) - 1\right] + \rho_c\left[\log_e(\frac{8L}{d}) - 1\right]\right\}$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm)؛

ρ_c مقاومت ویژه مواد هدایت‌کننده استفاده‌شده برای پر کردن برحسب اهم متر Ωm؛

L طول میله برحسب متر (m)؛

d قطر میله برحسب متر (m)؛

D قطر گودال پرشده از مواد برحسب متر m است.

۹-۵-۸ الکترودهای متفرقه

یادآوری - پیکربندی‌های زیادی وجود دارد که می‌تواند در زیر این بند قرار گیرد، اما تعداد کمی از آن‌ها که در دستیابی به مقدار الزامی بیشترین احتمال ارزیابی اولیه را دارد، مدنظر است به‌خصوص مواردی که با توده‌های تقویت‌شده عمیق سروکار دارد.

۹-۵-۸-۱ سه میله در رئوس یک مثلث متساوی‌الاضلاع

مقاومت R_e برحسب اهم برای سه میله متصل شده در رئوس یک مثلث متساوی‌الاضلاع با طول وجه s برحسب متر (به شکل ۱۵-الف مراجعه شود)، می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$R_e = \frac{1}{3} \times \frac{\rho}{2\pi L}\left[\log_e(\frac{8L}{d}) - 1 + \frac{2L}{s}\right]$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک است برحسب اهم متر (Ωm)؛

L طول میله است برحسب متر (m)؛

d قطر میله است برحسب متر (m)؛

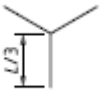
s طول یک ضلع مثلث است برحسب متر (m) است.

۹-۵-۸-۲ دو هادی با طول مساوی و با زاویه قائم که در یک‌گوشه به هم وصل می‌شوند

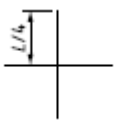
مقاومت R_L برحسب اهم برای دو هادی گرد یا نواری (تسمه‌ای) با طول مساوی و زاویه 90° و با یک‌گوشه متصل شده (به شکل ۱۵-ب مراجعه شود) می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

شکل الف- سه میله در رئوس یک مثلث متساوی‌الاضلاع

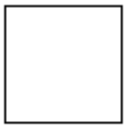
شکل ب- دو تسمه که در یک گوشه با زاویه قائم به هم می‌رسند



شکل پ- سه تسمه با طول مساوی که در مرکز ستاره با زاویه 120° به هم می‌رسند.



شکل ت- چهار تسمه که به شکل صلیب قرار داده‌شده‌اند.



شکل ث- الکترودهای چیده شده بر یک مربع توخالی

شکل۱۵- پیکربندی‌های الکترودی متفرقه

$$R_L = \frac{\rho}{2\pi L}\log_e\left(\frac{L^2}{khd}\right)$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک است برحسب اهم متر (Ωm)؛

L طول کل برای هادی نواری یا گرد برحسب متر (m)؛

h عمق دفن شده برحسب متر (m)؛

d عرض تسمه یا قطر هادی گرد برحسب متر (m)؛

k مقدار ۱/۲۱ برای هادی نواری و ۰/۸۱۳ برای هادی‌های گرد می‌باشد.

۹-۵-۸-۳ سه هادی با طول‌های مساوی و زاویه 120° و نقطه اتصال در مرکز ستاره

مقاومت R_s برحسب اهم Ω برای چیدمان ستاره‌ای سه هادی گرد یا نواری با طول‌های مساوی (به شکل ۱۵-پ مراجعه شود) می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$R_s = \frac{\rho}{2\pi L}\log_e\left(\frac{L^2}{khd}\right)$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک است برحسب اهم متر (Ωm)؛

L طول کل برای هادی نواری یا گرد برحسب متر (m)؛

h عمق دفن شده برحسب متر (m)؛

d عرض تسمه یا قطر هادی گرد برحسب متر (m)؛

k مقدار ۰٫۷۳۴ برای هادی نواری و ۰٫۴۹۹ برای هادی‌های گرد می‌باشد.

۹-۵-۸-۴ چهار هادی با طول‌های مساوی که به شکل صلیبی قرار دارند

مقاومت R_{cr} برحسب اهم Ω برای چهار هادی نواری (تسمه‌ای) یا گرد با طول‌های مساوی که در شکل یک صلیب قرار داده‌شده‌اند (به شکل ۱۵-ت مراجعه شود)، می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$R_{cr} = \frac{\rho}{2\pi L}\log_e\left(\frac{L^2}{khd}\right)$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک است برحسب اهم متر (Ωm)؛

L طول کل برای هادی نواری یا گرد برحسب متر (m)؛

h عمق دفن شده برحسب متر (m)؛

d عرض تسمه یا قطر هادی گرد برحسب متر (m)؛

k مقدار ۰٫۲۱۹ برای هادی نواری و ۰٫۱۳۳ برای هادی‌های گرد می‌باشد.

۹-۵-۸-۵ میله‌های عمودی در یک مربع توخالی

مقاومت R_{tot} برحسب اهم برای میله‌هایی که در (اضلاع) مربع توخالی قرار دارند می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$R_{tot} = R_r\left(\frac{1+\lambda\alpha}{N}\right)$$

که در آن:

$$\alpha = \frac{\rho}{2\pi R_r s}$$

R_r مقامت یک میله برحسب اهم (Ω)؛

λ ضریب در جدول ۲؛

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm) است.

s فاصله میله‌ها برحسب متر (m)؛

N تعداد میله‌های استفاده‌شده به‌عنوان الکترود است. (به یادآوری جدول ۲ مراجعه شود).

یادآوری- جدول ۲ همچنین می‌تواند برای چیدمان الکترودها در یک مستطیل استفاده شود، جایی که n از رابطه $n = N/4 + 1$ به دست می‌آید که در آن N تعداد کل الکترودها است. درصورتی‌که نسبت طول به عرض مستطیل بیش از ۲ نباشد خطا کوچک‌تر از ٪ ۶ خواهد بود.

جدول۲- ضریب الکترودهای عمودی چیده شده در یک مربع تو خالی

تعداد الکترودها (n) در هر ضلع مربع	ضریب λ	تعداد الکترودها (n) در هر ضلع مربع	ضریب λ
۲	۲٫۷۱	۹	۷٫۶۵
۳	۴٫۵۱	۱۰	۷٫۹
۴	۵٫۴۶	۱۲	۸٫۲۲
۵	۶٫۱۴	۱۴	۸٫۶۷
۶	۶٫۶۳	۱۶	۸٫۹۵
۷	۷٫۰۳	۱۸	۹٫۲۲
۸	۷٫۳	۲۰	۹٫۴

یادآوری- تعداد الکترودهای N پیرامون مربع $4(n-1)$ است

۹-۵-۸-۶ سازه‌های فولادی

آهن‌آلات فونداسیون که در بتن قرار دارند می‌توانند به‌عنوان یک الکترود زمین آماده و مؤثر استفاده شوند. کل ناحیه الکترود شکل داده‌شده با یک سازه فلزی بزرگ در زمین می‌تواند به‌عنوان یک مقاومت زمین آماده استفاده شود که اغلب مقدار آن کمتر از دیگر روش‌ها است؛ مقادیر کلی زیر یک اهم به‌خوبی دست‌یافتنی هستند.

مهم است که به احتمال خوردگی آهن‌آلات توجه شود؛ تولید خوردگی حجم بیشتری را نسبت به فلز اصلی اشغال می‌کند و ممکن است ترک‌خوردگی رخ دهد. به‌طور خاص، به جریان‌های مداوم زمین باید توجه شود؛ یک منبع احتمالی چنین جریانی ممکن است با سایر فلزات مدفون ناسازگار باشد، شامل انواع دیگری از الکترود زمین که ممکن است متصل به فلزات فونداسیون باشند (به زیر بند ۹-۶ مراجعه شود).

یادآوری ۱- ممکن است ضروری باشد که نیاز به حفاظت کاتدیک را در نظر بگیریم.

انتظار نمی‌رود که جریان متناوب باعث ایجاد خوردگی شود، اما، یکسو سازی باعث تولید مقدار جزئی جریان مستقیم می‌شود.. جایی که جریان نشتی زمین قابل‌توجه و پیوسته انتظار می‌رود، توصیه می‌شود که یک الکترود اصلی از انواع توصیف‌شده در بخش‌های قبلی ایجاد شود که الکترودهای فونداسیون

می‌توانند برای ایجاد الکترودهای کمکی به آن متصل شوند و بنابراین به جریان‌های بالای خطا کمک نماید. خوردگی فلزات درون بتن در معرض جریان‌های خطای ac می‌تواند ناچیز در نظر گرفته شود.

یادآوری ۲- آسیب دیدن بتن به‌صورت ترک‌خوردگی به سبب قوس الکتریکی یا تبخیر شدید رطوبت، می‌تواند در جایی رخ دهد که جریان‌های خطای طولانی‌مدت فراتر از تحمل الکترودها شود. در شرایطی که مقاومت الکترود به‌اندازه کافی پایین باشد تا از ولتاژهای خطرناک به زمین جلوگیری کند، رخداد فوق نامحتمل است.

مقاومت زمین فلزات یا میلگردهای داخل بتن بر اساس نوع خاک، حجم رطوبت و طراحی فونداسیون تغییر می‌کند. بتن کاملاً وابسته به رطوبت است به‌جز در مکان‌های خشک، هنگامی‌که در خاک دفن می‌شود، انتظار می‌رود که مقاومتی در حدود ۳۰ Ωm تا ۹۰ Ωm در دمای معمولی داشته باشد؛ این مقدار از برخی از انواع خاک کمتر است.

لازم است مقاومت زمین هر سازه فلزی که به‌عنوان الکترود استفاده می‌شود اندازه‌گیری شود، و به‌منظور اطمینان از اینکه آن همچنان یک اتصال مناسب به زمین را فراهم می‌کند، این مقدار باید در فاصله‌های زمانی منظم بعدازآن پایش گردد. (به بند ۱۰ مراجعه شود)

در حالت ایده‌ال مقاومت کلی همه الکترودها باید به دست آید، اما مقاومت زمین یک سازه که محدوده وسیعی را پوشانده است ممکن است بسیار کم باشد، و اندازه‌گیری دقیق سازه کامل می‌تواند دشوار یا غیرممکن شود. جایی که سازه پایه‌های مشابه بسیاری دارد ممکن است امکان‌پذیرتر و سودمندتر باشد که اندازه‌گیری بر روی یک پایه انجام شود قبل از آنکه به‌صورت الکتریکی با بقیه سازه اتصال پیدا کند و قبل از آنکه به‌طور الکتریکی با دیگر پایه‌ها موازی شود. در صورت امکان، برای به دست آوردن علامتی از تغییر احتمالی مقاومت‌ها، مطلوب است و توصیه می‌شود تا مقاومت چندپایه را اندازه‌گیری کنید. با فرض اینکه یک مقدار مشخص مقاومت زمین می‌توان برای پایه‌ها به دست آورد، اثر ترکیبی از همه پایه‌های مشابه R_{tot} برحسب اهم با فرض اینکه بر یک مستطیل تقریبی چیدمان شده‌اند، می‌تواند به‌صورت زیر تعیین شود:

$$R_{tot} = R_1 \frac{1 + \lambda \rho / 2\pi R_1 s}{n}$$

که در آن:

R_1 مقاومت یک پایه برحسب اهم (Ω)؛

λ ضریب از جدول ۲؛

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm)؛

s فاصله بین پایه‌ها برحسب متر (m)؛

n تعداد پایه‌های استفاده‌شده به‌عنوان الکترود است.

یادآوری ۳- این معادله بر این فرض استوار است که فاصله بین الکترودهای مجاور به صورتی است که نسبت $(\rho/2\pi R_1 S)$ تقریباً کمتر از ۰٫۲ است.

یادآوری۴ – سهم زیادی از این مقاومت به خاطر مقاومت بتن به زمین اطراف آهن‌آلات است و وابسته به میزان رطوبت آن می‌باشد. پس از ساخت و گذر زمان، این میزان رطوبت با خاک به تعادل خواهد رسید، و معمولاً از زمان دفن اولیه، خشک‌تر خواهد بود.

هنگامی‌که اندازه‌گیری‌ها در حین نصب سازه صورت می‌گیرد، باید آمادگی پذیرش افزایش پی‌درپی مقاومت الکترود ناشی از تغییرات در میزان رطوبت وجود داشته باشد.

مهم است از پیوستگی الکتریکی بین تمامی آهن‌آلات موردنظر اطمینان حاصل شود که بخشی از الکترود هستند. در مورد اتصال بین آهن‌آلات داخل بتن یا زیر زمین، مانند میلگردها، جوش دادن می‌تواند بهترین روش باشد؛ به‌طورکلی روی زمین و در پیچ‌های کالسکه‌ای[1] برای گذر از هر اتصال سازه‌ای از یک هادی رابط استفاده کرد. این به‌ویژه برای سطوحی بکار می‌رود که ممکن است قبل از نصب بتونه‌کاری شده باشد.

مقاومت زمین یک پایه بتنی تقویت‌شده R_{rc} برحسب اهم، ممکن است با این فرض باشد که تنها میلگردهای عمودی متصل به سازه ساختمان و سیستم زمین هستند. اثر دیگر تقویت‌کننده‌ها که فقط با سیم اتصال دارند ممکن است نادیده گرفته شود. ممکن است فرض شود که میله‌ها به‌طور یکسان در یک الگوی متقارن قرار می‌گیرند (به جدول ۳ مراجعه شود).

$$R_{rc} = \frac{1}{2\pi L}\left[(\rho_c - \rho)\log_e(1+\frac{\delta}{z}) + \rho\log_e(\frac{2L}{z})\right]$$

که در آن:

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm)؛

ρ_c مقاومت ویژه بتن برحسب اهم متر (Ωm)؛

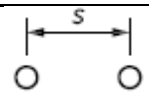
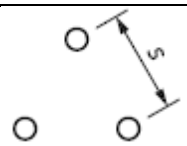
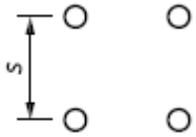
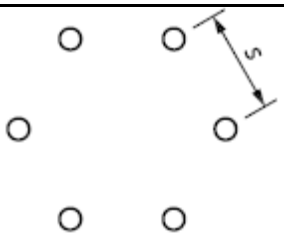
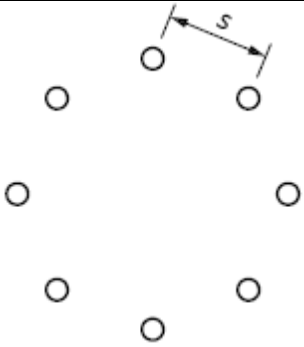
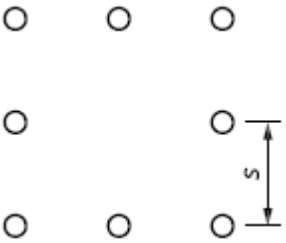
L طول میلگردها زیر سطح زمین برحسب متر (m)؛

δ ضخامت بتن بین میله‌ها و خاک برحسب متر (m)؛

Z میانگین فاصله هندسی بین گروه میله برحسب متر (m) است.

1-Anchor bolt

جدول۳- میانگین فاصله هندسی z برای میلگردها با فاصله نزدیک در یک الگوی متقارن

تعداد میله‌ها	چیدمان میله‌ها	z m
۲		$\sqrt[2]{as}$
۳		$\sqrt[3]{as^2}$
۴		$\sqrt[4]{\sqrt{2}as^3}$
۶		$\sqrt[6]{6as^5}$
۸		$\sqrt[8]{52as^7}$
۸		$\sqrt[8]{23as^7}$

راهنما:

[a] شعاع میلگرد بر حسب متر (m)

[s] فاصله بین میله‌های مجاور بر حسب متر (m)

[z] میانگین فاصله هندسی بر حسب متر (m)

۹-۵-۸-۷ ستون‌بندی با ورق فولادی

اغلب ممکن و مجاز است که با مشورت مهندس مسئول پروژه، الکترود زمین مؤثر با ایجاد یک اتصال مناسب به فولاد تقویت‌کننده در ستون‌های بتن یا ستون‌بندی با ورق فولادی ایمن شود.

۹-۵-۸-۸ خطوط اصلی تأمین آب و به‌طورکلی لوله‌های آب

استفاده از شبکه‌های آب با اهداف زمین کردن توصیه نمی‌شود. در سیستم‌های قدیمی که در آن یک لوله فلزی موجود برای اتصال زمین استفاده می‌شد، یک روش جایگزین زمین اصلی باید نصب شود. در بسیار از موارد گفتگو با تأمین‌کننده برق می‌تواند به حل مسئله کمک کند.

۹-۵-۸-۹ لوله‌های خدمات

به‌طورکلی لوله‌های فلزی مانند: گاز، نفت، هوای فشرده یا فاضلاب، فقط باید به هادی حفاظتی وصل شده و نباید برای سیستم اصلی زمین تنها استفاده شوند. هنگامی‌که برای هر یک از تأسیسات، از لوله‌های خدمات عمومی به‌عنوان تنها الکترود زمین استفاده‌شده است، یک روش زمین کردن جایگزین باید فراهم گردد.

۹-۶ گرادیان پتانسیل در اطراف الکترودهای زمین

۹-۶-۱ کلیات

تحت شرایط خطا، الکترود زمین افزایش پتانسیلی نسبت به جرم کلی زمین خواهد داشت که می‌تواند با پیش‌بینی جریان خطا و مقاومت الکترود محاسبه شود. این امر منجر به اختلاف‌پتانسیل در زمین پیرامون الکترود می‌شود که ممکن است به کابل‌های تلفن و فرمان که هسته آن‌ها در مرکز پتانسیل زمین قرار دارد آسیب برساند. چنین مخاطره‌ای باید عمدتاً در اتصال به الکترودهای سیستم‌های بزرگ موردتوجه قرار گیرد. همچنین گرادیان ولتاژ بر روی سطح زمین باید موردتوجه قرار گیرد، زیرا اشخاص یا چهارپایان می‌توانند در تماس با دو نقطه که به‌اندازه کافی دور از هم هستند و اختلاف‌پتانسیل آن‌ها خطر جانی دارد قرار بگیرند. حیوانات در معرض خطر بیشتری هستند.

شکل ۱۶ می‌تواند برای پیش‌بینی گرادیان ولتاژ سطح زمین در اطراف یک الکترود میله‌ای ۳ m مجزا، استفاده شود. سطح بالای گرادیان ولتاژ در چند سانتی‌متری ابتدایی میله کاملاً واضح است، و بسته به ولتاژ الکترود، یک مانع با شعاعی بیش از یک تا دو توصیه شود تا از تماس افراد و حیوانات جلوگیری کند.

یادآوری – توصیه بیشتر برای کاهش این گرادیان این است که بالای الکترود زیر سطح زمین قرار گیرد. که در این بند خواهد آمد.

گرادیان ولتاژ عمود بر یک خط تشکیل‌شده از سه الکترود می‌تواند از شکل ۱۶ گرفته شود، این نشان می‌دهد که برای ولتاژ الکترود داده‌شده گرچه گرادیان اولیه تا فاصله ۲ m از میله‌ها اندکی کاهش می‌یابد، اثر کلی در فواصل بیشتر افزایش پتانسیل زمین و گرادیان است. بااین‌حال، برای یک جریان خطای

مشخص، ترکیب الکترودهای چندگانه برای مقاومت کمتر در مقایسه با یک الکترود تک ممکن است استفاده شود و درنتیجه پتانسیل و گرادیان زمین به‌مراتب کوچک‌تر از یک الکترود تک است.

توزیع پتانسیل سطح زمین در نزدیکی یک الکترود افقی (سیم یا نوار) ممکن است فرض شود دارای شیب بسیار کمتر از الکترود عمودی است، بیشترین گرادیان برای یک الکترود در فاصله‌ای برابر عمق آن اتفاق می‌افتد. به‌این‌ترتیب گرادیان ولتاژ بین الکترودهای عمودی می‌تواند کوچک‌تر فرض شود. عمق دفنی که در محدوده معمول استفاده می‌شود، می‌تواند فرض شود اثر کمی بر پتانسیل سطح زمین داشته باشد.

این باید مدنظر باشد که مسیرهای بسته پتانسیل زمین مربوط به تأسیسات با بیش از یک الکترود شامل نواحی مجزایی پیرامون هر الکترود است که در آن پتانسیل و گرادیان آن بالا و احتمالاً خطرناک است؛ بین این نواحی نقاطی با پتانسیل کمینه هستند که با این وجود می‌تواند دارای مقداری باشد که برای یک فرد یا حیوان در تماس با الکترود یا جرم زمین در یک محل دورتر(مانند حصار فلزی) خطرناک باشد.

چنین تغییراتی در پتانسیل زمین و نزدیک به مکان نصب می‌تواند غیرقابل‌قبول در نظر گرفته شود و اقدامات لازم برای کاهش آن‌ها ضروری است. این اقدامات می‌تواند به راحتی با استفاده از الکترودهای افقی اضافی در قالب نوار یا سیم، ۰٫۲۵ m تا ۰٫۶ m زیر سطح انجام شود. (به فصل ۵ برای توضیحات بیشتر در مورد دفن چنین الکترودهایی مراجعه شود)

سهم بزرگی از پتانسیل الکترود ایجاد شده در چند سانتی‌متری خاک اطراف آن نشان می‌دهد که توجه به مقاومت ویژه مواد در این منطقه چقدر اهمیت دارد. در خاک‌های با مقاومت بالا، برای مواردی که استفاده از میله‌های اضافی عملی نیست و کاهش مقاومت الکترود با مواد کاهنده یا جایگزینی با بتن مطلوب است، تنها خاک این منطقه باید در نظر گرفته شود. ازآن‌جایی‌که قابلیت هدایت خاک با تراکم آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد (به جز خاک‌های بسیار مرطوب) فشرده‌سازی خوب یا فقدان اختلال خاک در تماس با الکترود مهم است.

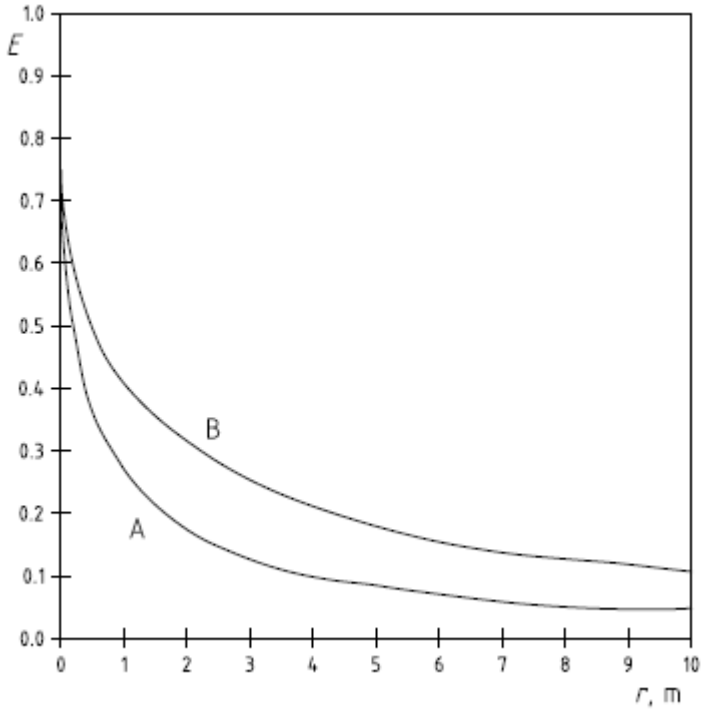
الکترودهای زمین نباید نزدیک به یک حصار فلزی نصب شوند، مگر اینکه برای زمین کردن این حصار استفاده شوند، این امر برای جلوگیری از احتمال برق‌دار شدن حصار و درنتیجه خطرهای آن در نقاط دور از پست، یا از سوی دیگر افزایش خطر ناحیه مقاومت الکترود، به‌وسیله ایجاد یک اتصال خوب با جرم کلی زمین است.

در مناطق روستایی، خطر برای حیوانات در مجاور تیرهای زمین شده می‌تواند با استفاده از عایق کردن اتصالات زمین و قرار ندادن الکترودی در عمق کمتر از ۰٫۶ m از سطح زمین به حداقل برسد.

۹-۶-۲ محاسبه پتانسیل سطح زمین

۹-۶-۲-۱ الکترودهای عمودی

برای الکترودهای عمودی، کسر E از افزایش پتانسیل الکترود (الکترودها) که در نقطه P بر روی سطح زمین ایجاد می‌شود، می‌تواند به‌طور تقریبی با معادله زیر تخمین زده شود:



راهنما:

A الکترود منفرد

B الکترود مرکزی از سه الکترود با عمق ۳ m، قطر ۰٫۰۱۵ m و فاصله‌ی ۳ m از یکدیگر

r فاصله از الکترود

E کسری از پتانسیل الکترود

شکل۱۶- پتانسیل‌های سطح زمین در اطراف یک میله منفرد و سه میله هم‌راستا

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{n} \log_e (v_i + \sqrt{v_i^2 + 1})}{(1 + \lambda\beta)\log_e(\frac{4L}{d})}$$

که در آن:

$$v_i = \frac{L}{r_i}$$

n تعداد الکترودها؛

L طول دفن الکترود برحسب متر (m)؛

r_i فاصله بین نقطه P بر روی سطح زمین تا i امین الکترود برحسب متر (m) است (r_i بزرگ‌تر از شعاع یک الکترود است)؛

λ ضریب گروهی داده‌شده در زیر بند ۹-۵-۴؛

$$\beta = \frac{L}{s \log_e(\frac{4L}{d})}$$

که در آن:

d قطر الکترودها برحسب متر (m)؛

s فاصله بین الکترودها برحسب متر (m) (فرض بر این است که فواصل بین الکترودها مساوی باشند).

یادآوری – فرض بر این است که فاصله بین الکترودها کمتر از دو سوم طول الکترود نیست و جریان الکترودها برابر است.

برای یک الکترود تکی، می‌توان فرض کرد که $n = ۱$ ، $\lambda = ۰$ و E کسری است از پتانسیل الکترود برای نقاط هم‌پتانسیل در شعاع r اطراف الکترود.

۹-۶-۲-۲ الکترودهای افقی

برای الکترودهای افقی، کسر E از پتانسیل الکترود، در نقطه P بر روی یک خط عمود بر خط الکترودها، می‌تواند از معادله زیر به دست آید:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{n} 2 \log_e(v_i + \sqrt{v_i^2 + 1})}{F \log_e(\frac{L^2}{hd})}$$

که در آن؛

n تعداد الکترودها است.

$$v_i = \frac{L}{2\sqrt{h^2 + r_i^2}}$$

که در آن؛

h عمق الکترودها از سطح زمین برحسب متر (m)؛

r_i فاصله از نقطه P به نقطه بالای الکترود iام به‌صورت عمودی در امتداد سطح زمین برحسب متر (m)؛

L طول هر الکترود برحسب متر (m)؛

F ضریب گروهی داده‌شده در زیر بند ۹-۵-۵ ؛

d قطر هر الکترود برحسب متر (m) است.

برای الکترود تسمه‌ای (نواری) d می‌تواند از رابطه‌ی زیر به دست آید:

$$d = \frac{2w}{\pi}$$

که در آن؛

w پهنای الکترود نواری برحسب متر (m) است.

هنگامی‌که یک الکترود وجود دارد، به‌عبارت‌دیگر n =۱، می‌توان ضریب گروهی را یک فرض کرد یعنی F = ۱.

یادآوری- در این معادلات فرض بر این است که عمق الکترود در مقایسه با طول آن کوچک و جریان الکترودها برابر است.

۹-۷ انتخاب هادی زمین و اتصال به الکترود

برای انتخاب هادی‌های زمین باید سازگاری مواد با جنس الکترود زمین و برای هادی قرارگرفته در زمین اثر خوردگی خاک را در نظر بگیریم. اطلاعاتی که در زیر بند ۹-۱۰ برای الکترودها ارائه شده است مربوط به هادی‌های زمین بدون پوشش نیز می‌باشد.

هادی‌های آلومینیومی یا آلومینیومی پوشیده شده با مس نباید در تماس با خاک یا شرایط مرطوب استفاده شوند، و در هیچ موردی نباید به‌عنوان اتصال نهایی با الکترود زمین استفاده شوند.

سطح مقطع هادی زمین و نوع پوشش آن باید طوری انتخاب شود که بالاترین جریان خطای اتصال به زمین و جریان‌های نشتی احتمالی را با توجه به تنش‌های حرارتی و الکترومکانیکی که رخ می‌دهد، بدون خطر عبور دهد. این هادی باید به‌اندازه کافی ضخیم باشد تا در برابر آسیب‌های مکانیکی و خوردگی تاب آورد.

جدول ۴ بیشینه دمای جریان خطای احتمالی برای هادی‌های بدون روکش (لخت) با توجه به شرایط محیطی و نوع اتصال مورد استفاده را نشان می‌دهد. برای یک هادی دارای پوشش به جهت محافظت خوردگی و مکانیکی و یا عایق کردن هادی، باید در نظر داشت که بیشینه دما، ممکن است توسط پوشش یا مواد عایق محدود شود.

چگالی جریان k برحسب آمپر بر میلی‌متر مربع برای مدت یک ثانیه، در جدول ۴ برای هادی‌های مس، آلومینیوم و فولاد با فرض دمای اولیه $^{\circ}C$ ۳۰ داده‌شده است. سطح مقطع هادی مناسب s برحسب میلی‌متر مربع به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$s = \frac{I\sqrt{t}}{k}$$

که در آن؛

I متوسط جریان خطا برحسب آمپر مؤثر A rms،

t مدت‌زمان جریان خطا برحسب ثانیه (s) است.

ظرفیت‌های جریان خطای توصیه‌شده برای دوره‌های زمانی یک و سه ثانیه به‌منظور انتخاب اندازه‌های استاندارد نوارهای مسی و آلومینیومی در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است.

برای سایر دوره‌های زمانی ظرفیت جریان خطای I برحسب آمپر مؤثر (A rms) می‌تواند از معادلات زیر محاسبه شود:

$$I = I_1\sqrt{t}$$

یا

$$I = kS\sqrt{t}$$

که در آن؛

I_1 جریان خطا برای مدت یک ثانیه برحسب آمپر مؤثر A rms (در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است)؛

S سطح مقطع هادی برحسب میلی‌متر مربع (mm^2)؛

k چگالی جریان مؤثر برحسب آمپر بر میلی‌متر مربع A/mm^2 است (در جدول ۴ ارائه شده است).

برای دیگر دماهای اولیه و نهایی، چگالی جریان k در زمان یک ثانیه می‌تواند از معادله زیر به دست آید:

$$k = K\sqrt{\log_e\left(\frac{T_2 + \beta}{T_1 + \beta}\right)}$$

که در آن؛

T_1 دمای اولیه برحسب درجه سانتی‌گراد؛

T_2 دمای نهایی برحسب درجه سانتی‌گراد؛

K و β دارای مقادیر ارائه شده در جدول ۷ می‌باشند.

جایی که جریان‌های نشتی زمین مداوم وجود دارد، باید مطمئن شد که هادی دارای جریان مجاز حرارتی متناسب با چنین جریان‌هایی بدون تجاوز از درجه حرارت مجاز برای عایق‌ها و نگه‌دارنده‌های است و یا درصورتی‌که هادی بدون روکش و در معرض تماس است، دمای آن نباید بیش از $۷۰\,^{\circ}C$ شود. چنین جریان‌های مداوم زمین ممکن است مقدار دمای اولیه را افزایش دهد که باید هنگام انتخاب اندازه هادی برای عبور جریان‌های خطای اتصال به زمین موردتوجه قرار گیرد.

علاوه بر انطباق با محدودیت‌های حرارتی که در بالا شرح داده شد، هادی زمین نباید سطح مقطعی کمتر از $۴\ mm^2$ درجایی که حفاظت در برابر خوردگی ایجاد شده یا کمتر از $۲٫۵\ mm^2$ هنگامی‌که به لحاظ مکانیکی نیز محافظت‌شده است را داشته باشد.

جایی که یک هادی زمین در داخل زمین نصب‌شده و در برابر خوردگی محافظت‌شده باشد، اما هیچ حفاظت مکانیکی نداشته باشد، سطح مقطع نباید از $۱۶\ mm^2$ برای مس یا فولاد پوشش داده‌شده کمتر باشد. اگر حفاظت در برابر خوردگی ایجاد نشده باشد سطح مقطع نباید از $۲۵\ mm^2$ برای مس و $۵۰\ mm^2$ برای فولاد کمتر باشد.

ضخامت هادی‌های تسمه‌ای حفاظت نشده نباید از ۳ mm کمتر باشد.

مواد مورد استفاده برای ساخت اتصالات باید با مواد الکترود زمین و هادی زمین سازگار باشند، به‌طوری‌که خوردگی گالوانیک به حداقل برسد. در صورت استفاده از اتصالات آلیاژ مس، نباید حاوی بیش از ٪ ۱۵ روی باشند.

اتصالات باید به لحاظ مکانیکی قوی بوده و به‌طور مطمئن بسته شوند. تمامی کِلَمپ‌های زمین باید به‌طور ذاتی در برابر خوردگی مقاوم باشند. جایی که اتصالات پیچی استفاده می‌شود، پیچ‌ها باید حداقل گشتاور ۲۰Nm را تحمل کنند.

جدول ۴- چگالی‌های جریان خطای اتصال به زمین در مدت زمان یک ثانیه، برای هادی‌های زمین با دمای اولیه ۳۰ °C

نوع اتصال [a]				بیشینه دما [b] °C	چگالی جریان موثر، K		
جوش	لحیم سخت	پیچ	لحیم نرم		مس	آلومینیوم	فولاد
					A/mm²	A/mm²	A/mm²
✓				۷۰۰	۲۵۴	–	۹۱
✓				۶۰۰	۲۵۲	–	۸۷
✓				[c]۵۰۰	۲۲۸	–	۸۲
✓	✓			۴۵۰	۲۲۰	–	۷۹
✓	✓			۴۰۰	۲۱۱	–	۷۶
✓	✓			۳۵۰	۲۰۱	–	۷۳
✓	✓			۳۰۰	۱۹۰	[d]۱۲۵	۶۹
✓	✓	✓		۲۵۰	۱۷۶	۱۱۶	۶۴
✓	✓	✓		[e]۲۰۰	۱۵۹	۱۰۵	۵۸
✓	✓	✓	✓	[f]۱۵۰	۱۳۸	۹۱	۵۰
✓	✓	✓	✓	۱۰۰	–	–	–

[a] تیک (✓) نشان می‌دهد که نوع اتصال مناسب برای استفاده تا دمای نشان داده شده و خود مقدار است.

[b] لازم است تایید شود، موادی که ممکن است در محل مشترک به عنوان هادی باشند، آسیب نخواهند دید یا در دمای انتخاب شده خطر آتش سوزی وجود ندارد.

[c] در دمای بیش از ۲۰۰ °C، باید هادی در طول آن قابل مشاهده باشد، نگهدارنده سرامیکی یا فلزی (یا معادل) داشته باشد و خطر تماس با مواد آلی و یا هادی مجاور وجود نداشته باشد. دماهای بیش از ۵۰۰ °C توصیه نمی شود.

[d] مقاومت مکانیکی آلومینیوم با کیفیت به طور جدی در دماهای بالاتر کاهش می‌یابد.

[e] برای شرایط معمول جایی که هادی در طول مسیر قابل مشاهده نیست.

[f] بعضی از مصالح ساختمانی که احتمالا در مجاورت هادی قرار می گیرند ممکن است خطر آتش سوزی را در صورتی که بیش از ۱۵۰ °C باشد، نشان دهند.

یادآوری- لطفا برای دماهای بیشینه به استاندارد BS 7671:2008+A3 مراجعه شود.

جدول ۵- جریان های خطای اتصال به زمین (برحسب kA) برای هادی‌های زمین نواری (تسمه‌ای) مسی

دوره زمانی یک ثانیه					
اندازه هادی	بیشینه دمای هادی				
mm×mm	۱۵۰ °C	۲۰۰ °C	۲۵۰ °C	۴۵۰ °C	۵۰۰ °C
۲۰×۳	۸٫۳	۹٫۵	۱۰٫۶	۱۳٫۲	۱۳٫۷
۲۵×۳	۱۰٫۴	۱۱٫۹	۱۳٫۲	۱۶٫۵	۱۷٫۱
۲۵×۴	۱۳٫۸	۱۵٫۹	۱۷٫۶	۲۲	۲۲٫۸
۲۵×۶	۲۰٫۷	۲۳٫۹	۲۶٫۴	۳۳	۳۴٫۲
۳۱×۳	۱۲٫۸	۱۴٫۸	۱۶٫۴	۲۰٫۵	۲۱٫۲
۳۱×۶	۲۵٫۷	۲۹٫۶	۳۲٫۷	۴۰٫۹	۴۲٫۴
۳۸×۳	۱۵٫۷	۱۸٫۱	۲۰٫۱	۲۵٫۱	۲۶
۳۸×۵	۲۶٫۲	۳۰٫۲	۳۳٫۴	۴۱٫۸	۴۳٫۳
۳۸×۶	۳۱٫۵	۳۶٫۳	۴۰٫۱	۵۰٫۲	۵۲
۵۰×۳	۲۰٫۷	۲۳٫۹	۲۶٫۴	۳۳	۳۴٫۲
۵۰×۴	۲۷٫۶	۳۱٫۸	۳۵٫۲	۴۴	۴۵٫۶
۵۰×۶	۴۱٫۴	۴۷٫۷	۵۲٫۸	۶۶	۶۸٫۴
دوره زمانی سه ثانیه					
اندازه هادی	**بیشینه دمای هادی**				
mm×mm	۱۵۰ °C	۲۰۰ °C	۲۵۰ °C	۴۵۰ °C	۵۰۰ °C
۲۰×۳	۴٫۸	۵٫۵	۶٫۱	۷٫۶	۷٫۹
۲۵×۳	۶	۶٫۹	۷٫۶	۹٫۵	۹٫۹
۲۵×۴	۸	۹٫۲	۱۰٫۲	۱۲٫۷	۱۳٫۲
۲۵×۶	۱۲	۱۳٫۸	۱۵٫۲	۱۹٫۱	۱۹٫۷
۳۱×۳	۷٫۴	۸٫۵	۹٫۵	۱۱٫۸	۱۲٫۲
۳۱×۶	۱۴٫۸	۱۷٫۱	۱۸٫۹	۲۳٫۶	۲۴٫۵
۳۸×۳	۹٫۱	۱۰٫۵	۱۱٫۶	۱۴٫۵	۱۵
۳۸×۵	۱۵٫۱	۱۷٫۴	۱۹٫۳	۲۴٫۱	۲۵
۳۸×۶	۱۸٫۲	۲۰٫۹	۲۳٫۲	۲۹	۳۰
۵۰×۳	۱۲	۱۳٫۸	۱۵٫۲	۱۹٫۱	۱۹٫۷
۵۰×۴	۱۵٫۹	۱۸٫۴	۲۰٫۳	۲۵٫۴	۲۶٫۳
۵۰×۶	۲۳٫۹	۲۷٫۵	۳۰٫۵	۳۸٫۱	۳۹٫۵

جدول۶- جریان های خطای اتصال به زمین (برحسب kA) برای هادی های زمین تسمه‌ای آلومینیومی

دوره زمانی یک ثانیه				
اندازه هادی mm×mm	بیشینه دمای هادی			
	۱۵۰ °C	۲۰۰ °C	۲۵۰ °C	۳۰۰ °C
۲۰×۳	۵٫۵	۶٫۳	۷	۷٫۵
۲۵×۳	۶٫۸	۷٫۹	۸٫۷	۹٫۴
۲۵×۶	۱۳٫۷	۱۵٫۸	۱۷٫۴	۱۸٫۸
۵۰×۶	۲۷٫۳	۳۱٫۵	۳۴٫۸	۳۷٫۵
۶۰×۶	۳۲٫۸	۳۷٫۸	۴۱٫۸	۴۵
۸۰×۶	۴۳٫۷	۵۰٫۴	۵۵٫۷	۶۰
دوره زمانی سه ثانیه				
اندازه هادی mm×mm	بیشینه دمای هادی			
	۱۵۰ °C	۲۰۰ °C	۲۵۰ °C	۳۰۰ °C
۲۰×۳	۳٫۲	۳٫۶	۴	۴٫۳
۲۵×۳	۳٫۹	۴٫۵	۵	۵٫۴
۲۵×۶	۷٫۹	۹٫۱	۱۰	۱۰٫۸
۵۰×۶	۱۵٫۸	۱۸٫۲	۲۰٫۱	۲۱٫۷
۶۰×۶	۱۸٫۹	۲۱٫۸	۲۴٫۱	۲۶
۸۰×۶	۲۵٫۲	۲۹٫۱	۳۲٫۱	۳۴٫۶

جدول۷- مقادیر K و β

فلز	K A/mm^2 (rms)	β °C
مس	۲۲۶	۲۳۴٫۵
آلومینیوم	۱۴۸	۲۲۸
آهن	۷۸	۲۰۲

یادآوری ۱- برای تأسیسات زمین بزرگ، مانند پست‌های اصلی، معمول است که مقرراتی برای آزمایش الکترودهای زمین تهیه شود. این امر توسط اتصالات متوالی پیچی یک گروه میله کوبیده شده به شبکه زمین اصلی داخل جعبه‌های بتنی درون زمین به دست می‌آید. چیدمان قطع کننده‌های ساده‌تر می‌توانند برای تأسیسات زمین کردن کوچک مناسب باشند.

یادآوری ۲- جزئیات بیشتر در بند ۶ برای تأسیسات در محدوده دامنه کاربرد استاندارد BS 7671: 2008 + A3 ارائه شده است.

۹-۸ چگالی جریان در سطح الکترود زمین

الکترود زمین باید طوری طراحی شود تا برای سیستمی که جزئی از آن است ظرفیت بارگذاری مناسبی داشته باشد، یعنی باید این قابلیت را داشته باشد که انرژی الکتریکی مسیر زمین را تحت هر شرایط عملکردی سیستم در نقطه‌ای که الکترود نصب‌شده است تلف نماید.

یادآوری ۱- نقص یک الکترود در برآورده کردن هدفش، اساساً به دلیل افزایش دمایی بیش‌ازحد سطح الکترود است و بنابراین عملکرد تابعی از چگالی و مدت زمان جریان و همچنین خواص الکتریکی و حرارتی خاک است.

یادآوری ۲- به‌طورکلی خاک‌ها دارای ضریب مقاومت حرارتی منفی هستند، به‌طوری‌که بارگذاری جریان تحمیلی منجر به کاهش مقاومت اولیه الکترود می‌شود و به دنبال آن به ازای یک ولتاژ مشخص اعمالی جریان خطای اتصال به زمین افزایش می‌یابد. بااین‌وجود هنگامی‌که رطوبت خاک در محل اتصال خاک و الکترود از بین می‌رود، مقاومت افزایش خواهد یافت و اگر افزایش حرارت به‌اندازه کافی باشد در انتها به بی‌نهایت میل کند. برای بارگذاری کوتاه مدت این در محدوده $۱۰۰^{\circ}C$ رخ می‌دهد و منجر به خرابی کامل الکترود می‌شود.

سه شرایط عملکردی باید در نظر گرفته شود، عملکرد معمول سیستم برای بارگذاری طولانی‌مدت، ازدیاد بار کوتاه‌مدت تحت شرایط خطا در سیستم‌های که به طور مستقیم زمین شده، ازدیاد بار طولانی مدت تحت شرایط خطا برای سیستم‌های محافظت‌شده با پیچک‌های جرقه گیر[1].

یادداشتی در مورد زیر بند ۹-۸- اندک کار عملی که بر روی این موضوع انجام‌شده منحصر است به آزمایش‌های مدل با الکترودهای کروی در خاک رس یا گل با مقاومت ویژه کم و به جمع‌بندی‌های ذیل منجر شده است.

بارگذاری طولانی‌مدت در شرایط عدم تعادل معمول سیستم، موجب نقصان الکترود زمین نخواهد شد به‌شرط آنکه چگالی جریان در سطح الکترود از $۴۰\ A/m^2$ فراتر نرود. به‌طورکلی ضرورت تضمین یک زمین مقاومت پایین محدود شدن به مقادیر کمتر از این مقدار را ایجاب می‌کند.

زمان شکست در بارگذاری کوتاه‌مدت، متناسب با معکوس بارگذاری موردنظر است، که با $J^2\rho$ داده‌شده است جایی که J چگالی جریان سطح الکترود و ρ مقاومت ویژه خاک است. برای خاک‌های مورد بررسی بیشینه چگالی جریان مجاز برحسب آمپر بر مترمربع (A/m^2) از معادله زیر به دست می‌آید:

$$J = 10^3 \sqrt{\frac{57,7}{\rho t}}$$

که در آن؛

t مدت‌زمان خطای اتصال به زمین برحسب ثانیه (s)؛

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm) است.

تجربه نشان می‌دهد که این معادله برای الکترودهای صفحه نیز، مناسب است.

1 - Arc-suppression coils

۹-۹ هادی‌های زمین برای پست‌ها و تأسیسات صنعتی با بهره‌برداری در ولتاژهای یکسان

۹-۹-۱ جانمایی

۹-۹-۱-۱ کلیات

لازم است ارتباطات دائمی و قابل‌اطمینانی بین تمام تجهیزات و الکترودهای زمین برقرار شود، به‌طوری‌که یک مسیر مقاومت پایین برای جریان‌های خطا، هم برای اقلام بین تجهیزات و هم زمین موجب شود. موقعیت مؤثر هادی‌های زمین بستگی به چیدمان تجهیزات دارد، اما موارد زیر می‌تواند به‌عنوان یک راهنما موردتوجه قرار گیرند.

جایی که جریان مجاز حرارتی یک قطعه اصلی آلومینیومی یا فولادی یا قسمت‌های جوش داده‌شده که یک سازه را شکل می‌دهند، حداقل معادل هادی زمین موردنیاز باشد، سازه می‌تواند بخشی از اتصال باشد و نیازی به قرار دادن هادی زمین در این بخش وجود ندارد.

هرجایی، در سازه‌هایی که از قسمت‌هایی پیچی ساخته‌شده‌اند، که پیوستگی الکتریکی اتصالات سازه‌ای نمی‌تواند برای ایجاد یک اتصال دائمی و قابل‌اتکا مورد اعتماد باشند، نصب همبندی حلقه‌ها در دو طرف این اتصالات ضروری است.

۹-۹-۱-۲ تجهیزات فضای داخلی

هادی‌های اصلی زمین که ممکن است به شکل یک حلقه باشد، باید به هر قسمت فلزی تجهیزات و الکترودها متصل شوند. به‌غیراز تأسیسات خیلی کوچک باید یک اتصال به الکترودهای زمین در هر انتهای هادی‌های زمین داشته باشیم یا اگر هادی به‌صورت حلقه است در چندین نقطه. این اتصالات ممکن است، بسته به چیدمان، کابل‌های دفن شده‌ای با ظرفیت مناسبی برای جریان اتصال کوتاه مدار باشند. جایی که سازه یک تابلو برق گسترده است یا بیش از یک طبقه را اشغال می‌کند، ممکن است شامل یک هادی موازی اضافی باشد، که این هادی باید در یک یا چند نقطه به هادی اصلی زمین در هر بخش از تابلو برق متصل شود.

هادی‌های اصلی زمین باید به‌گونه‌ای قرار بگیرند که غلاف‌های فلزی کابل بتوانند به‌راحتی توسط گلند کابل به آن متصل شوند. آنجایی که کابل دارای زره فلزی است، این زره باید به گلند کابل بسته شود.

هادی‌های زمین باید برای اتصال به هر تجهیز با زمین جداشدنی که با تجهیزات الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در دسترس باشند.

اتصالات انشعابی از هادی زمین اصلی باید برای تمام تجهیزات فرعی مانند پانل‌های رله و کنترل، سازه‌های ساختمانی و تأسیسات اطفای حریق ارائه شود.

جایی که دستگاه‌های حفاظت فاز به زمین داخل تابلوهای برق با جریان نشتی کار می‌کنند باید دو هادی زمین ارائه شود. چهارچوب متصل‌کننده قاب واحدهای کلید باید با عبور از ترانس جریان یا دیگر تجهیزات

حفاظتی و عبور از متصل‌کننده پیچی جهت تست به زمین اصلی وصل شود. این اتصال با هدف آزمون باید پیچی باشد. هادی اصلی زمین باید به‌طور مناسب و جداگانه برای اتصال به غلاف کابل‌ها و تجهیزات زمین اجرا شود. جایی که آن بر روی محفظه‌ی کلید تعبیه می‌شود باید با عایقی که تحمل ولتاژ ۴ kV، ۵۰ Hz را برای یک دقیقه دارند عایق‌کاری شود. توجه شود باید از مسیرهای موازی برای جریان زمین که ممکن است بر عملکرد حفاظت تأثیرگذار باشد جلوگیری کرد. گلندهای عایق کابل باید نوعی باشند که بتوان بدون جداسازی اتصالات اصلی زمین تست شوند. چنین گلندهایی باید از دو قسمت عایق جداشده با یک‌لایه فلزی تشکیل شوند، که به بدنه فلزی کلید قدرت با یک رابط متصل می‌شوند، بنابراین می‌توان عایق بین لایه‌های فلزی و غلاف کابل و بین لایه فلزی و بدنه فلزی کلید قدرت را با باز کردن آزمایش کرد.

۹-۹-۱-۳ تجهیزات فضای بیرونی (به‌غیراز ترانسفورماتورهای نصب‌شده بر تیر)

ترمینال زمین اصلی باید به نحوی ایجاد شود که به تجهیزات اصلی مانند ترانسفورماتورها و قطع کننده‌های جریان، اجازه دهد با کوتاه‌ترین اتصال فرعی وصل شوند. جایی که ممکن است باید چیدمان حلقه به دور ایستگاه ایجاد شود. شینه زمین اصلی (یا حلقه) باید هر جا که لازم است به الکترودهای زمین وصل شود. برای ایستگاه‌های بزرگ‌تر حلقه باید توسط یک یا چند اتصال متقابل تقویت شود.

از شینه اصلی باید شاخه‌های اتصال به هر یک از دستگاه‌ها برسد و جایی که چندین مورد مشابه در کنار یکدیگر قرار دارند، یک حلقه فرعی با شاخه‌های کوتاه بر تعدادی شاخه‌های طولانی از شینه اصلی ترجیح دارد. هدف باید ایجاد یک سیستم مشبک باشد با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی باشد.

سازوکارهای عملیاتی برای جداکننده‌های فضای بیرونی و کیوسک‌های کنترل کلیدهای زمین و قطع کننده مدار و غیره، نباید با قطع کننده مدار یکپارچه شود و باید با یک انشعاب کاملاً جداگانه، از زمین استفاده‌شده برای جداسازها یا سازه قطع کننده‌های مدار و یا زمین پایه کلید، به شبکه زمین اصلی وصل شود.

جایی که سیم زمین خط ورودی در تکیه‌گاه ترمینال پایان می‌یابد و به نقطه‌ای از سازه پست اتصال ندارد، باید یک اتصال زمین فرعی بین سیستم زمین پست و پایه تکیه‌گاه ایجاد شود. اگر دومی بیرون حصار پست واقع‌شده باشد، اتصال زمین جایی که از زیر حصار عبور می‌کند باید دفن شود و باید به‌خوبی از دومی جدا نگهداشته شود.

اتصال زمین به برق‌گیرها باید سطح مقطع بزرگی داشته و مستقیماً و تا حد ممکن کوتاه باشند، آن‌ها نباید از لوله‌های آهنی یا دیگر قسمت‌های آهنی و فولادی که می‌توانند امپدانس اتصال تخلیه را افزایش دهند عبور کنند. اتصال زمین برق‌گیر باید به سیستم زمین اصلی متصل شود، اگرچه برای حفاظت مؤثر تجهیزات پست لازم است که یک اتصال امپدانس پایین بین برق‌گیر و تجهیزات وجود داشته باشد.

۹-۹-۲ اندازه

۹-۹-۲-۱ هادی‌های نصب‌شده روی سطح زمین

هادی‌های زمین برای نیروگاه‌ها و پست‌ها به‌طورمعمول از آلومینیوم یا مس بدون روکش با اندازه مناسب برای تحمل جریان خطای سه فاز و خطای اتصال به زمین، بدون افزایش بیش‌ازحد دما و برای بیشینه زمان طراحی می‌شوند. عمل به این توصیه، هم‌بندی رضایت‌بخش را بدون اختلاف ولتاژ بیش‌ازحد در هر هادی تضمین می‌کند. در برخی موارد ممکن است از سازه‌های فولادی گالوانیزه به‌عنوان هادی‌های زمین استفاده شود.

کمینه سطح مقطع هادی‌های زمین باید با انتخاب جنس هادی و بیشینه مدت‌زمان جریان خطا تعیین شود. مدت‌زمان قابل‌قبول که باید برای اهداف طراحی مورد استفاده قرار گیرد ۱ s برای سیستم‌های kV ۴۰۰ و kV ۲۷۵ و ۳ s برای سیستم‌های ولتاژ پایین‌تر است.

۹-۹-۲-۲ هادی‌های دفن شده به‌عنوان الکترود

سطح مقطع هادی‌های دفن شده به‌عنوان الکترود زمین باید بیشتر از نامی در نظر گرفته شوند تا در شرایط خطا افزایش دما را محدود کند و اطمینان حاصل گردد که هادی یک الکترود مؤثر باقی می‌ماند. در این کاربرد ممکن است فرض شود که افزایش دما ناشی از اثر حرارتی جریان عبوری از هادی و جریان تخلیه‌شده از سطح هادی به جرم کلی زمین است (به زیر بند ۹-۸ مراجعه شود)

۹-۹-۳ ساختار

۹-۹-۳-۱ کلیات

برای ایمنی اشخاص و تجهیزات لازم است که سیستم زمین در طول عمر تجهیزات، مؤثر باقی بماند. در بسیاری از موارد، پس از نصب بررسی تداوم عملکرد دشوار است: بنابراین سیستم باید مستحکم بوده و در مقابل آسیب‌های مکانیکی و خوردگی در صورت نیاز محافظت شود. همه اتصالات باید بتوانند پس از گذراندن تعداد زیادی از جریان‌های خطا، مقاومت کم را حفظ کنند.

۹-۹-۳-۲ هادی‌های دفنی

دفن کردن هادی‌های مسی یا فولادی بدون روکش به‌عنوان بخشی از سیستم زمین باید در عمق حدود ۶۰۰mm باشد، تا علاوه بر حفاظت هادی‌ها و اتصالات، از قرار گرفتن آن‌ها در زیر عمق یخزدگی خاک اطمینان حاصل گردد. به‌طورکلی یک هادی آلومینیومی فقط باید بر روی سطح زمین استفاده شود و اتصال‌ها به الکترودهای زمین باید با اتصال‌دهنده‌های دو فلزی (مانند: آلومینیوم به مس) و در روی سطح زمین انجام شود. آلومینیوم تنها درصورتی‌که در مقابل تماس با خاک و رطوبت محافظت شود می‌تواند در زیر زمین مورد استفاده قرار گیرد.

جایی که یک سیستم زمین مناسب ایجاد شده است هادی‌های اتصالات فرعی می‌توانند در مناسب‌ترین عمق با توجه به شرایط سایت، دفن شوند. برای سهولت اتصال به تجهیزات ممکن است آن‌ها در عمق ۲۵۰mm دفن شوند. در این صورت آن‌ها در قسمتی از زمین که در معرض تغییرات فصلی و ناگهانی هستند قرار دارند، لذا باید فرض شود که آن‌ها سهم ناچیزی در کاهش مقاومت زمین ایستگاه دارند. به‌عبارت‌دیگر می‌توان فرض کرد که اتصالات فرعی برای کاهش گرادیان ولتاژ سطح زمین در محل ایستگاه انجام شوند. در مقابل، جایی که این هادی‌ها به‌منظور کاهش مقاومت زمین در یک ایستگاه در نظر گرفته‌شده‌اند، کمینه عمق آن‌ها باید ۶۰۰mm باشد. این توصیه‌ها به‌طورکلی در ایستگاه‌های محل‌های معمولی اعمال می‌شود. جایی که شرایط زمین عمق تأسیسات را محدود کند یا جایی که مقاومت ویژه خاک زیاد است، برای رسیدن به سطح قابل‌قبول از گرادیان ولتاژ ممکن است اقدامات اضافی نیاز باشد. جایی که یک هادی فلزی زیر حصار فلزی دفن شده است، هادی باید توسط لوله غیرفلزی که از هر طرف حصار حداقل ۲ m طول دارد یا به استفاده از هادی عایق دار، عایق شود.

هنگامی‌که هادی چند مفتولی به‌منظور زمین کردن دفن می‌شود باید مراقب بود که از باز شدن مفتول‌های آن جلوگیری شود.

۹-۹-۳-۳ بستن هادی‌ها

هادی‌های آلومینیومی یا مسی نباید برای بستن به سازه سوراخ شوند. از گیره‌هایی باید استفاده شود که از تماس بین هادی و سازه جلوگیری کنند و از مواد مناسب باشند به‌طوری‌که واکنش الکترولیتی بین هادی و سازه به وجود نیاید. فاصله بست‌ها نباید بیش از یک متر باشند.

هادی‌های زمین در کانال‌های انتقال قدرت و/یا کابل‌های چند رشته‌ای باید به دیوارها در نزدیکی رأس فوقانی بسته شوند. (مثلاً ۱۰۰ mm از رأس فوقانی)

تسمه مسی زمین با نگهدارنده یا در تماس با فولاد گالوانیزه باید برای جلوگیری از واکنش الکترولیتی، با قلع پوشانده شود.

اگر خم‌های تند در آلومینیم نیاز است، باید با استفاده از ماشین خم‌کاری شکل داده شود تا از تمرکز تنش جلوگیری گردد.

آلومینیم هنگامی‌که در تماس با مخلوط سیمان پرتلند و ملات باشد، مستعد خوردگی است. بنابراین باید به‌وسیله بست‌های عایق کننده از تماس هادی‌های آلومینیومی با چنین موادی جلوگیری کرد.

هادی آلومینیومی زمین نباید تا عمق ۲۵۰ mm زمین نصب شود مگر آنکه محافظت‌شده باشد.

۹-۹-۴ اتصال هادی‌ها

۹-۹-۴-۱ کلیات

تمام هادی‌های شبکه زمین اصلی که از یکدیگر عبور می‌کنند باید به هم متصل شوند. ممکن است از اتصالات نوع پرسی برای هادی‌های رشته‌ای استفاده شود و هنگامی‌که به هادی مربوطه محکم پرس گردید، اتصال باید مطابق استاندارد BS 3288-1 باشد.

هادی‌های تسمه‌ای برای پیچ کردن نباید با قطری بزرگ‌تر از یک‌سوم عرض تسمه سوراخ شوند. اگر از این قطر فراتر رود باید یک واشر[1] به تسمه وصل شود.

۹-۹-۴-۲ آلومینیوم به آلومینیوم

در صورت امکان اتصال هادی‌های تسمه‌ای باید با استفاده از جوش قوسی از هر یک از تکنیک‌های گاز بی‌اثر- قوس تنگستن (TIG[2]) یا گاز بی‌اثر- قوس فلز (MIG[3]) مطابق با استاندارد BS EN 1011-4 باشد. جوش سخت با گاز اکسیژن- استیلن یا جوش فشاری سرد ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

انواعی از اتصالات پرسی و ابزارها برای اتصال هادی‌های گرد قابل‌استفاده است، هادی‌های دایره‌ای نیز ممکن است با ابزار مناسب برای ایجاد ترمینال مسطح و سوراخ شوند.

هادی‌های گرد و مستطیلی می‌توانند با کلمپ‌های پیچی متصل شوند.

هادی‌های مستطیلی می‌توانند با سوراخ کردن و پیچ کردن، متصل شوند یا به شکل ترمینال در آیند. هنگامی‌که یک اتصال نوع پیچی ایجاد می‌شود، باید سطح آلومینیوم با برس سیمی تمیز شود و بلافاصله یک ترکیب اتصال‌دهنده مورد تأیید به هر دو سطح اضافه شود. سپس پیچ‌ها باید محکم شده و همه‌ی گریس یا مواد اضافی آن پاک و زدوده شود.

برای اطمینان از فشار تماس مناسب و اجتناب از تنش بیش‌ازحد، باید گشتاورسنج استفاده شود. برای جزئیات بیشتر در مورد اتصال‌ها و مراحل آن‌ها، مدارک ارائه شده توسط سازنده هادی باید موردبررسی قرار گیرد.

جوش فشاری سرد و جوش انفجاری می‌تواند برای اتصال هادی‌های مستطیلی استفاده شوند. از سازنده معتبر باید جزئیات این روش‌ها اخذ شود.

۹-۹-۴-۳ آلومینیوم به مس

اتصال بین آلومینیوم و مس باید پیچی باشد، جوش فشاری سرد یا جوش اصطکاکی باید با اتصال آن‌ها بر یک صفحه عمودی و حداقل ۲۵۰mm بالای سطح زمین نصب شود. برای اتصالات پیچی، سطح آلومینیوم

1- Flat
2- Inert-gas tungsten-arc
3- Inert-gas metal -arc

باید به‌خوبی تمیز شده (مثلاً با برس سیمی) و گریس یا ترکیب اتصال‌دهنده مناسب استفاده شود، سطح مس باید به‌صورت گرم قلع اندود شود. بعد از محکم کردن پیچ (ها) با گشتاور مناسب، گریس و مواد اضافی باید پاک شود. در صورت نیاز به محافظت اتصال از نفوذ رطوبت، می‌توان مخلوط بتونه مناسب (نوعی چسب ماستیک) یا آستین (روکش) پلی اتلین مقاوم به تابش با چسب درز بندی، بر روی اتصال کامل شده بکار رود. همچنین، ممکن است مفصل توسط رنگ بیتوماستیک[1] یا بسته‌بندی مناسب محافظت شود.

اتصال هادی‌های آلومینیومی به تجهیزات باید تا جایی که امکان دارد به شکل عمودی قرار داده شوند. آماده‌سازی سطح آلومینیوم، اتصال مناسب و محافظت در مقابل رطوبت باید طبق توضیحات قبل باشد.

۹-۹-۴-۴ مس به مس

روش‌های زیر مورد تائید است و می‌تواند استفاده شوند :

الف- لحیم کردن، استفاده کردن از مواد لحیم‌کاری بدون روی با حداقل نقطه ذوب $^{\circ}C$ ۶۰۰؛

ب- پیچ کردن؛

پ- جوش حرارتی.

اتصال تجهیزات به هادی‌های زمین باید تا آنجا که عملی است عمودی تا سطح مورد تماس قرار گیرند. در مورد فلزهای رنگ‌شده، باید رنگ به‌طور کامل برداشته شود. هادی‌های زمین هنگامی‌که به فولاد گالوانیزه متصل می‌شوند باید قلع اندود شوند.

نقطه اتصال نباید کمتر از mm ۲۵۰ بالای سطح زمین باشد. در هر تأسیسات جایی که اتصال نهایی در معرض خوردگی باشد، باید با رنگ بیتوماستیک و یا با یک نوار حفاظتی مناسب حفاظت شود.

۹-۹-۴-۵ حلقه‌ها برای زمین‌های سیار

حلقه‌هایی از آلومینیوم یا مس باید بر روی هادی زمین در هر مکانی که ممکن است از زمین سیار استفاده شود تهیه گردد. حلقه‌ها باید طول مناسب برای زمین کردن دستگاه‌های احتمالی داشته باشند، باید در زمین مناسب بوده و به‌طور جداگانه شکل داده‌شده باشند نه با خم کردن خود تسمه زمین. حلقه‌ها باید به هادی زمین با یکی از روش‌های زیر بندهای ۹-۹-۴-۲ تا ۹-۹-۴-۴ متصل شوند.

۹-۱۰ خوردگی

۹-۱۰-۱ نوع خاک

عوامل مرتبط با خوردگی فلزات در تماس با خاک که باید مورد توجه قرار گیرند: ماهیت شیمیایی خاک، به‌ویژه ترکیبات اسیدی و نمکی، اختلاف تراکم هوا و باکتری‌های بی‌هوازی هستند.

1- Bitumastic

یک نمونه کلی از تأثیر خاک‌ها بر خوردگی به ترتیب افزایش اثر انواع خاک، مطابق فهرست زیر می‌باشد:

- خاک‌های سنگی؛
- خاک‌های شنی؛
- خاک‌های نمکی (لوم[1])؛
- خاک رس؛
- کود گیاهی و دیگر خاک‌های اورگانیک؛
- خاک‌های ایجاد شده حاوی خاکستر و دیگر مواد خورنده.

یادآوری – کربنات کلسیم در خاک سرعت خوردگی را کاهش می‌دهد. خاک‌ها غیر خورنده، از مخلوط سه مورد نخست در فهرست بالا ایجاد می‌شود، به‌طورکلی آن‌هایی که کاملاً خشک و حاوی نمک‌های محلول کم یا هیچ هستند کمترین اثر خوردگی را دارند. خاک‌های با تأثیر خورندگی پایین متمایل به مقاومت ویژه بالا هستند.

مکان الکترودها باید به نحوی انتخاب شوند که از کشیده شدن کود و دیگر مواد به داخل ناحیه جلوگیری شود. خاک حفاری نباید با مواد پر کننده اطراف الکترود مخلوط شود.

با اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی خاک جزئیات بیشتری می‌تواند حاصل شود، که علامتی از خوردگی تحت شرایط گردش هوا و پتانسیل اکسایش را که نشان‌دهنده خطر خوردگی به علت وجود باکتری‌های بی‌هوازی است، فراهم می‌کند. این آزمایش‌ها باید مطابق با استاندارد BS 1377-3 انجام شود.

راهنمای خوردگی بعضی مواد الکترودها در ارتباط با مشخصات این خاک‌ها را می‌توان در جدول ۸ یافت.

مس یکی از بهترین و معمول‌ترین مواد مورد استفاده برای الکترودهای زمین و هادی‌های داخل زمین است. مس سخت منحصراً برای جایی که جریان خطای زیادی پیش‌بینی می‌شود مناسب است و توصیه می‌گردد. برای دیگر تأسیسات، فولاد پوشید شده با مس (مانند میله‌های زمین) می‌تواند مؤثر باشد که در مقاطع کوچک‌تر استحکام مکانیکی بالاتری ارائه دهد. بااین‌حال، اثرات نامطلوب نمک‌های محلول، اسیدهای ارگانیک و خاک‌های اسیدی به‌طورکلی باید مورد توجه قرار گیرد.

به‌طورکلی فولاد داخل بتن فونداسیون توسط بتن در مقابل خوردگی حفاظت می‌شود و می‌تواند به‌عنوان یک الکترود مطلوب عمل کند، اگر قیود هدایت الکتریکی مناسب و پیوستگی الکتریکی مطمئن را داشته باشد. فولاد داخل بتن الکتروپتانسیلی مشابه مس دارد و بنابراین می‌تواند به الکترودهای زمین مسی یا با پوشش مسی متصل شود. بااین‌حال توجه کنید که فولاد گالوانیزه نسبت به مس و فولاد در بتن به‌شدت الکترونگاتیو[2] است، از این‌رو الکترود از جنس فولاد گالوانیزه بدون روکش نباید به هیچ‌یک از آن‌ها متصل شود.

1 -Loam
2- electronegative

جدول ۸- مقاومت در برابر خوردگی برخی جنس الکترودها نسبت به پارامترهای خاک

پارامتر خاک		جنس الکترود			
		مس	فولاد گالوانیزه شده	فولاد غیرمغناطیسی	فولاد نرم
مقاومت ویژه Ωm	<۷	g	n	g	nn
	۷-۴۰	g	n	gg	n
	>۴۰	gg	gg	gg	gg
پتانسیل اکسایش mV	<۲۰۰	n	nn	n	nn
	۲۰۰-۴۰۰	g	g	gg	g
	>۴۰۰	gg	gg	gg	gg
میزان رطوبت ٪	<۱۰	gg	gg	gg	gg
	۱۰-۸۰	g	n	g	n
	>۸۰	g	g	g	g
نمک محلول		n	n	g	n
نمک کلرید		n	n	g	n
pH اسیدی	<۶	n	nn	g	n
خنثی	۶-۸	gg	gg	gg	gg
قلیایی	>۸	g	n	gg	g
اسیدهای آلی		nn	n	g	n

راهنما:

gg نشان‌دهنده‌ی این است که مقاومت در برابر خوردگی را عموماً تحت تأثیر قرار نمی‌دهد.

g نشان‌دهنده‌ی این است که مقاومت در برابر خوردگی تنها اندکی کاهش می‌یابد.

n نشان‌دهنده‌ی این است که مقاومت در برابر خوردگی تا حد متوسط کاهش می‌یابد.

nn نشان‌دهنده‌ی این است که مقاومت در برابر خوردگی به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد.

۹-۱۰-۲ خوردگی به علت اتصال با یک فلز دیگر

احتمال آسیب به کابل‌ها و دیگر تأسیسات خدمات زیر زمینی و سازه‌های فلزی زیر زمین، در مجاورت الکترودها و سیستم زمینی که به آن‌ها متصل هستند، به علت واکنش الکترولیتی بین فلزات غیرمشابه، نباید نادیده گرفته شود. میزان خوردگی بستگی به فلزات درگیر و اندازه مساحت نسبی سطوح آن‌ها دارد. همچنین در برخی موارد اتصال فلزات در زمین می‌تواند نرخ خوردگی الکترود زمین را افزایش دهد. مواد سازگار با اقلام مجاور باید انتخاب شود یا احتیاط‌های دیگر اتخاذ گردد. جدول ۹ خلاصه‌ای از وضعیت برخی از مواد تشکیل دهنده زمین است.

جدول ۹- تناسب مواد برای اتصال به هم

ماده با فرض دارا بودن ناحیه سطحی بزرگ‌تر	ماده الکترود یا مواردی با فرض دارا بودن ناحیه سطحی کوچک‌تر			
	فولاد	فولاد گالوانیزه	مس	مس قلع اندود
فولاد گالوانیزه	✓	✓	✓	✓
فولاد داخل بتن	×	×	✓	✓
فولاد گالوانیزه داخل بتن	✓	✓[a]	✓	✓
سرب	✓	✓[a]	✓	✓

راهنما:

× نامناسب برای اتصال

✓ مناسب برای اتصال

[a] گالوانیزه بر روی سطوح کوچک‌تر ممکن است صدمه ببیند.

۹-۱۰-۳ انتخاب با توجه به خوردگی و استحکام مکانیکی

انتخاب جنس هادی زمین، باید با در نظر گرفتن سازگاری با جنس الکترود زمین و برای هادی که در زمین نصب می‌شود، با در نظر گرفتن تأثیر خورندگی خاک انجام شود.

از دو جنبه باید مقاومت در برابر خوردگی یک الکترود زمین یا یک هادی زمین موردتوجه قرار گیرد: سازگاری با خاک و اثرات گالوانیک ممکن وقتی‌که به‌صورت الکتریکی به فلزات مجاور اتصال داده می‌شود. دومی بیشتر زمانی رخ می‌دهد که سیستم زمین به قطعات سازه‌های فلزی بدون حفاظ متصل می‌شود.

الکترودها که مستقیماً با خاک در تماس هستند، باید از مواد مقاوم در برابر خوردگی باشند (تعرض شیمیایی و بیولوژیکی، اکسیداسیون، تشکیل زوج الکترولیتی، الکترولیز و غیره ...). آن‌ها باید قادر به مقاومت در برابر تأثیرات مکانیکی در هنگام نصب و همچنین در حین کار معمول باشند. فولاد داخل بتن فونداسیون و یا شمع‌های فولادی دیگر الکترودهای طبیعی می‌توانند به‌عنوان بخشی از سیستم زمین استفاده شوند. الزامات استحکام مکانیکی و ملاحظات خوردگی کمینه ابعاد توصیه‌شده برای الکترودهای

جدول۱۰- اندازه‌های حداقلی قطعات برای الکترودهای زمین

نوع الکترود	سطح مقطع mm^2	قطر یا ضخامت mm
نوار (تسمه) مسی	۵۰	۳
سیم‌های مفتول یا میله‌های مسی آنیل یا سخت‌کاری شده، برای کوبیدن یا دفن کردن در زمین	۵۰	۸
میله‌های فولادی با پوشش مس یا گالوانیزه (یادآوری‌ها ملاحظه شوند) برای زمین‌های سخت‌تر	۱۵۳	۱۴
مس تابیده‌شده (سیم مسی افشان یا نیمه افشان)	۵۰	۳ برای هر رشته

زمین را،که در جدول ۱۰ آمده است، تعیین می‌کنند.

میله‌های مسی سخت باید در زمین‌های نرم یا زمین‌هایی که خوردگی بالایی دارند استفاده شود (مانند زمین‌هایی که حاوی نمک بالایی هستند)، درحالی‌که فولاد آبکاری شده معمولاً هنگامی استفاده می‌شود که کوبیدن مکانیکی به علت عمق موردنیاز و یا سختی زمین ضروری است.

میله‌های فولادی با یک کابل مسی که به نزدیکی نوک متصل است باید هنگامی مورد استفاده قرار گیرند که لازم است در یک منطقه با مقاومت ویژه خاک بالا، تا عمق زیادی کوبیده شود. در نهایت میله فولادی از بین می‌رود و کابل را به‌عنوان الکترود زمین خراب می‌کند.

هادی‌های زمین و همبندی، ساخته‌شده از فولاد باید حفاظت ویژه و مناسبی در برابر خوردگی داشته باشند.

سطح مقطع هادی‌های زمین و الکترودهای زمین باید بسته به‌اندازه و مدت‌زمان جریان خطا محاسبه شود. به بخش 543 از استاندارد BS 7671:2008 و زیر بند ۹-۱۱ این استاندارد مراجعه شود.

دمای نهایی باید با توجه به مواد و محیط اطراف انتخاب شود.

برای میله‌های فولادی با پوشش مس باید مغزی از فولاد کم‌کربن با استحکام کششی حدود ۶۰۰ Nm بوده و کیفیت آن از درجه S275 مطابق استاندارد BS EN 10025 پایین‌تر نباشد. پوشش دهی باید با مس الکترولیتی خالص ٪ ۹۹٫۹، به‌صورت مولکولی به هسته فولاد بچسبد. ضخامت پوشش مس باید از mm ۰٫۲۵ کمتر نباشد.

متصل‌کننده‌های میله‌های فولادی مس پوش باید از آلیاژ سیلیکون- مسی یا آلومینیوم برنز با حداقل ٪ ۷۵ مسی ساخته شوند.

برای میله‌های فولادی گالوانیزه، باید فولاد از درجه S275 مطابق با استاندارد BS EN 10025 استفاده شود. رشته‌ها قبل از گالوانیزه گرم مطابق استاندارد BS 729 برش داده می‌شوند.

ظرفیت جریان عبوری اتصالات مورد استفاده (به‌ویژه اتصال‌های پیچی) باید موردتوجه قرار گیرد. برای کمینه ابعاد الکترود زمین و هادی‌های زمین باید استاندارد BS EN 50164-2 به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شود.

۹-۱۱ انتخاب جنس الکترود زمین یا هادی زمین دفنی جداسازی نشده[1]

اگرچه جنس تأثیری بر مقاومت زمین یک الکترود ندارد، باید مراقب بود جنسی انتخاب شود که در برابر خوردگی در نوع خاکی که استفاده می‌شود، مقاوم باشد. بعضی از مواد توصیه‌شده برای ساخت قطعات زمین در جدول ۱۱ لیست شده است.

1-Uunisulated

از دو جنبه باید مقاومت در برابر خوردگی یک الکترود زمین یا یک هادی زمین موردتوجه قرار گیرد: سازگاری با خاک و اثرات گالوانیک ممکن وقتی‌که به‌صورت الکتریکی به فلزات مجاور اتصال داده می‌شود. دومی بیشتر زمانی رخ می‌دهد که سیستم زمین به قطعات سازه‌های فلزی بدون حفاظ (در معرض تماس) متصل می‌شود.

جدول ۱۱- مواد توصیه‌شده برای ساخت قطعات زمین

مواد و فرآیندها	BS		BS EN	
	BS no.	رده یا نوع	BS EN no.	تعیین
قالب‌های شکل‌دهی قطعات				
برنج قرمز			1982:2008	CB490K, CB491K
آلومینیوم سیلیکون برنز	1400	AB3 (معادلی در EN 1982 وجود ندارد)	1982:2008	CB331G
آلیاژ آلومینیوم			1780-1:2008	EN AB-44000 EN AB-42000
چدن			1561:1997	
آهن چکش‌خوار			1562:1997	
آهنگری و پرس‌کاری (شکل‌دهی سرد یا گرم)				
مس			12165:2011, 12420:1999	CW004A, CW008A, CW024A
آلومینیوم			586-2:1994	EN AW-6082-T6
فولاد	PD 970:2005	همه انواع	PD 970:2005 یک راهنما برای ENs مربوطه را فراهم می‌کند	
نورد و ساخت (از تسمه، سیم‌پیچ، ورق نازک و صفحه)				
مس آنیل شده			1652:1998	CW004A, CW006A , CW008A , CW024A
آلومینیوم			485-2:2008	EN AW-6082-T6
فولاد زنگ نزن	1449-2:1991	316S11	10088-1:2005	1.4404
فولاد (برای گالوانیزه کردن)	1449-2:1991 همه قسمت‌ها	تمام انواع مربوطه (برای راهنمایی BS 1449-1.1:1991 ملاحظه شود)	10025-2:2004	S275
میله‌ها، لوله‌ها و هادی‌های بدون روکش (برای قطعات و اتصالات ماشینی)				
مس، آنیل یا سخت‌کاری شده	2871-1:1971, 2871-2:1972, 2874	C101, C102, C103	12449:1999 12163:2011 12167:2011	CW006A, CW023A, CW024A,
سیلیکن مس			12163:2011	CW116C
فسفر برنز			12163:2011	CW451K
آلومینیوم برنز	2871-3:1972	CA102	مشابه نیست	
آلومینیوم	1474:1987	6082-TF	755-2-1997	EN AW-6082-T6
فولاد (برای استفاده معمول)	PD 970:2005	همه انواع	PD 970:2005 ENs	راهنمای مربوط به آن را فراهم می‌کند
فولاد (برای گالوانیزه کردن)	PD 970:2005	همه انواع	PD 970:2005 ENs	راهنمای مربوط به آن را فراهم می‌کند
فولاد زنگ نزن (برای استفاده معمول)	PD 970:2005	325S31 316S11	10088-1:2005	1.4404

مواد و فرآیندها	BS		BS EN	
	BS no.	رده یا نوع	BS EN no.	تعیین
فولاد زنگ نزن (غیرآهنربایی (نگیر))	PD 970:2005	325S11 325S31	10088-1:2005	1.4301
پیچ، مهره، واشر، اتصالات پیچی و پرچی، پیچ داخلی میله‌های زمین				
برای استفاده از مس: فسفر برنز سیلیکن مس			12163:2011	CW451K CW116C
برای استفاده از آلومینیوم: آلیاژها آلومینیوم فولاد زنگ نزن فولاد گالوانیزه (یادآوری ۲ ملاحظه شود)	1473:1972	6082-T6	10263-4:2001	همه نمره‌ها
هادی‌های گرد مفتولی، تخت یا رشته‌ای				
مس مسی آنیل شده مس سخت‌کاری شده مس (چند رشته‌ای) مس (انعطاف‌پذیر یا نرم) مس با رشته‌های سخت‌کاری شده مس کادمیوم	2873:1969	C108	13601:2002 (عایق شده) 60228:2005	CW005A, CW008A خالص یا پوشش فلز آنیل شده، در مقاومت مجاز
آلومینیوم تسمه یا میله آلومینیومی آلومینیوم آلیاژ آلومینیوم آلومینیوم (با فولاد تقویت‌شده)	215-2:1970	1350, 6101A با عایق مشخص‌شده	485-2:2008 (عایق شده) 60228:2005	EN AW-6082-T6 همه انواع (درجه‌ها)
فولاد فولاد گالوانیزه (یادآوری ۲ ملاحظه شود) نوار گالوانیزه (یادآوری ۲ ملاحظه شود)	1449 همه قسمت‌ها	همه انواع مربوطه (برای راهنمایی BS 1449-1.1 ملاحظه شود)	10025-2:2004	S275

یادآوری۱- بعضی از استانداردهای BS و کدهای لیست شده در این جدول در حین اعتبار این استاندارد احتمالاً توسط معادل‌های اروپایی آنها جایگزین خواهند شد. برای اطلاعات بیشتر با گروه اطلاعات فنی در BSI تماس حاصل شود.

یادآوری۲- توصیه می‌شود محصول نهایی طبق استاندارد BS 729 گالوانیزه شود که این عمل باید بعد از ساخت یا تولید انجام شود.

یادآوری۳- فولاد ضدزنگ در تماس با آلومینیوم یا آلیاژهای آلومینیومی احتمالاً سبب خوردگی بیشتری در ماده دومی می‌شود (به PD 6484 مراجعه شود). بنابراین مهم است که اقدامات حفاظتی نظیر استفاده از بازدارنده‌ها انجام شود.

یادآوری۴- آلیاژهای مس، به جز موارد ذکرشده در بالا، تا زمانی که حداقل دارای ٪ ۷۵ مس با خواص کششی مشابه باشند مجاز هستند.

یادآوری۵- استفاده از مس سخت شده با کشش[۱](hard drawn copper) برای کاربردهای اجرای زمین توصیه می‌شود.

۹-۱۲ زمین کردن غلاف و/یا زره کابل‌ها

۹-۱۲-۱ کابل‌های سه رشته‌ای

به‌طورکلی کابل‌های قدرت ولتاژ بالای نوین با پوشش بیرونی عایق پلیمری ارائه می‌شوند؛ غلاف یا زره کابل‌های مفتولی باید به‌صورت مستقیم در دو انتهایش زمین شود، و همچنین غلاف‌های کابل باید در دو طرف مفاصل متصل شوند. به‌طورکلی اتصالات زمین کابل‌های نوع پرسی باید با یک رابط قابل‌حذف داخل یک جعبه قفل‌دار ایجاد شوند تا اجازه دهند آزمون‌های دوره‌ای عایق لایه بیرونی انجام شود. مفاصل باید از زمین عایق شوند و غلاف‌ها باید در دو طرف مفاصل به هم متصل شوند. نیاز به انجام یک چنین آزمونی بدین معناست که در جعبه ترمینال‌های ترانسفورماتورها، کلید قدرت و غیره و همچنین در انتهای کابل‌ها یا مفاصل باید گلندهای جداساز در نظر گرفته شوند.

۹-۱۲-۲ کابل‌های تک‌رشته‌ای

یادداشتی در مورد زیر بند ۹-۱۲-۲ - یک ولتاژ در امتداد هر دوی غلاف فلزی و زره یک کابل تک رشته حامل جریان متناوب القاء می‌شود. به جز در مجاورت مواد فرو مغناطیس، مقدار مدارباز این ولتاژ به جنس (مانند آلومینیوم، مس و سرب) بستگی ندارد، زیرا این ولتاژ درنتیجه‌ی کوپلاژ القایی تک دوری با هادی برق‌دار کابل حاصل می‌شود. بااین‌حال هدایت‌های مختلف مواد متنوع بر جریانی که در صورت بسته بودن مدار جاری می‌گردد اثر می‌گذارد.

رایج‌تر این است که غلاف‌ها یا زره کابل‌های تک‌رشته‌ای به‌طور دائم به یکدیگر و هادی محافظ مدار در هر دو انتهای مسیر اتصال داشته باشد. تکرار چنین اتصالاتی در نقاط میانی در امتداد مسیر بر نتیجه اثر نمی‌گذارد. معمولاً این اتصالات به‌عنوان اتصال جوشی نامیده می‌شود. درنتیجه، هر ولتاژی بین غلاف یا زره و زمین در امتداد مسیر و در دو انتها، ازلحاظ ایمنی کوچک و معمولاً کم‌اهمیت است. چنین ولتاژهای القاء شده و جریان‌های زمین جاری‌شده، زمانی که هارمونیک‌های قابل‌توجهی در جریان خط وجود داشته باشد از اهمیت بیشتری برخوردارند و می‌تواند به لحاظ تداخل الکترومغناطیسی (e.m.i) بسیار مهم باشد. تأثیر نامطلوب اتصال جوشی کاهش جریان مجاز حرارتی کابل، به علت جریان‌های گردشی و درنتیجه تلفات توان در غلاف و زره است. یک اثر ثانویه و سودمند، کاهش اندک در امپدانس مدار و افت ولتاژ خط است.

جایی که دستیابی به مناسب‌ترین جریان مجاز حرارتی کابل مهم است، اتصال تک نقطه‌ای می‌تواند استفاده شود به‌طوری‌که غلاف یا زره در یک انتها بدون اتصال رها شود. باید مراقب بود که از اتصال در هر نقطه دیگر اجتناب گردد. جریمه در استفاده از این روش این است که باید از قابلیت اطمینان و مناسب بودن غلاف و زره اطمینان پیدا کرد و بزرگی ولتاژهای غلاف و زره باید به مقدار مشخصی محدود گردد. علاوه بر خطر شوک، باید اثر خوردگی را در نظر گرفت. به استثنای شرایط بسیار مرطوب، معمولاً یک غلاف پلاستیکی بیرونی آسیب‌ندیده به‌منظور حفاظت کافی در مقابل خوردگی به علت ولتاژهای غلاف و زره نسبت به زمین، قرار می‌گیرد. این ولتاژ طولی را می‌توان با مراجعه به کتاب‌های درسی مناسب محاسبه کرد، اما این تجربه برای LV به‌ندرت قابل توجیه است.

یادآوری – یک قاعده سرانگشتی این است که ولتاژ طولی با توجه به اتصال یک نقطه در حدود ۰٫۵ V در هر ۱۰۰ A در هر ۱۰۰ m برای کابل‌های با آرایش مثلثی، و در حدود ۲٫۵ برابر این مقدار برای کابل بیرونی با آرایش مسطح است. از این، واضح است که برای کابل‌های LV الزام اینکه ولتاژ غلاف به زمین نباید از ۲۵ V فراتر رود، به‌ندرت به شرایط استاندارد BS 7671 :2008+A3 برسد. جایی که یک مدار LV تک هسته طوری طراحی‌شده که به افت ولتاژ لازم در استاندارد BS 7671 :2008+A3 برسد، ولتاژ غلاف یا زره همیشه در شرایط بار کامل کمتر از ۲۵ V خواهد بود. به این معنی که کابل‌های تک‌رشته‌ای با ولتاژ پایین به‌طورمعمول نیاز به هیچ ترتیب خاص زمین کردن ندارند.

ضروری است از استفاده از هر دوی سیم فولادی یا نوار زرهی و کانال‌ها یا لوله‌های فلزی که کابل‌های تک رشته را در خود جای‌داده‌اند اجتناب کرد. صفحه گلندهای غیر آهنی در انتهای کابل تک‌رشته‌ای توصیه می‌شود. معمولاً اتصال و زمین کردن هر دو انتهای کابل‌های تک‌رشته‌ای توصیه می‌گردد.

در شرایط خطا، ولتاژهای طولی غلاف و زره نسبتاً بسیار بالاتر است (شاید ۱۵ تا ۲۰ برابر)، بنابراین ضروری است اقدامات مناسب برای حفاظت از شوک الکتریکی انجام شود و باید عایق سازی ترمینال‌ها برای جلوگیری از قطع ناگهانی یا تخلیه الکتریکی مناسب باشد.

۱۰ بازرسی و آزمون سیستم زمین

۱۰-۱ ایمنی

در هنگام انجام آزمون‌های اتصال زمین احتیاط‌های ایمنی باید انجام شود. بی‌برق کردن تأسیسات (شامل پست‌ها) ممکن است منجر به بی‌برق شدن سیستم زمین نشود؛ پتانسیل‌های الکتریکی می‌توانند به علت خطا و عملیات کلید زنی، تحت تأثیر پست‌های مجاور (از طریق نقطه خنثی LV و غلاف کابل‌ها) وجود داشته باشند.

اقدامات احتیاطی که باید انجام شوند عبارت است از:

الف– صلاحیت: تمام‌کارها باید تحت کنترل و هدایت یک فرد دارای صلاحیت انجام شود. تمامی اشخاص درگیر در فرآیند آزمون باید آموزش‌دیده باشند (به‌ویژه در طول آزمایش، به‌جز در مواردی که دستورالعمل شده است، نباید با پروب‌ها یا اتصالات تماسی داشته باشند). زمانی که پروب‌های آزمون از فضاهایی عبور می‌کنند که در دسترس عموم و یا حیوانات هستند باید اخطارهای ویژه جهت نظارت بر آن‌ها داده شود.

ب- **رعد و برق**: هنگام رعدوبرق (شنیداری یا دیداری) کار نباید شروع شود یا ادامه پیدا کند و همچنین اگر هشدار خطر رعدوبرق صادرشده باشد، چراکه رعد و برق احتمالاً بر شبکه متصل شده به پیکره‌بندی زمین تأثیر می‌گذارد. کار بر روی شبکه‌ای که کلید زنی به خاطر خطا در حال انجام باشد نباید انجام شود؛ لازم است فرد دارای صلاحیت با مرکز کنترل تماس بگیرد تا موافقت انجام آزمایش‌ها اخذ گردد.

پ- **تجهیزات حفاظت فردی**: ورود الکترودهای زمین (قسمت‌های رسانای بیگانه) به داخل یک پیکره‌بندی زمین همبندی شده دیگر، می‌تواند منجر به ولتاژ تماس بالا شود. درنتیجه، کفش‌های

دارای عایق مناسب، لباس‌های مقاوم در برابر آتش و دستکش‌های عایق (۷٫۵ kV) باید در طول آزمون پوشیده شوند.

ت- **تجهیزات آزمون**: برای اطمینان از ایمنی اپراتور و انطباق عملکرد سیستم‌های زمین تمام تجهیزات آزمون باید از نظر ایمنی مطابق با دسته‌بندی IV تأسیسات در استاندارد BS EN 61010 و از نظر عملکرد مطابق با استاندارد BS EN 61557 انتخاب شوند. اگر تجهیزات دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرند باید از نظر ایمنی و عملکرد در درجه پایین‌تری نباشد. پروب‌های عایق تست باید به شکل مناسبی ارزیابی شوند، و از طول و استحکام مناسب برای کشیده شدن در مسیر آزمون برخوردار باشند. اتصالات پروب ها باید مجهز به پوشش باشند که از تماس غیرعمدی با سطح زمین (وقتی به‌جایی متصل نیستند) جلوگیری شود. پروب‌های ولتاژی و جریانی باید رنگ‌های متفاوتی داشته باشند که از بروز اشتباه در زمان اتصال به دستگاه آزمون جلوگیری شود. پیوستگی همه پروب‌ها باید قبل از استفاده بررسی شود. یک زیر پایی عایق به‌اندازه کافی بزرگ برای تجهیزات آزمون و اپراتور باید موجود بوده و در زمان آزمون استفاده شود.

ث- **مسیر آزمون**: برای به حداقل رساندن خطر، مسیر آزمون باید تا حد ممکن مستقیم انتخاب شود. تا حد ممکن مسیر آزمون نباید از جاده شلوغ یا پیاده‌روهایی که مکرراً استفاده می‌شود عبور کند، مگر اینکه اقدامات احتیاطی مناسب و اعلان‌های لازم و ... در محل قرار داده شوند. جایی که لازم است پروب‌های آزمون از عرصه‌های شامل حیوانات عبور داده شوند باید به‌طور مداوم نظارت شوند که از خطر برای حیوانات یا آسیب به پروب‌ها جلوگیری شود. جایی که پروب‌های آزمون بلند به‌صورت تابیده‌شده عرضه می‌شوند باید، هر جا که امکان‌پذیر است، قبل از آزمون به‌طور کامل از هم باز شوند تا اندوکتانس پروب‌ها و خطاهای اندازه‌گیری بالقوه را کاهش دهد. پروب‌های آزمون ترجیحاً نباید به طول قابل‌توجهی موازی با خطوط برق هوایی کشیده شوند. یک گزارش از مسیر آزمون و موقعیت پروب‌ها باید ثبت شود تا امکان مقایسه در آینده را فراهم آورد.

ج- **ارتباطات**: فرد ذی صلاح باید در ارتباط دائم با کارکنانی که پروب‌های آزمون را جای گذاری و از نقاط آزمون قطع یا وصل می‌کنند باشد.

چ- **آزمون برای ولتاژهای روی سیستم زمین**: قبل از هر آزمون زمین، لازم است اطمینان حاصل شود که هیچ ولتاژ سرگردان قابل‌توجهی بر روی سیستم زمین مورد آزمایش وجود ندارد. ترجیحاً از یک آشکارساز ولتاژ مورد تأیید استفاده شود. برخی از ابزارهای آزمون زمین مجهز به یک امکان آزمون ولتاژ است که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بااین‌حال در هر دو مورد، شیوه کار ایمن ضروری می‌نماید که برای اطمینان از عدم وجود ولتاژ خطرناک، عملکرد صحیح آشکارساز قبل از استفاده اثبات گردد. در پایه‌های شبکه هوایی یک نشان‌دهنده HV باید استفاده شود تا تأیید شود ولتاژی روی الکترود زمین HV وجود ندارد. این آزمون در سیستم‌های هوایی مهم است، زیرا اگر زمین از بدنه پایه قطع شود هر اتصالی روی پایه ممکن است به‌وسیله حفاظت اصلی برطرف نشود و بنابراین می‌تواند ولتاژ روی زمین در حال آزمون را به مقدار قابل‌توجهی افزایش دهد.

۱۰-۲ اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک

۱۰-۲-۱ کلیات

مقاومت زمین هر الکترود زمین، متناسب با مقاومت ویژه خاک اطراف آن می‌باشد.

یادآوری - مقاومت ویژه به ساختار خاک، لایه‌بندی و شکل سنگ بستگی دارد. مقاومت ویژه می‌تواند با عوامل زیر تغییر کند:

الف- عمق؛

ب- دما؛

پ- رطوبت؛ و

ت- می‌تواند از یک مکان به مکان دیگر تغییر کند.

طراحی تأسیسات اتصال به زمین می‌تواند با علم به مقاومت ویژه خاک آغاز شود. به‌عنوان‌مثال، برای یک تأسیسات ساده نوع و تعداد الکترودهای زمین می‌تواند تخمین زده شود و جداسازی موردنیاز زمین‌های HV و LV می‌تواند تعیین گردد. برای شبکه‌ای از پست‌ها، اندازه‌گیری نمونه‌ای باید در چندین محل اطراف سایت و در اعماق مختلف الکترود انجام گیرد.

۱۰-۲-۲ مقاومت ویژه خاک - آزمون ونر

در یک روش که توسط دکتر فرانک ونر[1] از کمیته استانداردهای ایالات‌متحده[2] (در حال حاضر NIST) توسعه‌یافته است؛ نشان داده‌شده که در خاک همگن برای الکترودهای با عمق کم به نسبت فاصله آن‌ها، مقاومت ویژه خاک ρ برحسب اهم‌متر می‌تواند به شکل زیر تعیین شود :

$$\rho = 2\pi aR$$

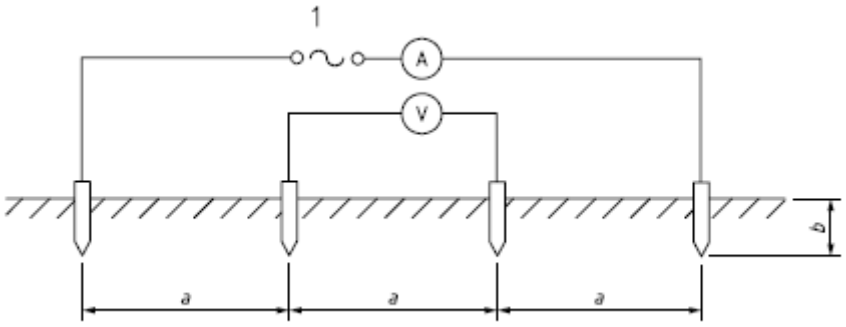
که در آن؛

π عدد ثابت است ۳/۱۴۱۶؛

a فاصله بین الکترودها برحسب متر (m)؛

R (برحسب V/A، شکل ۱۷ ملاحظه شود) عدد خوانده‌شده حاصل از ارت سنج برحسب اهم (Ω) است.

1- Frank Wenner
2- Bureau Standards



راهنما:

1 منبع جریان

A آمپرمتر

V ولت‌متر

شکل ۱۷ - اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک

مقاومت ویژه به‌دست‌آمده قابل‌اعمال به خاک با عمق b است، بنابراین با تکرار اندازه‌گیری با مقادیر متفاوت a، متوسط مقاومت ویژه برای عمق‌های مختلف می‌تواند تعیین شود و نتایج نشان می‌دهد که یکی از مزایای حاصل‌شده از نصب عمیق الکترودهای کوبشی دستیابی به لایه‌های خاک با مقاومت ویژه پایین‌تر است.

باید توجه داشت که شرایط محیطی مثل درجه حرارت بر روی مقاومت ویژه زمین اثر می‌گذارد به‌طوری‌که با افزایش دما مقاومت ویژه متناسب کاهش می‌یابد.

۱۰-۲-۳ مقاومت ویژه خاک – روش آزمون یک میله‌ای

این روش از آزمون کامل ونر که در زیر بند ۱۰-۲-۲ توضیح داده شد ساده‌تر است و می‌تواند برای پست‌های توزیع استفاده شود. مقاومت یک میله مستقل که در زمین با یک عمق مشخص کوبیده شده است باید اندازه‌گیری شود. آنگاه مقاومت اندازه‌گیری شده و ابعاد میله می‌تواند برای محاسبه متوسط مقاومت ویژه خاک موردنیاز که مقاومت اندازه‌گیری شده را ایجاد کند استفاده شود. مقاومت ویژه ممکن است با استفاده از روش ٪ ۶۱٫۸ که در زیر بند ۱۰-۳-۳ توضیح داده‌شده است به دست آید. فرمول محاسبه مقاومت زمین R_r برای یک میله عمودی که در زیر بند ۹-۵-۳ آمده است می‌تواند استفاده شود:

$$R_r = \frac{\rho}{2\pi L}\left[\log_e\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right]$$

که در آن:

R_r مقاومت زمین میله عمودی؛

L طول الکترود برحسب متر (m)؛

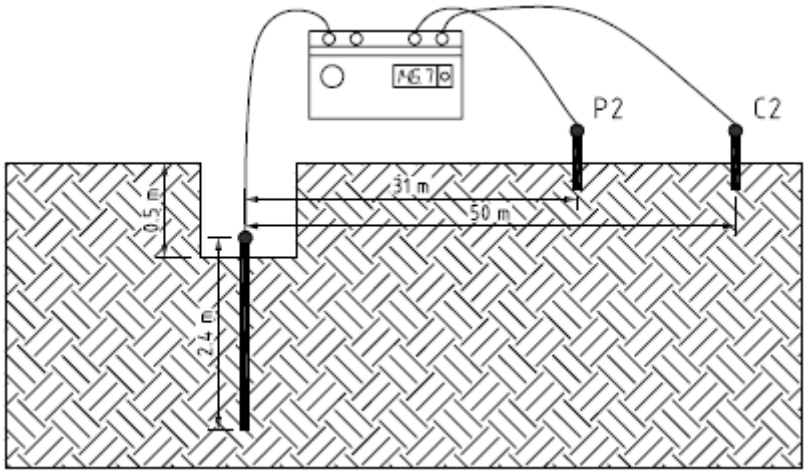
d قطر برحسب متر (m)؛

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (با فرض یکنواختی).

بنابراین:

$$\rho = \frac{2\pi R_r L}{\left[\log_e(\frac{8L}{d}) - 1\right]}$$

برای اکثر پست‌های توزیع کوبیدن یک میله تا عمق ۲٫۴ m و خواندن آن به‌عنوان مقدار متوسط مقاومت ویژه خاک مطلوب است. (به شکل ۱۸ مراجعه شود).



شکل ۱۸- اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک با یک میله

یادآوری - این روش به‌خصوص زمانی کارآمد است که اگر سیستم‌های الکترود HV و LV از هم مجزا باشند.

هنگامی‌که متوسط مقاومت ویژه خاک مشخص می‌گردد می‌توان فاصله جداسازی بین HV و LV را تعیین کرد. میله آزمون می‌تواند در پیکره‌بندی نهایی زمین ترکیب شود.

۱۰-۳ اندازه‌گیری مقاومت سیستم الکترود به زمین

۱۰-۳-۱ کلیات

۱۰-۳-۱-۱ هدف

مقاومت سیستم الکترود به زمین باید اندازه‌گیری شود در:

الف- تأسیسات جدید، برای بررسی اینکه برابر یا کمتر از مقدار طراحی‌شده است؛ و

ب- تأسیسات موجود، برای بررسی اینکه برابر یا کمتر از مقدار موردنیاز است و تغییر قابل‌توجهی نکرده است.

مقاومت ممکن است به شکل مناسب موردتوجه قرار گیرد برای:

۱- حفاظت در عملکرد که هنگام وقوع یک خطای اتصال به زمین منبع تغذیه را قطع کند؛ و

۲- مدت‌زمان و میزان افزایش پتانسیل زمین (EPR[1]) در طول یک خطای اتصال به زمین در محدوده ولتاژ تماس قرار گیرد.

۱۰-۳-۱-۲ رعایت فاصله از فلز دفن شده

برای جواب‌های دقیق، جریان اندازه‌گیری شده که بین پروب و سیستم زمین جاری می‌شود باید از طریق خاک و نه از طریق هیچ سازه فلزی بیگانه برگردد. این مهم است که مسیر الکترود آزمون از کابل‌ها، لوله‌های فلزی، سازه‌های فولادی دفنی و سیستم‌های زمین دیگر دور باشد. مسیر ممکن است با تجهیزات مکان‌یابی کابل بررسی شود که فلزات دفن شده شناسایی گردد. جایی که دوری از قطعات فلزی دفن شده به‌طور کامل ممکن نیست، می‌توان از پروب جریانی استفاده کرد که جریان برگشتی به محل الکترود آزمون تا حد ممکن با زاویه نزدیک به ۹۰° نسبت به هر فلز دفنی عبور کند.

۱۰-۳-۱-۳ درستی

یادآوری - اندازه‌گیری مقاومت زمین یک الکترود زمین موضوع ساده‌ای نیست. درحالی‌که قواعد قطعی ساده منصفانه‌ای می‌تواند وضع شود، تغییرات مکرر شرایط محیطی اصلاح آن‌ها را ضروری می‌سازد. مقاومت یک الکترود زمین به شرطی منحصربه‌فرد است که فقط ترمینال خود الکترود، معین و سایر ترمینال‌های مقاومت به لحاظ تئوری در فاصله‌ای نامحدود قرارگرفته باشد. تاکنون برای این‌چنین اندازه‌گیری با این مقدار مقاومت هیچ نقطه‌نظری با درجه بالایی از دقت ارائه نشده است که غیر یکنواخت بودن خاک و سایر عوامل مزاحم باید موردتوجه قرار گیرد.

در عمل، یک اندازه‌گیری باید بخش بزرگ‌تری از، مثلاً ٪ ۹۸، مقاومت کل را در برگیرد؛ تاکنون برای این‌چنین اندازه‌گیری با این مقدار مقاومت هیچ نقطه‌نظری با درجه بالایی از دقت ارائه نشده است که غیر یکنواخت بودن خاک و سایر عوامل مزاحم باید موردتوجه قرار گیرد. بنابراین دقت ٪ ۲ باید پذیرفته شود و معمولاً دقتی در حد ٪ ۵ می‌تواند قابل‌قبول باشد.

۱۰-۳-۱-۴ انتخاب روش آزمون

تعدادی روش‌های آزمون متفاوت ممکن است برای اندازه‌گیری مقاومت کلی سایت مورد استفاده قرار گیرد که بر پایه روش‌های افت پتانسیل (FOP[2]) استوار هستند. به لحاظ عملی شرایطی وجود دارد، معمولاً در مناطق شهری، که مقاومت الکترود زمین نمی‌تواند به روش مستقیم اندازه‌گیری شود. روش‌های جایگزین برای ارزیابی مقاومت زمین می‌تواند شامل شبیه‌سازی کامپیوتری انجام‌شده توسط متخصصین اتصال به زمین باشد. درهرحال، عموماً از روش‌های رایج آزمون که در ادامه توضیح داده می‌شوند، می‌توان استفاده کرد.

1- Earth potential rise
2- Fall of potential

الف- آزمون افت پتانسیل ٪ ۶۱٫۸؛

این روش برای سیستم‌های الکترود زمین ساده مناسب است، مانند آنچه در تأسیسات LV و پست‌های توزیع یافت می‌شود.

ب- آزمون افت پتانسیل ٪ ۶۱٫۸- با استفاده از کلمپ CT؛

فرآیند این آزمون مشابه روش آزمون سه ترمینالی استاندارد FOB است و این مزیت را دارد که می‌تواند برای اندازه‌گیری مقاومت سیستم‌ها بدون جداسازی اتصال به زمین استفاده شود و می‌تواند مقاومت یک الکترود منفرد را اندازه بگیرد. (دوباره بدون جداسازی)

پ- آزمون افت پتانسیل –شیب؛

این آزمون برای شبکه‌های الکترود زمین که سطح بزرگی را پوشش می‌دهند توصیه می‌شود، مانند شبکه‌ها و پست‌های سمت اولیه، ولی در صورت نیاز جاهای دیگر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ت- آزمون افت پتانسیل ۱۸۰°/۹۰°.

این روش می‌تواند به همراه روش ٪ ۶۱٫۸ یا شیب برای تأیید نتایج به‌دست‌آمده مورد استفاده قرار گیرد.

۱۰-۳-۲ روش افت پتانسیل

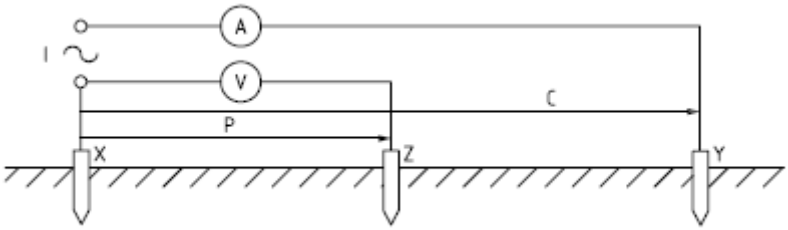
روش‌های مختلف آزمون که برای اندازه‌گیری مقاومت کلی الکترود زمین سایت مورد استفاده قرار می‌گیرد وجود دارد که بر اساس روش افت پتانسیل (FOP) هستند.

یادآوری ۱- در مدار اتصال به زمین، مسیر جریان به‌سرعت با فاصله گرفتن از الکترود گسترش می‌یابد. اثر خالصش این است که هر مقاومت قابل‌توجهی در ناحیه‌ی اطراف الکترود دفنی متمرکزشده است. بعد از فاصله‌ای که به‌اندازه و چیدمان الکترودهای زمین بستگی دارد، بقیه زمین مقاومت ناچیزی اضافه می‌کند که اثر عملی ندارد. قابلیت‌های خاک را یک مقدار بحرانی از خاک اطراف الکترود تعیین می‌کند. در محیط‌های نسبتاً استاندارد، مرطوب، با خاک جاذب آب، این مقدار کم است.(در حدود m ۶ یا بیشتر). بااین‌حال در نواحی سخت و خشک، خاک شنی یا سنگلاخی، مقدار بحرانی می‌تواند تا چند صد متر گسترش یابد. بارندگی پهنه نفوذ و مقاومت را کاهش می‌دهد. شرایط آب و هوایی خشک و یخزدگی منجر به افزایش آن می‌شود.

تجهیزات سه یا چهار ترمینالی، همان‌گونه که در شکل ۱۹ نشان داده‌شده است می‌تواند بکار گرفته شود. سه‌نقطه تماس با خاک باید ایجاد شود: یکی متصل به الکترود تحت آزمون X و دوتای دیگر پروب‌ها هستند که یکی برای تغذیه جریان آزمون Y (در فاصله C از X) و دیگری، Z، (در فاصله P از X) به‌منظور اندازه‌گیری پتانسیل در موقعیت مشخص‌شده در خاک می‌باشد. جریان باید درون خاک از Y به X عبور کند.

پروب پتانسیل Z باید برای اندازه‌گیری افت ولتاژ ایجاد شده توسط جریان آزمون به خاطر مقاومت خاک محلی، مورد استفاده قرار گیرد. با جریان و افت ولتاژ اندازه‌گیری شده، مقاومت می‌تواند به کمک قانون اهم محاسبه شود.

یادآوری ۲- برای جلوگیری از اثرات قطبی شدن، تجهیزات اندازه‌گیری تجاری موجود معمولاً یک موج جریان متناوب مربعی، با فرکانسی دقیقاً یا نزدیک فرکانس قدرت را بکار می‌گیرند. انحراف ناچیز آن از فرکانس قدرت، تجهیز اندازه‌گیری را قادر می‌سازد که قرائت را بر اساس سیگنال خودش، بدون تأثیرپذیری از هارمونیک‌های قدرت انجام دهد.



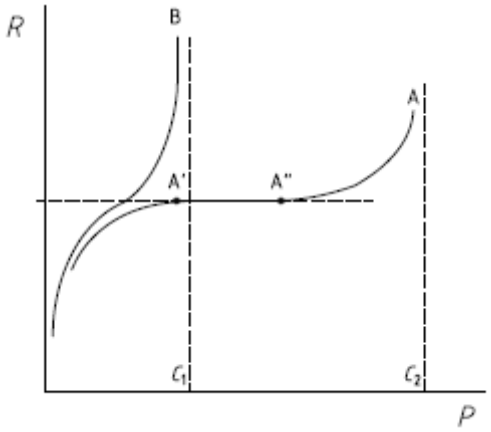
راهنما:

1 منبع جریان

A آمپرمتر

V ولت‌متر

شکل۱۹- اندازه‌گیری مقاومت الکترود زمین



یادآوری- A'' – A' عملاً قسمت افقی است.

راهنما:

P فاصله از الکترود

R مقاومت

شکل ۲۰- منحنی‌های مقاومت زمین

پروب پتانسیل Z باید در فواصل منظم حرکت داده شود و مجموعه‌ای از داده‌ها جمع‌آوری گردد. این داده‌ها باید ترسیم شود و در شرایط همگن تا جایی که در حوزه نفوذ پروب قرار دارد، نتیجه یک منحنی افزایشی است و در ادامه بدون تغییر می‌شود؛ زمانی که به حوزه نفوذ پروب جریانی نزدیک می‌شود یک مقاومت اضافی سوار می‌شود، بنابراین منحنی دوباره افزایش می‌یابد. مقدار ثبت‌شده در سطح صاف می‌تواند به‌عنوان مقاومت الکترود/اتصال به زمین باشد. (منحنی A از شکل ۲۰ ملاحظه شود) این منحنی مربوط به فاصله C_2 بین الکترود X و الکترود Y است.

یادآوری ۳- اگر پروب جریان در فاصله مناسب (به‌عنوان‌مثال C_2) قرار نگرفته باشد دو حوزه نفوذ بین الکترودهای X و Y (الکترود و پروب جریان)، متناظر با فاصله C_1 تلاقی می‌کنند. مقاومت ظاهری به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد و از روی نمودار راهی برای بیان اینکه مقدار مقاومت بر اساس آزمون زمین انجام‌شده چقدر است وجود ندارد (منحنی B مشاهده شود).

اگر شکل معنی‌داری از منحنی به دست نیاید، پروب جریان باید دورتر برده شود و فرآیند تکرار شود. در بسیاری از موارد محدودیت‌های فضا و زمان دست‌یابی به بخش صاف نمودار را غیرعملی یا سخت می‌سازد که روش‌های جایگزین مانند روش شیب (به زیر بند۱۰-۳-۷ مراجعه شود) یا ٪ ۶۱٫۸ (به زیر بند ۱۰-۳-۳ مراجعه شود) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

جدول‌هایی وجود دارند که فاصله پروب جریانی به نسبت ابعاد الکترود زمین را مشخص می‌کنند ولی می‌تواند به‌عنوان یک راهنما، و نه به‌عنوان یک قاعده مورد استفاده قرار گیرد.

۱۰-۳-۳ افت پتانسیل – روش ٪ ۶۱٫۸

روش ٪ ۶۱٫۸ فرآیند آزمون توصیه‌شده‌ای برای سیستم‌های الکترود زمین کوچک است که مرکز الکتریکی سیستم زمین مشخص باشد، به‌ویژه پست‌های توزیع زمینی و ترانسفورماتورهای هوایی.

در هر حال اگر مقاومت یک الکترود خاص مورد نیاز باشد باید از یک تجهیز اندازه‌گیری مجهز به کلمپ CT برای همه کابل‌های متصل به شبکه زمین که در اتصال به زمین مشارکت دارند استفاده شود (به زیر بند ۱۰-۳-۵ مراجعه شود)

به‌منظور دستیابی به قرائت‌های قابل‌اعتماد، نواحی مقاومتی پروب جریان و پروب ولتاژ باید به‌اندازه کافی از هم دور باشند که از همپوشانی نواحی جلوگیری شود. پروب‌های جریان و ولتاژ باید با سیستم زمین تحت آزمون در یک خط مستقیم باشند.

برای بررسی نتایج باید آزمون $180^\circ/90^\circ$ انجام شود (به زیر بند ۱۰-۳-۱-۴ مراجعه شود).

بین شبکه زمین و پروب یک فاصله۵۰ متری می‌تواند باشد و معمولاً برای سیستم‌های زمین کوچک‌تر کافی است و وقتی پروب ولتاژ در موقعیت ٪ ۶۱٫۸ فاصله بین الکترود زمین و پروب جریان قرار می‌گیرد مقاومت اندازه‌گیری شده با مقدار صحیح آن برابر است. اگر سیستم الکترود زمین با اندازه متوسط شامل چند میله است آنگاه این فاصله‌ها باید افزایش یابد (برای راهنمایی به جدول ۱۲ مراجعه شود).

برای تأیید دقت اولین قرائت، پروب ولتاژ باید به موقعیت‌های ٪۵۰ و ٪۷۰ منتقل و قرائت‌های اضافی انجام شود. اگر این قرائت‌ها در محدوده ٪ ۵± از مقدار آزمون ٪ ۶۱٫۸ باشد آنگاه اولین قرائت باید به‌عنوان مقدار درست در نظر گرفته شود.

اگر نتایج قابل‌قبول نباشید آنگاه الکترود جریان باید دورتر قرار داده‌شده و فرآیند تکرار شود. تمام این فرایند باید تکرار شود تا زمانی که سه قرائت در محدوده ٪۵± مقدار قرائت اول (٪ ۶۱٫۸) قرار گیرند.

یادآوری – زمانی که X دارای مقاومت کم، مثلاً Ω ۱ یا کمتر باشد روش فوق رضایت‌بخش نیست. این معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که X یک الکترود گسترده باشد یا از یک سیستم از الکترودها تشکیل‌شده باشد که هرکدام به‌صورت جداگانه

قابل‌اندازه‌گیری نباشد؛ عموماً یک منطقه بزرگ را اشغال می‌کند. معمولاً این مشکل با به دست آوردن منحنی‌های مقاومت

جدول۱۲- فاصله گذاری پروب آزمون ٪ ۶۱٫۸ برای شبکه‌هایی با اندازه‌های مختلف

حداکثر اندازه شبکه تحت آزمون M	فاصله الکترود جریان از مرکز سیستم زمین m	٪ ۵۰ فاصله m	٪ ۶۱٫۸ فاصله برای الکترود ولتاژ از مرکز سیستم زمین m	٪ ۷۰ فاصله m
الکترود تکی یا کوچک	۵۰	۲۵	۳۱	۳۷
۵	۱۰۰	۵۰	۶۲	۷۰
۱۰	۱۵۰	۷۵	۹۳	۱۰۵
۲۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۲۴	۱۴۰

زمین که تحت آزمون انحراف (به زیر بند ۱۰-۳-۷ مراجعه شود) توسعه‌یافته‌اند حل می‌شود.

۱۰-۳-۴ آزمون مقاومت الکترودهای مشخص با استفاده از تجهیز اندازه‌گیری مجهز به کلمپ CT

بعضی از تجهیزات آزمون که می‌تواند استفاده شود مجهز به یک CT است که به شکل گیره دور الکترود تحت آزمون قرار می‌گیرد (شکل ۲۱ یک آزمون ۳ ترمینال با کلمپ CT را نشان می‌دهد). CT می‌تواند برای آشکار کردن جریان برگشتی آزمون از طریق آن الکترود مشخص استفاده شود و اجازه می‌دهد مقاومت الکترود بدون قطع آن از بقیه سیستم زمین اندازه‌گیری شود (با یکی از روش‌های استاندارد افت پتانسیل).

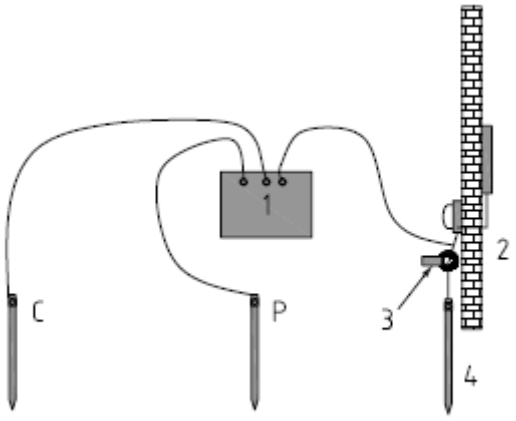
این آزمون می‌تواند جایی که یک الکترود به یک سیستم زمین با مقاومت کل بسیار پایین‌تر از الکترود موردسنجش متصل است استفاده شود. درواقع این آزمون می‌تواند برای اندازه‌گیری امپدانس حلقه الکترود تحت آزمایش و بقیه سیستم زمین متصل به آن استفاده شود.

از این روش می‌توان برای مشخص کردن مقدار تقریبی مقاومت الکترود استفاده کرد که وقتی با نتایج قبلی مقایسه شود یک نشانه‌ای از هرگونه خرابی الکترود را ارائه می‌کند. این آزمون همچنین می‌تواند برای اندازه‌گیری مقاومت میله‌های اتصال زمین عمیق فرکانس بالا استفاده شود وقتی‌که به سیستم زمین بزرگ‌تری متصل باشند.

مثال: در شکل ۲۵، اگر الکترود موردسنجش مقاومت واقعی Ω ۱۰ و بقیه شبکه Ω ۰/۵ داشته باشند آنگاه مقاومت قرائت‌شده با دستگاه Ω ۱۰/۵ خواهد بود که از دقت کافی برخوردار است. درحالی‌که اگر مقاومت الکترود Ω ۱ و بقیه شبکه نیز Ω ۱ باشد، آنگاه مقاومت خوانده‌شده Ω ۲ خواهد بود و بنابراین نتیجه نامعتبر است. این تجهیز اندازه‌گیری را در الکترودهای ایزوله شده که هیچ مسیر جایگزینی با مقاومت پایین وجود ندارد تا بتواند با آن تشکیل «حلقه» دهد، نمی‌توان استفاده کرد.

۱۰-۳-۵ افت پتانسیل – روش شیب

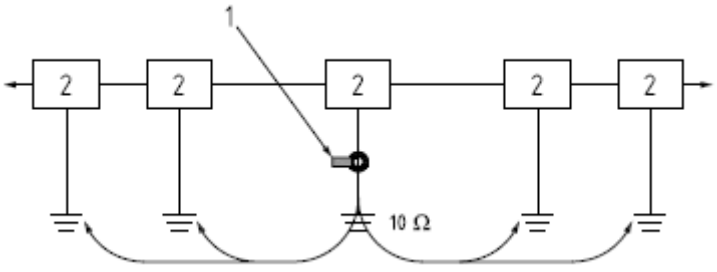
یادآوری- یک شبکه بزرگ اتصال به زمین، مانند آنچه زیر پست قرار می‌گیرد یا یک دکل خط انتقال را احاطه می‌کند به‌تناسب، میدان الکتریکی بزرگی در خاک ایجاد می‌کند. مکان‌یابی یک پروب آزمون جریان خارج از حوزه نفوذ آن به‌طورمعمول می‌تواند نیاز به صدها فوت فاصله داشته باشد که ممکن است عملی نباشد. همچنین مرکز الکتریکی سیستم زمین(شبکه) قابل‌تشخیص نیست. اگر پروب جریان به‌اندازه کافی دور نباشد نمودار ترسیم‌شده، افزایش منحنی مقاومت مرتبط با شبکه که مستقیماً در این منحنی اعمال می‌گردد را از سمت پروب آزمون نشان خواهد داد. روش شیب یک برآورد از محلی که مقاومت الکترود تحت سنجش بیشینه است، ارائه می‌دهد.



راهنما:

1 ارت سنج
2 تأسیسات
3 کلمپ اندازه‌گیری جریان
4 الکترود

شکل ۲۱- تجهیز اندازه‌گیری سه ترمینالی با کلمپ CT



راهنما:

1 تجهیزات (۱۰/۵ Ω قرائت‌شده)
2 پست (ایستگاه)

یادآوری – مقاومت نهایی کل شبکه زمین ۰/۵ Ω است

شکل ۲۲ - تستر کلمپی

نقاط داده بحرانی باید با پروب پتانسیل در فواصل ۰٫۲، ۰٫۴ و ۰٫۶ برابر فاصله تا پروب جریان، به ترتیب در نقاط R_1، R_2 و R_3 اندازه‌گیری شوند. پروب جریان می‌تواند در هر مکان دلخواه قرار گیرد ولی بهتر است در بیشترین فاصله‌ای که سایت اجازه می‌دهد، باشد.

ضریب شیب μ نشان‌دهنده سرعت تغییر شیب است، که می‌تواند از فرمول زیر محاسبه شود:

$$\mu = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1}$$

یک رابطه می‌تواند بین ضریب شیب μ، فاصله تا پروب جریان Dc و فاصله‌ای که پروب ولتاژ مقاومت زمین صحیح را اندازه‌گیری خواهد کرد Dp استخراج شود. سازندگان تجهیزات به ازای مقادیر مختلف μ جداولی از مقدار Dp/Dc که می‌تواند به دست آید ارائه نموده‌اند. به کمک آن از روی مقدار مشخص Dc فاصله تا پروب جریان، به لحاظ تئوری فاصله Dp که پروب پتانسیل باید قرار گیرد، محاسبه می‌شود. مقاومت صحیح الکترود می‌تواند از نمودار به دست آید (یا با قرائت آن در فاصله Dp).

اگر مقدار μ محاسبه‌شده در خارج از محدوده اطلاعات ارائه شده توسط تولیدکنندگان باشد، پروب جریان باید دورتر قرار داده‌شده و آزمون تکرار شود. مشکلاتی ممکن است از تداخل با کابل‌های دفنی و غیره ایجاد شود که در این صورت باید مسیر آزمون متفاوتی انتخاب گردد. درصورتی‌که تأیید نتایج آزمون موردنیاز باشد باید آزمون ۱۸۰°/۹۰° انجام شود. (به زیر بند ۱۰-۳-۴ مراجعه شود)

۱۰-۳-۶ آزمون ۱۸۰°/۹۰°

این آزمون باید هم‌زمان با روش شیب (به زیربند ۱۰-۳-۵ مراجعه شود) یا روش ٪ ۶۱٫۸ (به زیربند ۱۰-۳-۳ مراجعه شود) برای تأیید نتایج حاصله استفاده شود. ابزار اندازه‌گیری باید مانند شکل ۲۲ تنظیم شود.

پروب جریان C2 باید تا جایی که عملی است از سیستم تحت آزمون دور قرار داده شود و پروب ولتاژ P_2 باید در زاویه‌ای بین ۱۸۰°/۹۰° نسبت به امتداد الکترود جریان قرار داده شود. تعدادی آزمون در dc ۰/۲، dc ۰/۴و dc ۰/۶ انجام می‌شود که dc در زیر بند ۱۰-۳-۷ تعریف‌شده است. وقتی‌که نمودار ترسیم شد، باید به یک سطح صاف برسد اما هرگز به مقدار صحیح مقاومت نمی‌رسد. با برون‌یابی مقدار صحیح می‌تواند تخمین زده شود. (به شکل ۲۳ مراجعه شود)

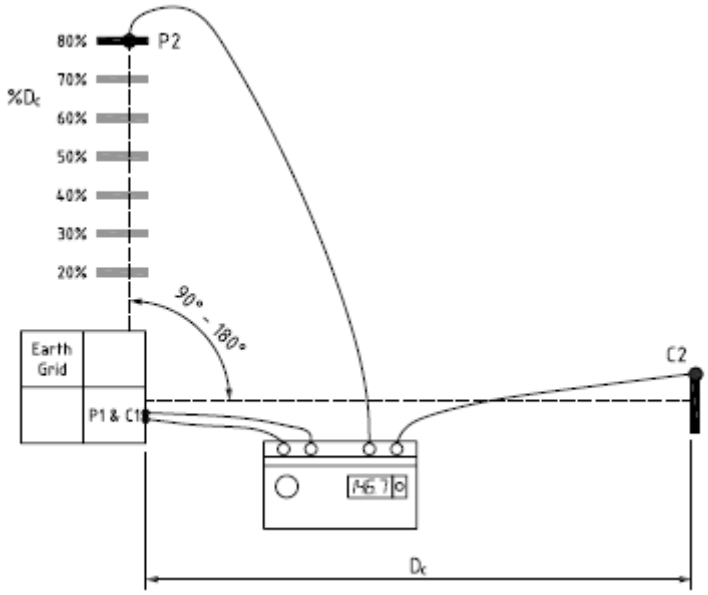
یادآوری – اشیاء فلزی زیر زمین یا کابل‌ها می‌توانند در نمودار تغییر شکل ایجاد کنند که ممکن است منجر به نتایج اشتباه شود.

۱۰-۴ تعمیر و نگهداری/ بازرسی سیستم‌های زمین پست توزیع

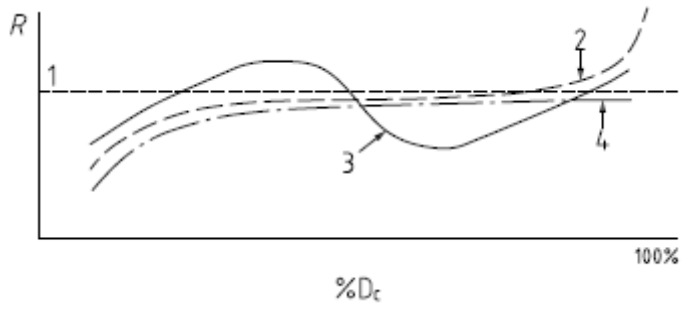
یادداشتی در مورد زیر بند ۱۰-۴ – ساختار تعمیر و نگهداری مطرح‌شده در اینجا عبارت است از:

الف– بازرسی چشمی انجام‌گرفته به‌صورت سالیانه به‌عنوان بخشی از بازرسی پست؛ و

ب– تعمیر و نگهداری دوره‌ای به‌عنوان بخشی از تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی‌شده، مثلاً هر ۵ سال.



شکل ۲۳- آزمون ۱۸۰°/۹۰°



راهنما:

٪D_c	موقعیت الکترود اندازه‌گیری P2 از شبکه زمین برحسب درصدی از فاصله الکترود C2 از شبکه زمین	2	منحنی مورد انتظار از آزمون شیب
R	مقاومت	3	نتایج تحت تأثیر با سازه‌های دفن شده
1	مقاومت واقعی (صحیح)	4	منحنی مورد انتظار از آزمون ۱۸۰°/۹۰°

شکل۲۴- نتایج آزمون نوعی ۱۸۰°/۹۰°

۱۰-۴-۱ بازرسی چشمی

بازرس باید هادی‌ها، اتصالات، حفاظ‌ها و غیره بر روی سطح زمین را برای شواهدی از خوردگی، پوسیدگی، نشانه‌های سوختگی، خرابکاری یا سرقت بازرسی کند.

بازرس باید به‌صورت بصری تمامی الکترودهای زمین و همبندی و اتصالات را با توجه ویژه به بررسی شرایط اتصالات دو فلزی، جستجوی آسیب ناشی از خوردگی و اتصال‌های ازدست‌رفته بررسی کند.

بازرسی باید شامل موارد زیر شود:

الف- انتهای الکترود اصلی زمین HV، که به‌طور عادی خواه به بدنه‌ی یک ترانسفورماتور، کلید قدرت HV یا در داخل تابلوی توزیع LV متصل شده است.

ب- اتصال همبندی بین هر جزء از نیروگاه که در مجاورت یکدیگر واقع‌شده‌اند.

پ- انتهای زمین LV، جایی که زمین در پست به انتهایش می‌رسد.

ت- اگر پست، زمین مجزای HV/LV دارد، اینکه جداسازی حفظ‌شده باشد.

ث- اتصال هر پادری (گرتینگ) زمین که در مجاورت کلید قدرت سمت HV نصب می‌شوند.

ج- اتصال همبندی با حصار فلزی؛ و

چ- اتصال همبندی با هر محفظه فلزی

۱۰-۴-۲ تعمیر و نگهداری/ آزمون دوره‌ای

این بخش باید شامل بازرسی چشمی توأم با، در صورت لزوم، حفاری جهت آزمودن هادی زمین دفن شده، میله‌های زمین و صفحات زمین باشد.

هنگامی‌که بخشی از آزمون‌های تعمیر و نگهداری انجام می‌شود، این آزمون‌ها باید شامل شود:

الف- آزمون‌های مقاومت در سرتاسر مفصل‌ها با استفاده از میکرو اهم‌متر؛

ب- بررسی یکپارچگی همبندی تمامی فلزکاری‌هایی که به‌طور عادی قابل‌دسترس هستند (همچون تانک یک ترانسفورماتور) به زمین پست یا شبکه؛

پ- اندازه‌گیری مقدار زمین پست (تا با مشخصات طراحی مقایسه شود)

ت- برای پست‌های با زمین مجزا، بررسی بدون نقص بودن این جداسازی.

داده‌های بازرسی/ آزمودن و آزمایش کردن باید مدنظر قرار داده شود و برای بازدیدهای تعمیر و نگهداری بعدی موجود باشد.

آزمودن باید در چهار بخش باشد (یک مدل فرم بازرسی در جدول ۱۳ ارائه شده است).

۱- **بازرسی:** بازرسی تحت آزمودن باید همان موارد لیست شده در زیر بند ۱۰-۴-۱ را پوشش دهد. بااین‌وجود، در بازرسی عادی پست، بازرس صرفاً عیب‌های آشکار را جستجو می‌کند. تحت بازرسی به‌عنوان بخشی از آزمودن، بازرس باید تعیین کند که آیا هادی یا اتصالات تا آزمودن بعدی به‌اندازه کافی وضعیت خوبی دارند. هرکجا که شکی وجود داشته باشد، بخش‌های هادی و/یا اتصالات باید بازسازی شوند. نتایج بازرسی و هر کار اصلاحی باید ثبت شود.

۲- **مفصل‌ها (اتصالات)**: اندازه‌گیری مقاومت دو طرف تمامی مفاصل / اتصالات قابل‌دسترس باید با استفاده از میکرو اهم‌متر انجام شود. مقدار به‌دست‌آمده باید با جدول ۱۴ مقایسه شود. هر مفصلی که در آن مقاومت اتصال فراتر باشد باید جداشده، تمیز و بازسازی یا جایگزین شود.

هشدار- بازسازی یا جایگزینی یک اتصال موجود می‌تواند فرآیند خطرناکی باشد حتی اگر نیروگاه محلی بی‌برق باشد. جریان خطا می‌تواند از طریق سیستم زمین پست از یک خطای اتصال به زمین مجزا عبور کند. از روش‌های تأییدشده باید استفاده شود.

۳- **بررسی همبندی:** یکپارچگی هم‌بندی هر قلم در سایت طبق فهرست۱۰-۴-۱ باید با میکرو اهم‌متر بررسی شود و با مقادیر جدول ۱۴ مقایسه گردد.

۴- **مقاومت زمین پست:** در تکمیل تمام آزمایش‌های دیگر، بررسی نهایی که باید انجام شود اندازه‌گیری مقادیر زمین پست است (HV وLV جایی‌که اقتضا می‌کند). آن‌گاه جایی‌که زمین‌های HV و LV مجزا باشند، مقاومت بین دو زمین باید اندازه‌گیری شود که نشانه‌ی جداسازی مؤثر است. (به پیوست الف مراجعه شود)

جدول ۱۳- نمونه فرم بازرسی تأسیسات نیروگاهی زمینی

اقلام مورد بررسی	آسیب‌دیده (بله/خیر)	پوسیده (بله/خیر)	از دست‌رفته (بله/خیر)
ترمینال زمین اصلی HV			
اتصالات همبندی بین اقلام پست			
ترمینال زمین خنثی (خنثی) LV			
اتصالات زمین زیر پایی			
اتصالات همبندی محفظه‌های فلزی			
اتصالات هم‌بندی حصارهای (فنس های) فلزی			
اتصال هم‌بندی با پست سمت مشترک			
نام بازرس: تاریخ بازرسی			

جدول ۱۴- قرائت‌های قابل‌قبول همبندی در داخل پست‌های توزیع

تجهیزات	مقادیر نوعی مورد انتظار	بیشینه مقادیر قابل‌قبول
اتصالات تکی (مانند: اتصال پیچی به دستگاه)	۵ μΩ تا ۵۰ μΩ	۱۰۰ μΩ
بین هر دو قلم از نیروگاه یا تجهیزات در حدود ۲ متر از یکدیگر (یعنی فاصله تماس مجزا)	۲۰۰ μΩ تا ۲۵۰۰ μΩ (۲/۵ mΩ)	۲۵۰۰ μΩ (۲/۵ mΩ)
بیشینه مقاومت بین هر قلم در داخل کل پست	-	۱۰ ۰۰۰ μΩ (۱۰ mΩ)
نمونه مقاومت نوار مسی ۲۵ mm×۳ mm به طول یک متر یا یک هادی مسی ۷۰ mm^2	۲۰۰ μΩ	-

پیوست الف

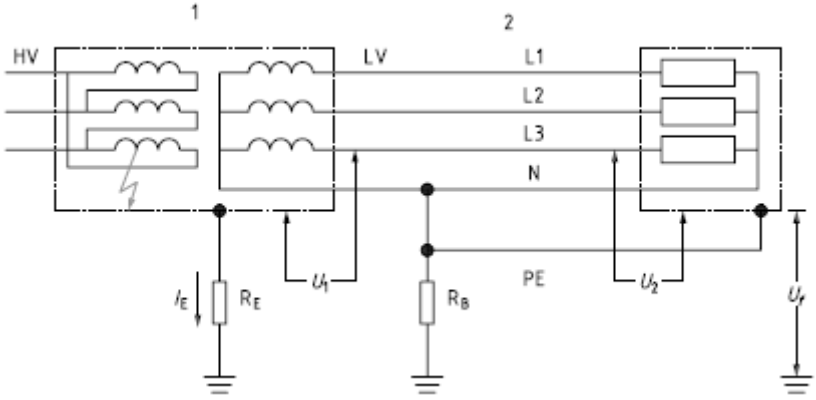
(آگاهی‌دهنده)

راهنمای واسط‌های نوعی HV/LV

الف -۱ ولتاژهای خطا و ولتاژهای تنش

ولتاژ خطا و ولتاژهای تنش هنگام رخداد خطای اتصال به زمین HV در پست، به این نکته بستگی دارد که آیا زمین تجهیزات HV از زمین خنثی LV جداست یا خیر، به شکل (الف-۱) و شکل (الف-۲) مراجعه شود.

ملاحظه می‌شود که اگر زمین‌های تجهیزات HV و خنثی LV مشترک باشند، ولتاژ خطای U_f بر تأسیسات LV بین قسمت‌های رسانای در دسترس و زمین تحمیل می‌شود. اگر زمین‌ها جدا از هم باشند، ولتاژ خطای مزبور صفر خواهد بود. بااین‌وجود، جداسازی زمین‌ها مستلزم محوطه‌ی زمین باز است و غیر از محیط روستایی دشوار است.



$U_1 = R_E I_E + U_0$, $U_2 = U_0$, and $U_f = 0$

راهنما:

I_E آن بخش از جریان خطای اتصال به زمین در سیستم فشارقوی که از طریق آرایش زمین پست ترانسفورماتور جاری می‌شود.

R_E مقاومت آرایش زمین پست ترانسفورماتور

R_B مقاومت آرایش زمین خنثی سیستم فشار ضعیف، برای سیستم‌های فشار ضعیفی که در آن‌ها آرایش‌های زمین پست ترانسفورماتور و خنثی سیستم فشار ضعیف ازنقطه‌نظر الکتریکی مستقل از هم هستند

U_o ولتاژ فاز به خنثی سیستم فشار ضعیف

U_f ولتاژ خطا در فرکانس قدرت که در سیستم فشار ضعیف بین قسمت‌های رسانای در دسترس و زمین در مدت‌زمان بروز خطا ظاهر می‌شود

U_1 ولتاژ تنش در فرکانس قدرت بین هادی خط و قسمت‌های رسانای در دسترس تجهیزات فشار ضعیف پست ترانسفورماتور در حین بروز خطا

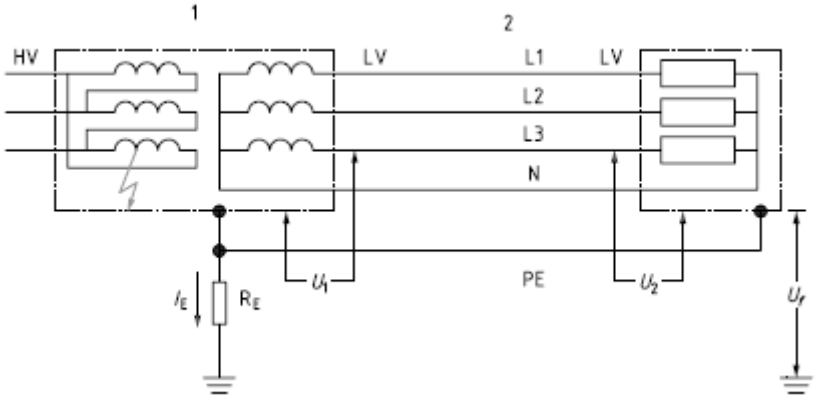
U_2 ولتاژ تنش در فرکانس قدرت بین هادی خط و قسمت‌های رسانای در دسترس تجهیزات فشار ضعیف تأسیسات فشار ضعیف در حین بروز خطا

1 پست

2 تأسیسات LV

یادآوری- ولتاژ تنش در فرکانس قدرت ولتاژی است که در سرتاسر عایق تجهیزات فشار ضعیف و سرتاسر وسایل حفاظتی ضربه متصل به سیستم فشار ضعیف ظاهر می‌شود

شکل الف-۱- سیستم TN-S با زمین‌های جدا از هم تجهیزات HV و خنثی LV



راهنما:

1 پست

2 تأسیسات LV

$U_1 = U_0$, $U_2 = U_1 = U_0$, و $U_f = R_E I_E$

شکل الف-۲- سیستم TN-S با زمین مشترک تجهیزات HV و خنثی LV

الف-۲ مصوبه

مسئولین ذی‌ربط باید این اطمینان را به وجود آورند که اشخاص در معرض خطر شبکه‌های فشار ضعیف به خاطر افزایش پتانسیل سیستم زمین حاصل از تفکیک جریان خطای اتصال به زمین از سیستم فشارقوی قرار ندارند. در عمل مسئولین مربوطه هادی‌های زمین متصل به تجهیزات فشارقوی و نیز متصل به سیستم فشار ضعیف را به هم وصل می‌کنند یا به‌عنوان راهکاری دیگر الکترودهای زمین را جدا می‌سازند که در آن صورت اثر نواحی همپوشانی مقاومت باید کمینه گردد.

توصیه می‌شود که ولتاژهای تماس نباید از منحنی توصیه‌های استاندارد BS EN 50522:2011، پیوست NA.2 فراتر رود. توضیحات بیشتر در استاندارد اتصال زمین شبکه‌های توزیع [۳] و مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان [۴] ارائه شده است.

الف -۳ مقاومت زمین ترکیبیHV/LV

استاندارد BS EN 50522:2011 برای مشخص نمودن اینکه آیا شبکه‌هایHV وLV می‌توانند به هم متصل گردند و همچنین تعیین مقاومت ترکیبی آن‌ها الزاماتی را ارائه می‌دهد.

الف-۴ الکترودهای احاطه‌کننده

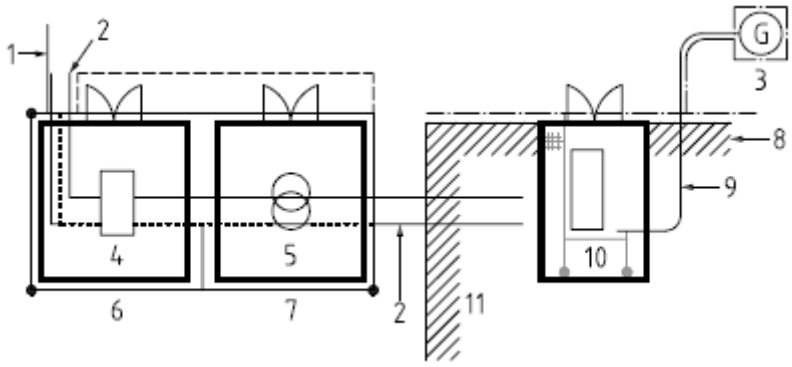
هر جا که مقدور باشد، توصیه می‌شود یک الکترود احاطه‌کننده، دفن شده دورتا دور پست بلافاصله در مجاورت پایه ستون، پوشانده شود. در برخی موارد، الکترود احاطه‌کننده ممکن است نوار مسی نصب‌شده بر

روی سطح، به‌صورت ثابت روی کف یا در ارتفاع پائین دورتادور دیوار داخلی باشد. درهرحال، مهم این است که اطمینان حاصل گردد یک الکترود زمین دفن شده در جلوی کلیدهای قدرت عبور کند تا ولتاژ تماس برای بهره‌بردار را به حداقل برساند. اگر این امکان وجود ندارد، آنگاه نصب شبکه‌های پادری (گریتینگ) فلزی همبند با زمین در جلوی کلیدهای قدرت در محل ایستادن بهره‌بردار توصیه می‌شود.

در داخل یک ساختمان، هادی زمین محیطی می‌تواند شامل نوار زمین نصب‌شده بر روی سطح باشد. توصیه می‌شود آهن‌آلات سازه‌ای به ترمینال زمین اصلی همبند شوند.

الف -۵ طرح‌بندی‌های نوعی زمین HV/LV

شکل‌های الف-۳ تا الف-۶ طرح‌بندی‌های نوعی زمین را برای واسط HV/LV نشان می‌دهند. این طرح‌بندی‌ها در طراحی تأسیسات خاص نمی‌توانند قابل‌اعتماد باشند.

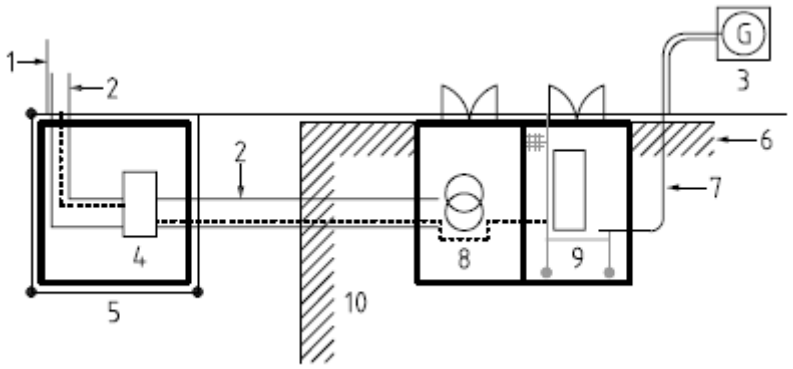


راهنما:

———	زمین داخلی فشار ضعیف	-----	نوار مسی برای اتصالات داخلی فشارقوی
●	میله‌های زمین ۲/۴ m با امکان آزمون	— • —	زمین فشار ضعیف (نوار ۳ mm × ۲۵ mm یا ۴ mm × ۲۵ mm) دفن شده در عمق ۶۰ cm
●	میله‌های زمین ۳/۶ m در حفره‌های از قبل گود شده از میان اسلب بتونی	4	کلید فشارقوی
———	زمین HV (نوار ۳ mm × ۲۵ mm یا ۴ mm × ۲۵ mm) در عمق ۶۰ cm بر روی لبه فوندانسیون، فاصله به ۵۰ cm از فوندانسیون افزایش می‌یابد اگر محفظه فلزی باشد.	5	ترانسفورماتور
#	متصل به میلگرد	6	کلید فشارقوی خارجی
— • —	نوار مسی دفنی ۳ mm × ۲۵ mm اگر درب‌ها فلزی باشند.	7	اتاق TX خارجی
1	زمین فشارقوی در گودال کابل برای دستیابی به مقاومت موردنیاز	8	مابقی ساختمان
		9	کابل از سقف
2	داکت و حفره	10	تابلو کلید فشار ضعیف
3	ژنراتورهای واقع بر روی سقف یا زیر زمین	11	ساختمان اصلی

یادآوری – طرح‌بندی کلید خانه نوعی با تغذیه HV بیرونی. روش ترجیحی شرکت‌های تأمین برق

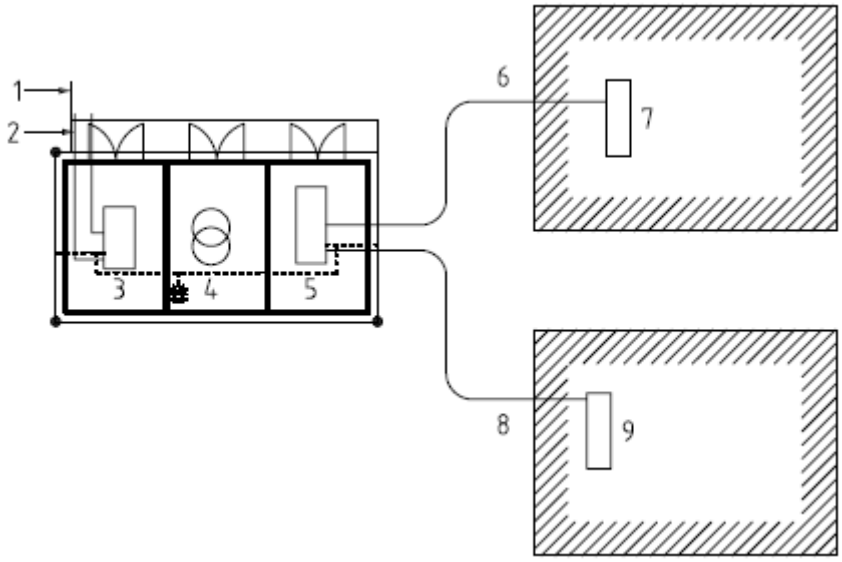
شکل الف-۳- زمین‌های مجزا شده HV و LV



راهنما:

———	زمین داخلی فشار ضعیف	-----	نوار مسی برای اتصالات داخلی فشارقوی
●	میله‌های زمین ۲/۴ m با امکان آزمون	4	کلید فشارقوی
●	میله‌های زمین ۳/۶ m در حفره‌های از قبل گود شده از میان اسلب بتونی	5	کلید فشارقوی خارجی
———	زمین HV (نوار ۳mm × ۲۵ mm یا ۴mm × ۲۵ mm) در عمق ۶۰ cm بر روی لبه فوندانسیون، فاصله به ۵۰ cm از فوندانسیون افزایش می‌یابد اگر محفظه فلزی باشد.	6	مابقی ساختمان
#	متصل به میلگرد	7	کابل از سقف
1	زمین فشارقوی در گودال کابل برای دستیابی به مقاومت موردنیاز	8	ترانسفورماتور
2	داکت و حفره	9	تابلو کلید فشار ضعیف
3	ژنراتورهای واقع بر روی سقف یا زیر زمین	10	ساختمان اصلی

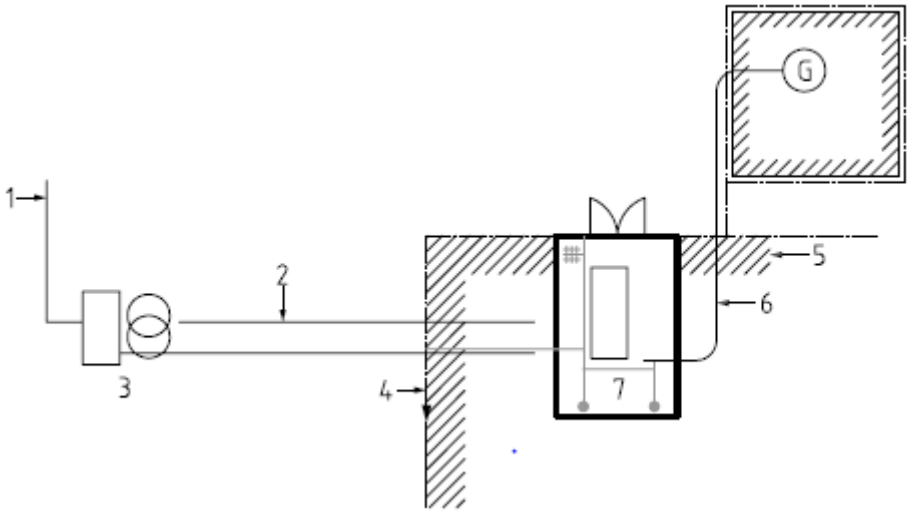
شکل الف-۴- تغذیه کلید HV خارجی



راهنما:

●	میله‌های زمین ۲/۴ m با امکان آزمون	4	ترانسفورماتور
———	نوار زمین داخلی	5	تابلو کلید LV
▦	متصل به میلگرد	6	۵۰ m کابل فشار ضعیف دفن شده در خاک نرم
- - -	نوار ۳ mm × ۲۵ mm یا ۴ mm × ۲۵ mm در عمق ۶۰ cm نزدیک فوندانسیون	7	تابلو LV پشت‌بام
1	نوار مسی با کابل برای فواصل موردنیاز	8	۱۵۰ m کابل فشار ضعیف دفن شده در خاک نرم
2	داکت و حفره	9	طبقه همکف LV
3	کلید HV		

شکل الف-۵- واسط HV/LV بیرونی مشترک برای تغذیه چندین ساختمان



راهنما:

●	میله‌های زمین ۳/۶ m در حفره‌های از قبل گود شده از میان اسلب بتنی	3	پست هوایی
▬	زمین فشار ضعیف (نوار ۳mm × ۲۵ mm)	4	در صورت لزوم زمین فشار ضعیف جدا شود
▦	متصل به میلگرد	5	مابقی ساختمان
▬	زمین داخلی فشار ضعیف	6	کابل از سقف
1	خط فشارقوی هوایی	7	تابلو کلید فشار ضعیف
2	۳۰۰ m کابل فشار ضعیف دفن شده		

یادآوری – طرح‌بندی کلید خانه نوعی با تغذیه HV بیرونی، مثلاً خانه بزرگ و مجلل

شکل الف-۶- واسط HV/LV بیرونی و مولد پشتیبان

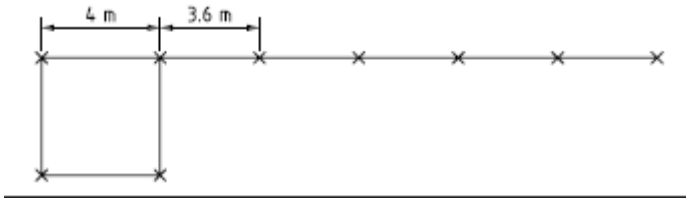
پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

نصب ساده نوعی سیستم زمین برای یک پست LV کوچک

یادآوری- به بندهای ۵ و ۹ مراجعه شود.

لازم است که مقاومت یک سیستم الکترود مطابق شکل ب-۱ را تخمین بزنیم که مقاومت ویژه خاک آن، ۳۵۰ Ωm اندازه‌گیری شده است. هدف طراحی سیستمی است که مقاومت زمین کلی آن بزرگ‌تر از ۲۰ Ω نباشد. برای لحاظ نمودن تغییرات شرایط آب و هوایی، توصیه می‌گردد ٪ ۱۵ کمتر از این مقدار، یعنی ۱۷ Ω بشود. تنها استفاده از میله‌های ۲٫۴ m، شامل مجموعه‌ی ۴ میله‌ای در رئوس یک مربع به ضلع ۴ m پیرامون مکان استقرار پست GRP و توسعه آن در یک خط مستقیم از یک‌گوشه هم‌راستا با یک ضلع مربع با یک گروه میله‌ی ۵ تایی دیگر به فاصله‌ی ۳٫۶ m از یکدیگر پیشنهاد می‌شود.



شکل ب-۱- آرایش فرضی الکترود برای یک پست کوچک با مقاومت ویژه خاک ۳۵۰ Ωm

مقاومت یک میله ۲٫۴ m، مطابق آنچه در زیر بند ۹-۵-۳ آمده است برابر است با

$$R_r = \frac{\rho}{2\pi L}\left[\ln\left(\frac{8L}{d}\right)-1\right]$$

که در آن:

L طول میله برحسب متر (m)؛

d قطر میله برحسب متر (m)؛

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm).

اگر ۰٫۰۱۶ m = d و ۲٫۴ m = L باشد آنگاه:

$$R_r = \frac{350}{2\pi \times 2,4}\left[\ln\left(\frac{8\times 2,4}{0,016}\right)-1\right] = 141,35\Omega$$

مقاومت مربع توخالی، همان‌گونه که در زیر بند ۹-۵-۸-۵ آمده عبارتست از:

$$R_{tot} = R_r\left(\frac{1+\lambda\alpha}{N}\right)$$

که در آن:

$$\alpha = \frac{\rho}{2\pi R_r s}$$

λ ضریب مناسب از جدول ۲؛

ρ مقاومت ویژه خاک برحسب اهم متر (Ωm)؛

s فاصله بین میله‌های مجاور دورتادور محیط مربع برحسب متر (m)؛ و

N تعداد الکترودهای عمودی دورتادور مربع.

$$\alpha = \frac{350}{2\pi \times 141,35 \times 4} = 0,099$$

از جدول ۲، برای این پیکربندی λ = ۲٫۷۱ است.

$$R_{tot} = 141,35\left(\frac{1 + 2,71 \times 0,099}{4}\right) = 44,82\Omega$$

در ادامه، ضروری است خط مستقیم میله‌های کوپل شده با مربع را در نظر بگیریم. اتصال موازی میله‌های هم‌تراز طبق زیر بند ۹-۵-۴ ارائه می‌شود:

$$R_t = \frac{1}{n} \times \frac{\rho}{2\pi L}\left[\ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1 + \frac{\lambda L}{s}\right]$$

که در آن:

$$\lambda = 2\sum\left(\frac{1}{2} + \ldots + \frac{1}{n}\right)$$

در این مورد، n برابر با ۶ است (در این محاسبه، میله واقع در گوشه‌ی مربع توخالی که ردیف تراز شده به آن ملحق می‌شود نیز شامل می‌گردد).

ρ = ۳۵۰ Ωm ،L =۲٫۴ m ، d = ۰٫۰۱۶ m ،s = ۳٫۶ m و

$$\lambda = 2\left[\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6}\right] = 2,9$$

$$R_t = \frac{1}{6} \times \frac{350}{2\pi \times 2,4}\left[\ln\left(\frac{8 \times 2,4}{0,016}\right) - 1 + \frac{2,9 \times 2,4}{3,6}\right] = 31,04\Omega$$

اکنون این دو مؤلفه مشتمل بر مربع توخالی و میله‌های هم‌تراز می‌توانند به‌عنوان یک جفت مقاومت موازی R در نظر گرفته و محاسبه شوند.

$$R = \frac{R_t \times R_{tot}}{R_t + R_{tot}} = \frac{31,04 \times 44,82}{31,04 + 44,82} = 18,3\Omega$$

مقاومت زمین هادی اتصال‌دهنده افقی، اثر جزئی بر کاهش این جواب خواهد داشت زیرا بر اساس مقادیر s و L، منطقه‌ی تأثیر آن به‌طور قابل‌ملاحظه‌ی با منطقه تأثیر میله‌های عمودی همپوشانی دارد. بنابراین به‌منظور دستیابی به یک نتیجه تقریبی از مقاومت این اتصالات چشم‌پوشی می‌گردد.

جواب به‌دست‌آمده بیشتر از مقاومت هدف ۱۷ Ω می‌باشد و لازم خواهد بود تا طراح نحوه رسیدن را در یک‌شکل مناسب‌تری مرور نماید تا جواب مربوطه، تغییرات آب و هوایی را نیز مجاز بداند. افزایش آرایه‌ی هم‌تراز به‌وسیله‌ی یک میله‌ی ۲٫۴ m دیگر به فاصله‌ی ۳٫۶ m، نقطه شروع طراحی قابل قبول‌تری را ارائه می‌دهد. در محاسبه‌ی بالا برای اتصال موازی میله‌های تراز شده، n به ۷ افزایش می‌یابد که R_t را به Ω ۲۷٫۲۴ کاهش می‌دهد. این امر مقاومت کلی R را به Ω ۱۶٫۹ تقلیل می‌دهد که حاشیه‌ی ٪ ۱۵ موردنیاز برای تغییر آب‌وهوا را ارائه می‌دهد.

پیوست پ

(الزامی)

تغییرات اعمال‌شده در این استاندارد ملی در مقایسه با استاندارد منبع

پ -۱ بخش های حذف شده

بند ۱: در بخش ب عبارت "۴۰۰ V / ۱۱ ۰۰۰" حذف شده است.

زیربند ۳-۱۳ : حذف شده است.

زیر بند ۴-۲-۱: پاراگراف‌های اول و دوم حذف شده است. در پاراگراف سوم ارجاع به مقررات 8(1) و مقررات 8(3b) حذف شده است. در پاراگراف چهارم ارجاع به مقررات 9 حذف شده است.

زیر بند ۶-۳: در پاراگراف اول و بخش یادداشتی در مورد زیر بند ۶-۳، ارجاع به مقررات کشور انگلستان ESQCR و مقررات ایرلند شمالی ESQCR (NI) حذف شده است. در بخش یادداشتی در مورد زیر بند ۶-۳، پاراگراف دوم و مقررات ۲۸ حذف شده‌اند.

زیر بند ۷-۲-۱: یادآوری ۵ حذف شده است.

زیر بند ۸-۱-۲: در بخش یادداشتی در مورد زیر بند ۸-۱-۲، پاراگراف دوم حذف شده است.

زیر بند ۸-۵-۱: پاراگراف هشتم حذف شده است.

زیر بند ۸-۶-۳-۱: حذف شده است.

زیر بند ۸-۶-۳-۲: حذف شده است.

زیر بند ۸-۶-۳-۳: حذف شده است.

زیر بند ۹-۱۰-۱: جمله دوم پاراگراف ششم حذف شده است.

زیربند ۱۰-۳-۱-۴: در بخش الف مقدار ۱۱ kV حذف شده است.

زیربند ۱۰-۴: در عنوان زیربند مقدار ۱۱ kV حذف شده است.

زیربند ۱۰-۴-۱: در بخش ث مقدار ۱۱ kV حذف شده است.

زیر بند الف-۲: پاراگراف اول و دوم حذف شده است.

پ -۲ بخش های جایگزین شده

زیر بند ۷-۲-۱: در یادآوری ۴ ارجاع به کتاب‌نامه [۳] جایگزین ارجاع به مقررات ESQCR (مقررات 7 تا 10) و مقررات ESQCR (NI) شده است.

زیر بند ۸-۱-۲: در بخش یادداشتی در مورد زیر بند ۸-۱-۲، ارجاع به کتاب‌نامه [۱۶] جایگزین " Guidance Note GS6 Avoidance of Danger from Overhead Electrical Lines" شده است.

پ -۳ بخش های اضافه شده

زیر بند ۴-۲-۱: پاراگراف اول اضافه شده است.

زیر بند ۸-۵-۱: پاراگراف هشتم اضافه شده است.

زیر بند ۸-۶-۳: پاراگراف اول اضافه شده است.

زیر بند ۹-۱۰-۱: در جدول ۸، در ردیف پتانسیل اکسایش برای عدد ۴۰۰ کران در نظر گرفته شد.

زیر بند الف-۲: پاراگراف دوم، جمله دوم اضافه شده است.

کتاب‌نامه

[۱] استاندارد ملی شماره ۱-۱۳۹۷: سال ۱۳۹۶، تأسیسات الکتریکی فشار ضعیف - قسمت ۱: اصول بنیادی، ارزیابی مشخصات کلی، اصطلاحات و تعاریف

[۲] استاندارد ملی شماره ۴۱-۴-۱۳۹۷: سال ۱۳۹۴، تأسیسات الکتریکی فشار ضعیف - قسمت ۴-۴۱: حفاظت برای ایمنی – حفاظت در برابر برق گرفتگی

[۳] استاندارد سیستم زمین شبکه‌های توزیع، مصوب وزارت نیرو- شرکت سهامی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)، تهران: توانیر، ۱۳۷۴

[۴] مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای تأسیسات برقی ساختمان‌ها، تهران: دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۲

[5] BS 7454/IEC 60909, Method for calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects

[6] BS EN 14505, Cathodic protection of complex structures

[7] BS EN 88528-11, Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 11: Rotary uninterruptible power systems– Performance requirements and test methods

[8] BS EN 50173 (all parts), Information technology – Generic cabling systems

[9] BS EN 60335-1:2012+A11:2014, Household and similar electrical appliances - Safety – Part 1: General requirements

[10] BS EN 60601 (all parts), Medical electrical equipment

[11] BS EN 61140/IEC 61140, Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment

[12] BS EN 62040-1-2, Uninterruptible power systems (UPS) – General and safety requirements for UPS used in restricted access locations

[13] PD 6484, Commentary on corrosion at bimetallic contacts and its alleviation

[14] BS EN SO 1460, Metallic coatings – Hot dip galvanized coatings on ferrous materials – Gravimetric determination of the mass per unit area

[15] BS EN ISO 1461:1999, Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles. Specifications and test methods

[16] World Bank, IFC, Environmental, health, and safety guideline for electric power transmission and distribution, 2007.