جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
سیستم زمین در پست های فشار قوی

نشریه شماره ۲-۴۵۹

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
http://tec.mporg.ir

وزارت نیرو – شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال سیستم زمین در پست های فشار قوی

نشریه شماره ۲-۴۵۹

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
http://tec.mporg.ir

وزارت نیرو – شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره :**	۱۰۰/۱۰۲۷۳۴
	تاریخ :	۱۳۸۷/۱۱/۱

موضوع :
مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها و خطوط فوق توزیع و انتقال – سیستم زمین در پست‌های فشار قوی

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی ، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷هـ ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۵۹ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «**مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها و خطوط فوق توزیع و انتقال – سیستم زمین در پست‌های فشار قوی (در دو جلد)**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی، ارسال کنند.

امیرمنصور برقعی
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

ویرایش شد.میرمحسنی۱۳۸۷/۷/۱۴

543135

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، ***از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:***

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

سازمان مرکزی- تهران ۱۱۴۹۹۴۳۱۴۱- خیابان صفی علی شاه
http://tec.mporg.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

در اجرای ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور و بـه منظـور تعمـیم اسـتانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقـال و توزیـع نیـروی بـرق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (معاونت نظارت راهبردی – دفتر نظـام فنـی اجرائـی) بـا همکـاری وزارت نیرو – شرکت توانیر در قالب طرح «ضوابط و معیارهای فنی صـنعت بـرق» اقـدام بـه تهیـه مجموعـه کـاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – سیسـتم زمـین در پست های فشار قوی- جلد دوم» در بر گیرنده مباحث مربوط به اهداف، کلیات و تعاریف، اصـول طراحـی شـبکه زمـین شامل عوامل موثر در طراحی مانند در نظر گرفتن بدن انسان و محدودیت های مربوط به آن، مقاومت الکتریکی زمـین و انواع خاک، هادی های مورد استفاده در شبکه زمین و محاسبات مربوط به آن می باشد که همراه با آزمون های استاندارد و نمونه گام به گام طراحی شبکه زمین یک پست، ارائه شده است.

معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از کوشش‌های دست‌اندرکاران به ثمر رسیدن این نشریه و همچنین سازمان‌ها و شرکت‌های مهندسی مشاور که با اظهارنظرهای سازنده خود این معاونت را در جهت غنا بخشیدن به آن یاری نموده‌اند سپاسگزاری و قدردانی نموده و توفیق روزافزون آنان را از درگاه ایزد یکتا آرزومند است.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۷

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها و خطوط فوق توزیع و انتقال - سیستم زمین در پست های فشار قوی - نشریه شماره ۲- ۴۵۹

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسین مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسین علیرضا سرودی، شهرام کاظمی، خانم مهندس طاهره نوری و آقای دکتر عارف درودی تهیه و تدوین شده است و توسط آقای اسماعیل زارعی مورد ویراستاری قرار گرفته است.

کمیته فنی

این نشریه همچنین در کمیته فنی طرح با مشارکت مجری و مشاور طرح و نمایندگان شرکت‌های مهندسی مشاور تحت پوشش وزارت نیرو به شرح زیر بررسی، اصلاح و تصویب شده است.

آقای مهندس جمال بیاتی	وزارت نیرو – سازمان توانیر – مجری طرح
آقای مهندس بهمن الله مرادی	سازمان توسعه برق ایران
آقای دکتر عارف درودی	مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس رضا صائمی	شرکت مشانیر
آقای مهندس بهروز قهرمانی	سازمان توسعه برق ایران
آقای مهندس هادی قیاسی معاصر	مهندسین مشاور قدس نیرو
آقای مهندس مرآت	شرکت مشانیر
آقای مهندس حامد نفیسی	مهندسین مشاور نیرو
آقای مهندس سید جمال الدین واسعی	پژوهشگاه نیرو
اقای مهندس احسان الله زمانی	وزارت نیرو – سازمان توانیر – دبیر کمیته فنی

مسوولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفترنظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسین پرویز سیداحمدی و محمدرضا طلاکوب بوده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ـ اهداف، کلیات، تعاریف

۱-۱- کلیات ۳
۱-۲- تعاریف ۴
۱-۲-۱- هادیها ۴
۱-۲-۲- هادیهای شبکه زمین ۴
۱-۲-۳ -هادیهای اتصال زمین ۵
۱-۲-۴- شبکه زمین ۵
۱-۲-۵- میله‌های زمین ۵
۱-۲-۶- افست dc ۵
۱-۲-۷- مقدار مؤثر جریان خطای نامتقارن ۶
۱-۲-۸-ضریب تقسیم جریان خطا ۶
۱-۲-۹- حداکثر مقدار جریان شبکه زمین (I_G) ۷
۱-۲-۱۰- افزایش ولتاژ شبکه زمین(GPR) ۷
۱-۲-۱۱-ولتاژ مش(E_m) ۷
۱-۲-۱۲-ولتاژ تماس(E_t) ۷
۱-۲-۱۳-ولتاژ گام(E_s) ۷
۱-۲-۱۴-ولتاژ انتقالی (E_{trrd}) ۷

فصل دوم ـ اصول طراحی شبکه زمین

۲-۱- حدود و مشخصات جریان مجاز قابل انتقال از بدن ۱۱
۲-۲- مقاومت بدن انسان ۱۱
۲-۳- حداکثر ولتاژ تماس و گام قابل تحمل برای انسان ۱۲
۲-۴- مقاومت الکتریکی زمین ۱۳
۲-۵- تاثیر رطوبت، دما و مواد شیمیایی روی مقاومت زمین ۱۵
۲-۶- محاسبه سطح مقطع هادیهای شبکه زمین ۱۶
۲-۷- محاسبه مقاومت سیستم زمین ۱۸
۲-۷-۱- خاکهای غیر یکنواخت ۲۰
۲-۷-۲- روش‌های کاهش مقاومت زمین پست ۲۱
۲-۸- محاسبه ولتاژ مش ۲۱
۲-۹- محاسبه ولتاژ گام ۲۳
۲-۱۰- محاسبه بیشترین مقدار جریان هادیهای سیستم زمین ۲۳

۲-۱۰-۱- برگشت جریان از سیم‌های گارد خطوط منتهی به پست ۲۴
۲-۱۱- بدترین نوع خطا و محل وقوع آن ۲۷
۲-۱۲- طراحی گام به گام شبکه زمین ۲۹
۲-۱۳- طراحی گام به گام شبکه زمین یک پست نمونه ۳۲
۲-۱۳-۱- جمع‌آوری اطلاعات لازم برای طراحی سیستم زمین (گام اول) ۳۲
۲-۱۳-۲- محاسبه سطح مقطع هادی‌ها (گام دوم) ۳۲
۲-۱۳-۲-۱- محاسبه سطح مقطع هادی‌های اصلی شبکه زمین ۳۳
۲-۱۳-۲-۲- محاسبه سطح مقطع رایزرها یا هادی‌ها اتصال تجهیزات به شبکه زمین ۳۳
۲-۱۳-۳- محاسبه حداکثر ولتاژ گام وتماس قابل تحمل (گام سوم) ۳۳
۲-۱۳-۴- انجام طراحی مقدماتی (گام چهارم) ۳۴
۲-۱۳-۵- محاسبه مقاومت سیستم زمین (گام پنجم) ۳۴
۲-۱۳-۶- محاسبه جریان سیستم زمین (گام ششم) ۳۵
۲-۱۳-۷- مقایسه ولتاژ تماس با حاصلضرب مقاومت سیستم زمین در جریان آن (گام هفتم) ۳۵
۲-۱۳-۸- محاسبه ولتاژ گام و مش در پست (گام هشتم) ۳۵
۲-۱۳-۹- مقایسه ولتاژ تماس با ولتاژ مش (گام نهم) ۳۵
۲-۱۳-۱۰- مقایسه ولتاژ گام در پست با ولتاژ گام آستانه خطر (گام دهم) ۳۶
۲-۱۳-۱۱- تجدید نظر مجدد در طرح ۳۶
۲-۱۳-۱۲- اتمام طراحی (گام دوازدهم) ۳۶

فصل سوم – آزمون‌ها

۳-۱- آزمونها ۳۹
۳-۱-۱- نکات ایمنی هنگام آزمون ۳۹
۳-۱-۲- اندازه گیری مقاومت سیستم زمین (امپدانس زمین) ۴۰
۳-۱-۳- آزمون یکپارچگی سیستم زمین ۴۰
۳-۱-۴- آزمون کیفیت اتصالات سیستم زمین ۴۱
۳-۱-۴-۱- آزمون های مکانیکی ۴۱
۳-۱-۴-۲- آزمون کشش ۴۱
۳-۱-۴-۳- آزمون خوردگی ۴۳
۳-۱-۵- آزمون سیستم زمین برقگیر امواج ضربه ۴۳
۳-۲- سرویس دوره‌ای سیستم زمین ۴۳

۳-۲-۱- مراحل انجام کار ۴۳
۳-۲-۲- مهارت‌های لازم ۴۳
۳-۲-۳- تجهیزات لازم ۴۳
فهرست منابع و مراجع ۴۵

فصل ۱

اهداف، کلیات، تعاریف

۱- مقدمه

بروز اتصال کوتاه در شبکه‌های قدرت به علت وجود اضافه ولتاژهای موقت و موجی امری عادی به شمار می‌رود. به هنگام بروز خطای فاز به زمین، ولتاژ فازهای سالم نسبت به زمین و بدنه تجهیزات به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. زمین کردن موثر نقاط نول در شبکه‌های قدرت باعث کاهش این اضافه ولتاژها می‌گردد. عملکرد برقگیرهای حفاظتی، روش مطمئنی جهت حفاظت تجهیزات فشارقوی در مقابل اضافه ولتاژهای موجی محسوب می‌شود. لازمه این روش اتصال برقگیر به زمین از طریق مقاومت موجی کوچک است. عملکرد رله‌های حفاظتی در جهت تشخیص و رفع خطای فاز به زمین بستگی به جریان زمین داشته و لذا وجود سیستم زمین با مقاومت ثابت (و به اندازه کافی کوچک) برای عملکرد صحیح رله‌های حفاظتی ضروری است. احتمال شکست عایقی در تجهیزات و در نتیجه برقدار شدن بدنه تجهیزات همواره وجود دارد. بنابراین جهت ایمنی کارکنان، بدنه تجهیزات فشارقوی و قسمتهای فلزی در دسترس، توسط هادیهای با مقاومت کم به زمین متصل می‌گردند. در اثر بروز اتصال کوتاه فاز به زمین، ممکن است جریان زیادی به زمین داخل شود و باعث بوجود آمدن گرادیان پتانسیل سطحی بزرگی در محوطه پست گردد وکارکنان را در معرض شوک ناشی از ولتاژ قرار دهد. وجود یک شبکه زمین با فاصله مناسب بین هادیهای آن باعث کاهش گرادیان پتانسیل سطحی خواهد شد. بنابر آنچه گفته شد وجود سیستم زمین در پست‌های فشارقوی ضروری بوده و طراحی این سیستم می‌بایستی با دقت فراوان صورت گیرد.

۱-۱-کلیات

به هنگام اجرای یک پست فشارقوی، شبکه‌ای از هادیهای موازی در سطح پست و در عمق مناسب (در حدود ۰/۳ تا ۱/۵ متر) دفن می‌گردد تا از نظر الکتریکی پتانسیل زمین را داشته باشد. همچنین میله‌هایی با طول متناسب با مقاومت خاک به طور عمودی در زمین قرار گرفته و به شبکه زمین متصل می‌شود تا مقاومت معادل شبکه زمین کاهش یابد. بدنه تجهیزات و سطوح فلزی در دسترس، مانند اسکلت‌های فلزی، توسط هادیهای مناسب به شبکه زمین متصل می‌شوند. اسکلت‌های فلزی به میله‌های فلزی بکاررفته در پی‌های بتونی ارتباط داشته و در مجموع باعث کاهش مقاومت سیستم زمین می‌گردند. سیمهای محافظ خطوط انتقال انرژی و بدنه کابلهای زره‌دار، در صورت اتصال به شبکه زمین، مسیرهای موازی دیگری را برای عبور جریان زمین به وجود می‌آورند و کاهش بیشتر مقاومت زمین را سبب می‌شوند.

سیستم زمین در یک پست می‌بایست به گونه‌ای طراحی و اجرا گردد که افزایش پتانسیل شبکه زمین را در یک سطح قابل قبول محدود نموده و بدینوسیله ایمنی پرسنل، سلامت تجهیزات و نیز در سرویس باقی‌ماندن تجهیزات پست در شرایط عادی و در شرایط وقوع خطا تامین گردد.

به طور کلی سیستم زمین می‌بایستی نیازمندیهای زیر را برآورده نماید:

- ارائه مقاومت کوچک از طرف سیستم زمین: این امر باعث می شود تا امپدانس مولفه صفر دیده شده در نقطه اتصالی مقداری کوچک داشته و علاوه بر تضمین عملکرد مطمئن و سریع رله‌های تشخیص خطای فاز به زمین، اضافه ولتاژهای ایجاد شده در فازهای سالم ،کمتر از مقدار پیش‌بینی شده و مجاز باشند. ارائه مقاومت متغیر از طرف زمین باعث بروز اختلال در عملکرد رله‌های حفاظتی گردیده و مطلوب نخواهد بود.

– ارائهٔ مقاومت موجی کم در محل اتصال برقگیر به زمین و در نتیجه ایجاد سطح حفاظت مناسب: برقگیرها با هدف تخلیه ولتاژهای موجی به زمین در نظر گرفته می‌شوند، لذا جریان‌های موجی با دامنه و شیب قابل ملاحظه از طریق آن وارد زمین می‌شوند. چنانچه مقاومت موجی سیستم زمین در محل اتصال برقگیر به آن مقدار بالایی داشته باشد، تخلیه کامل و سریع جریانهای موجی صورت نپذیرفته و ولتاژ موجی قابل ملاحظه‌ای در طرف زمین برقگیر ظاهر می‌شود و لذا سطح حفاظت برقگیر افزایش می‌یابد.

– ایمنی کارکنان و تجهیزات: سیستم زمین باید به‌گونه‌ای طراحی گردد که اولاً با ایجاد مسیر مناسب برای عبور جریان از زمین چه در حالت عادی و چه در شرایط خطا، مانع گذشتن از محدوده مجاز عملکرد تجهیزات شود و ثانیاً تضمین کند که اشخاص در محوطه و در مجاورت پست حتی اگر با تجهیزات زمین‌شده تماس داشته باشند در معرض شوک الکتریکی خطرناک قرار نمی‌گیرند. برای تامین شرایط ایمنی، سیستم زمین باید به گونه‌ای طراحی گردد که در اثر عبور جریان زمین از آن، گرادیان سطحی پتانسیل در محوطه، بیش از حدود مجاز نباشد و همچنین مقاومت کل سیستم زمین مقدار کوچکی باشد تا افزایش ولتاژ زمین در اثر عبور جریان از آن در محدوده قابل قبول قرار گیرد. همچنین برای عملکرد صحیح تجهیزات کنترل و تجهیزات الکترونیکی، داشتن سیستم زمین امری ضروری است. از آنجائیکه میزان حساسیت تجهیزات الکترونیکی به ولتاژهای ناخواسته در اثر تداخل الکترومغناطیسی بیشتر است لذا جهت حذف عوامل تداخل و ولتاژهای القایی از سیستم زمین مناسبی باید استفاده شود.

هنگامی که جریان‌های موجی نظیر صاعقه وارد پست می‌شوند، اضافه ولتاژ ایجاد شده بسیار بیشتر از اضافه ولتاژ ناشی از عبور جریان اتصال کوتاه است. ولی طرح ایمن سیستم زمین فقط برای جریانهای اتصال کوتاه انجام می‌گیرد. در توجیه این مسئله باید گفت که بدن انسان در زمانهای کوتاه (نظیر تداوم امواج صاعقه) می‌تواند دامنه بسیار بزرگتری از جریان عبوری را تحمل کند.

۱-۲-تعاریف

۱-۲-۱- هادیها[1]

منظور از هادی‌ها، سیم‌های مسی و یا در حالت کلی هادی‌هایی هستند که عمل هدایت و انتقال جریان خطا به زمین را انجام می‌دهند.

۱-۲-۲- هادیهای شبکه زمین

به منظور جمع‌آوری جریان زمین و یا هدایت جریان زمین در خاک از هادیهای مسی دفن شده استفاده می‌شود. جنس و استقامت مکانیکی هادی‌های دفن شده می‌بایستی برای جریان اتصال زمین و حداکثر زمان تعیین شده مناسب باشد.

1.Conductors

۱-۲-۳ -هادیهای اتصال زمین[1]

هادی‌های اتصال زمین، هادیهای مسی نصب‌شده در خارج از سطح زمین هستند که به منظور اتصال تجهیزات به شبکه زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. این هادی‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که قابلیت عبور جریان اتصال زمین را در مدت زمان مناسب دارا بوده و در این حالت افزایش دمای آنها از مقدار مجاز تجاوز ننماید.

۱-۲-٤- شبکه زمین[2]

شبکه زمین عبارت است از یک سری هادی‌های یکپارچه (هادی‌های شبکه زمین) که به صورت افقی در عمقی مناسب از زمین دفن شده‌اند. این هادی‌ها در محل تلاقی با هم، کاملاً به هم متصل می‌باشند. اتصال هادی‌ها به یکدیگر از طریق جوش احتراقی[3] صورت می‌پذیرد (علت اصلی استفاده از این نوع اتصال، بالا بودن قابلیت اطمینان اتصال می‌باشد). علت دیگر استفاده از جوش احتراقی ایجاد اتصال یکپارچه با خصوصیاتی مشابه هادیهاست. این جوشهای احتراقی معمولاً با استفاده از قالب‌های مخصوص سه راهی و چهارراهی که مواد انفجاری در آن به کار می‌رود استفاده می‌شود.

۱-۲-٥- میله‌های زمین

به منظور بهبود عملکرد شبکه زمین از میله‌های زمین استفاده می‌گردد. منظور از میله‌های زمین، میله‌هایی عمودی هستند که در برخی نقاط شبکه زمین به منظور پایین‌آوردن مقاومت شبکه در زمین کوبیده می‌شوند. ارتفاع این میله‌ها متغیر است. برای استفاده از میله‌های با طول زیاد از دو، سه و یا تعداد بیشتری از این میله‌ها که به همدیگر پیچ می‌شوند استفاده می‌گردد. این میله‌ها اغلب از جنس فولاد گالوانیزه گرم با روکش مس و در طول متداول حدوداً ۳ متر انتخاب می‌گردد. دفن میله‌های زمین در لایه‌های کم مقاومت‌تر زمین موجب هدایت موثرتر جریان خطا در زمین و نیز کاهش خطر ولتاژهای گام و تماس در سطح زمین خواهد شد (در صورتیکه با افزایش عمق مقاومت کاهش یابد).

۱-۲-٦- افست dc[4]

اختلاف بین شکل موج جریان متقارن و شکل موج جریان واقعی در شرایط گذرای یک شبکه قدرت به عنوان جابجایی dc معرفی می‌گردد. جریان حقیقی خطا شامل دو مولفه است:

الف- مولفه متقارن متغیر[5]

ب- مولفه تک جهته ثابت[6] (dc)

مولفه (dc) می‌تواند مثبت و یا منفی باشد ولیکن تغییر علامت یا پلاریته ندارد و با یک ثابت زمانی ثابت کاهش یافته و از بین می‌رود.

---

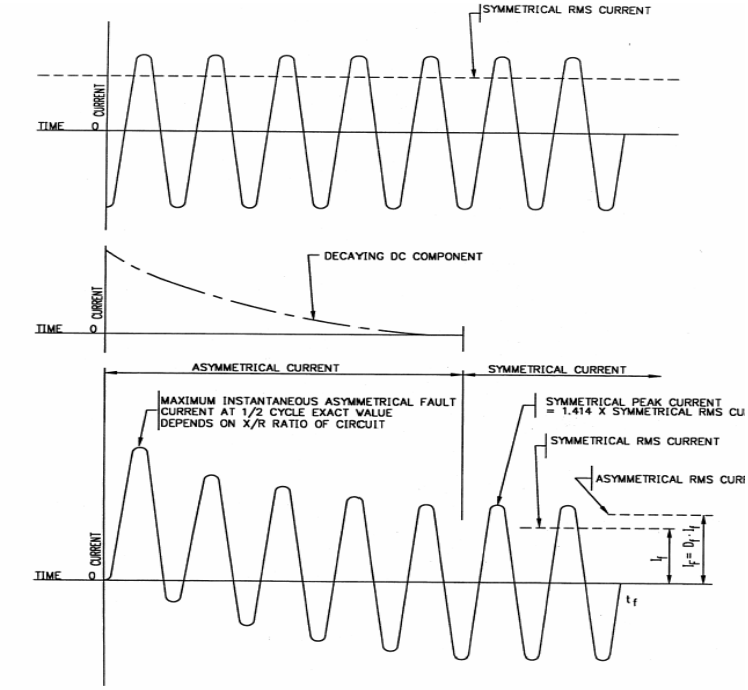
1. Risers
2. Grounding grid
3. Exothermic weld
4. Dc Offset
5. Symmetrical alternating component
6. Unidirectional (dc) component

۱-۲-۷- مقدار مؤثر جریان خطای نامتقارن[1]

به مقدار موثر شکل موج لحظه‌ای جریان در هنگام بروز خطا اطلاق می‌گردد و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_F = D_f \times I_f \qquad (۱-۱)$$

که در آن I_F مقدار موثر جریان خطای نامتقارن، I_f مقدار موثر جریان خطای زمین متقارن[2] و D_f ضریب کاهش[3] (این ضریب همواره از یک بزرگتر است). شکل (۱-۱) رابطه بین مقدار واقعی جریان خطا و پارامترهای فوق را نمایش می‌دهد.



شکل(۱-۱): ارتباط بین جریان واقعی خطا و مقادیر I_F، I_f و D_f برای t_f ثانیه زمان خطا

۱-۲-۸-ضریب تقسیم جریان خطا[4]

این ضریب به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_f = \frac{I_g}{3I_0} \qquad (۲-۱)$$

که در آن S_f ضریب تقسیم جریان خطا ، I_g مقدار موثر جریان خطای متقارن شبکه زمین[5] و I_0 مولفه صفر جریان خطا می‌باشد.

1. Effective asymmetrical fault current
2. Rms symmetrical ground fault current
3. Decrement factor
4. Fault current division factor
5. Rms symmetrical grid current

۱-۲-۹- حداکثر مقدار جریان شبکه زمین[1] (I_G)

حداکثر مقدار جریان شبکه زمین به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$I_G = D_f \times I_g \qquad (۱-۳)$$

که در آن I_G حداکثر مقدار جریان شبکه زمین، D_f ضریب کاهش برای مدت زمان t_f ثانیه است که بر اساس مطالعات سیستم و محاسبات اتصال کوتاه شبکه بدست می‌آید و I_g مقدار موثر جریان متقارن شبکه زمین می باشد. مدت زمان تداوم خطا نیز بر مقدار K_f تأثیر می‌گذارد. برای تداوم خطای ۳۰ سیکل یا بیشتر این تأثیر نمی‌بایستی در نظر گرفته شود.

۱-۲-۱۰- افزایش ولتاژ شبکه زمین[2] (GPR)

حداکثر مقدار پتانسیل الکتریکی که شبکه زمین یک پست فشارقوی می‌تواند نسبت به زمین دوردست اختیار کند. این ولتاژ برابر با حاصلضرب حداکثر مقدار جریان شبکه زمین در مقاومت آن است .

۱-۲-۱۱-ولتاژ مش[3] (E_m)

ولتاژ مش به مقدار ماکزیمم ولتاژ تماس در یک خانه از مش[4] یک شبکه زمین اطلاق می‌شود. به عبارت دیگر این ولتاژ حداکثر ولتاژی است که در حالت خطا بین زمین تا سطح مفروض پست در راستای قائم بوجود می‌آید. از آنجائیکه ولتاژ مش اغلب بدترین ولتاژ تماس درون پست می‌باشد، لذا از آن به عنوان پایه روش طراحی استفاده می‌شود.

۱-۲-۱۲-ولتاژ تماس[5] (E_t)

اختلاف پتانسیل بین ولتاژ افزایش یافته شبکه زمین (GPR) و ولتاژ سطح[6] در نقطه‌ای که شخص ایستاده، در حالی که دست او در تماس با قسمت‌ها و تجهیزات فلزی زمین شده می‌باشد.

۱-۲-۱۳-ولتاژ گام[7] (E_s)

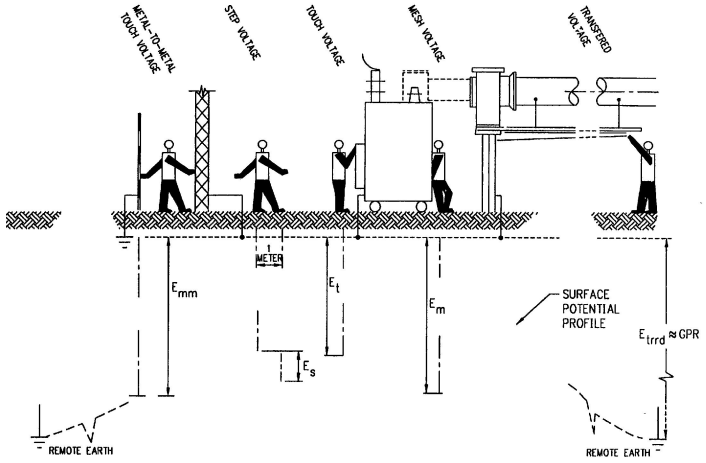
ولتاژی است که در اثر عبور جریان از بدن شخص در مسیر بسته بین دو پای او و زمین، هنگامی که فاصله بین دو پای او یک متر است و هیچ اتصالی بین بدن او و تجهیزات زمین شده وجود نداشته باشد ایجاد می‌گردد.

۱-۲-۱٤-ولتاژ انتقالی[8] (E_{trrd})

حالت خاصی از ولتاژ تماس است که در آن ولتاژ تماس به نقطه‌ای زمین شده در دور دست در داخل یا بیرون پست انتقال پیدا

1. Maximum grid current
2. Ground potential rise
3. Mesh voltage
4 Mesh
5. Touch voltage
6. Surface potential
7. Step Voltage
8. Transfer voltage

می‌کند. به عنوان مثال فرض کنید شخصی در دور دست ایستاده و با سیم یا لوله و یا هر شی هادی دیگر در تماس باشد که به محل پست متصل است و در این حالت، داخل پست اتصال کوتاه رخ دهد، به ولتاژ تماس در این حالت ولتاژ انتقالی گویند. با توجه به تعریف، اگر شخصی در داخل پست به شیئی هادی که با پست دیگر در ارتباط است و در آن اتصال کوتاه رخ داده است متصل باشد در این حالت ولتاژ انتقالی نزدیک به مجموع ولتاژهای افزایش یافته (با توجه به پلاریته) هر دو پست خواهد بود و لذا می‌بایستی احتمال ایجاد ولتاژ انتقالی خطرناک را با ایزوله کردن کامل شبکه‌های زمین دو پست و جداسازی آنها از یکدیگر پائین آورد. شکل (۱-۲) نمایی از انواع ولتاژهای فوق در پست را نمایش می‌دهد .



شکل(۱-۲) : نمایی از موقعیت‌های ایجاد کننده انواع شوک در صورت بروز خطا

فصل ۲

اصول طراحي شبكه زمين

۲- مقدمه

منظور از طراحی شبکه زمین در این گزارش، یافتن پارامترهایی همچون سطح مقطع هادی‌های شبکه استفاده شده در سیستم زمین، محاسبه ولتاژ گام، ولتاژ تماس، ولتاژ مش، مقاومت شبکه زمین و بیشترین فاصله بین مش‌ها در زمین‌های مربعی، مستطیلی و L شکل به منظور تأمین ایمنی لازم در پست می‌باشد.

۲-۱- حدود و مشخصات جریان مجاز قابل انتقال از بدن

حداکثر جریان قابل تحمل بدن انسان به عواملی نظیر اندازه جریان عبوری، فرکانس و مدت زمان عبور جریان از بدن و خصوصیات جسمانی فرد وابسته است. عبور جریان از بدن تا جایی که باعث بروز اختلال در تپش قلب یا تجزیه خون نگردد مجاز است. در فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز ، حداکثر جریان قابل تحمل بدن انسان از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}} \qquad (۲-۱)$$

در رابطه فوق t_s را زمان تداوم شوک می‌نامند. t_s زمان عبور جریان است و برای محاسبه آن باید زمان عملکرد سیستم حفاظتی (اصلی، مجدد و وصل مجدد) در مورد انواع خطا (داخل پست یا بیرون آن) در دسترس باشد. ضریب k نیز با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$k = \sqrt{S_B} \qquad (۲-۲)$$

S_B یک ضریب تجربی است که به انرژی شوک الکتریکی که به بدن انسان وارد می‌گردد وابسته است. این ضریب در افراد مختلف متغیر است. برای فردی که وزن تقریبی ۵۰ کیلوگرم دارد S_B مقداری برابر با ۰/۰۱۳۵دارد، لذا k_{50} =0/116 تعریف می‌گردد. در اینصورت رابطه (۲-۱) به صورت زیر باز نویسی می‌شود:

$$I_{B50} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \qquad (۲-۳)$$

این رابطه برای زمان‌های خطای زیاد و یا زمان‌های خطای بسیار کوتاه صحیح نیست. گستره زمانی که رابطه فوق در آن برقرار است بین ۰/۰۳ تا ۳ ثانیه می‌باشد.

این رابطه برای فردی با وزن ۷۰ کیلوگرم به صورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$I_{B70} = \frac{0.157}{\sqrt{t_S}} \qquad (۲-۴)$$

۲-۲- مقاومت بدن انسان(R_B)

در جریان‌های مستقیم یا متناوب با فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز بدن انسان را می‌توان با یک مقاومت تقریب زد. مسیر جریان در نظر گرفته شده از یک دست به دو پا و یا از یک پا به پای دیگر است. مقاومت داخلی بدن انسان در حدود ۳۰۰ اهم است. این در حالی

است که مقاومت بدن انسان با در نظرگرفتن مقاوت پوست که در افراد مختلف متفاوت است در حدود ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ اهم می‌باشد . با توجه مقاومت‌های مزبور، در محاسبات شبکه زمین پستهای فشار قوی مقاومت بدن انسان برابر ۱۰۰۰ اهم در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳- حداکثر ولتاژ تماس وگام قابل تحمل برای انسان

با استفاده از دو رابطه زیر (IEEE 80-2000) می‌توان به حدود ولتاژ گام و تماس قابل تحمل برای انسان دست یافت:

$$E_{touch} = I_B(R_B + 1.5\rho) \quad (۵-۲)$$

$$E_{step} = I_B(R_B + 6\rho) \quad (۶-۲)$$

در دو رابطه فوق E_{touch} ولتاژ تماس ، E_{step} ولتاژ گام ، ρ مقاومت معادل خاک ، I_B حداکثر جریان مجاز قابل تحمل بدن انسان و R_B مقاومت بدن انسان می‌باشد. مقدار ρ نیز با استفاده از روابطه زیر محاسبه می‌گردد:

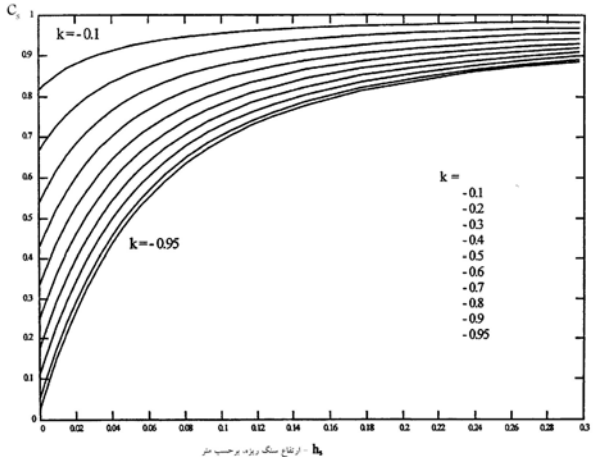
$$\rho = \rho_s \times c_s \quad (۷-۲)$$

اغلب، سطح پست را توسط لایه‌ای با مقاومت مخصوص زیاد نظیر سنگریزه یا آسفالت می‌پوشانند تا علاوه بر ایجاد تسهیل در امر جابجایی ماشین‌آلات در محوطه پست، باعث بالا رفتن ولتاژهای قابل تحمل (گام وتماس) در محوطه پست گردد. ρ_s مقاومت ویژه سنگریزه یا همان لایه سطحی پست بوده و c_s ضریبی به نام ضریب کاهش سطحی است که می‌توان آنرا با استفاده از رابطه زیر بدست آورد:

$$c_s = 1 - \frac{0.09(1-\frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09} \quad (۸-۲)$$

در رابطه فوق h_s ارتفاع لایه سطحی برحسب متر می‌باشد. همچنین c_s را می‌توان با منحنی‌های ارائه شده در شکل (۲-۱) بدست آورد. ضریب k که در منحنی شکل(۲-۱) نمایش داده شده است عبارت است از:

$$k = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad (۹-۲)$$



h_s ارتفاع سنگ‌ریزه، برحسب متر

شکل۲-۱ : منحنی $h_s - c_s$

اندازه‌گیری و مطالعاتی که جهت برآورد مقاومت ویژه خاک انجام می‌گیرد، نوع و مدل مورد استفاده (یک لایه یـا دو لایـه) را تعیـین می‌کند.

چنانچه بتوان خاک را با مقاومت یکنواخت فرض کرد فقط مقاومت معادل خاک در انجام محاسبات طراحی کافی است، ولیکن در اغلب موارد فرض مقاومت یکنواخت برای خاک دارای خطای زیادی است و جهت محاسبه مقاومت زمین از مدل دو لایه استفاده می‌گردد. با این فرض مقاومت هر دو لایه جهت طراحی لازم است. رابطه (۲-۸) از مدل دو لایه خاک استفاده می‌کند. اگر سطح پست فاقد لایه حفاظتی (سنگریزه) باشد آنگاه $c_s = 1$ و $\rho_s = \rho$ خواهد بود (IEEE 80).

I_B در دو رابطه (۲-۵) و (۲-۶) برای شخص با وزن ۵۰ و ۷۰ کیلوگرم از روابط زیر بدست می‌آید:

$$I_B = I_{B50} = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \qquad (۲-۱۰)$$

$$I_B = I_{B70} = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \qquad (۲-۱۱)$$

حداکثر ولتاژهای قابل تحمل گام و تماس برای شخصی با وزن ۵۰ و ۷۰ کیلوگرم را می‌توان با استفاده از روابط زیر تعیین نمود:

$$E_{step50} = (1000 + 6c_s\rho_s)\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \qquad (۲-۱۲)$$

$$E_{step70} = (1000 + 6c_s\rho_s)\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \qquad (۲-۱۳)$$

$$E_{touch50} = (1000 + 1.5c_s\rho_s)\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \qquad (۲-۱۴)$$

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5c_s\rho_s)\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \qquad (۲-۱۵)$$

۲-٤- مقاومت الکتریکی زمین

بدست‌آوردن مقاومت ویژه و مدل خاک امری ضروری است، زیرا که تخمین مقاومت سیستم زمین پست فشارقوی وگرادیان پتانسیل سطحی (شامل ولتاژ گام و تماس) بر اساس مقاومت ویژه و مدل خاک صورت می‌پذیرد.

در کلیه آزمون‌های زمین، معمولاً جریانی از زمین عبور داده شده و ولتاژ ایجاد شده در اثر عبور این جریان اندازه‌گیری می‌شود. سپس از تقسیم ولتاژ اندازه‌گیری شده بر جریان عبوری، امپدانس زمین حاصل می‌گردد. لذا در کلیه روش‌ها لازم است الکترودهایی وجود داشته باشد تا بتوان توسط آنها جریان آزمون را در زمین مورد نظر جاری ساخت. همچنین وجود الکترودهایی برای اندازه‌گیری ولتاژ الزامی است.

برای اندازه‌گیری مقاومت زمین می‌توان از روش دو نقطه‌ای، سه نقطه‌ای و یا چهار نقطه‌ای ونر[1] استفاده کرد. (جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد انواع روش‌های محاسبه مقاومت خاک و چگونگی آن می‌توان به استاندارد IEEE80-2000 رجوع نمود).

1. Wenner method

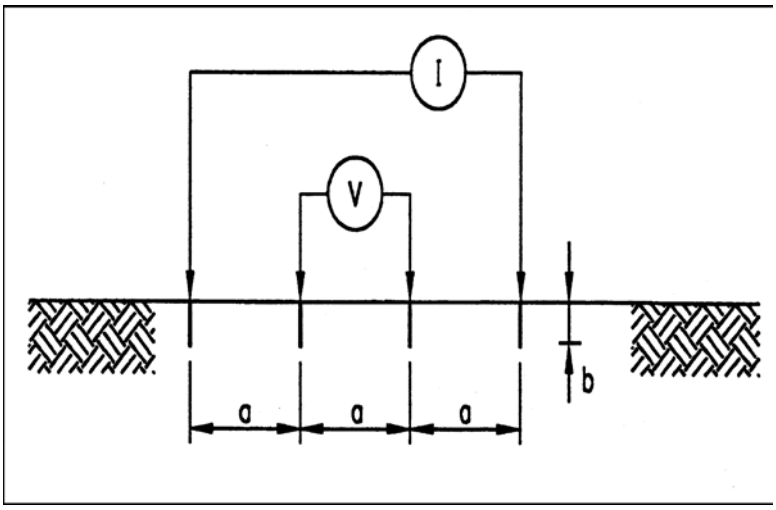
در استاندارد IEEE80 تعدادی از جداول وجود دارد که گستره مقاومتی برای خاکهای مختلف و صخره‌ها را نشـان مـی‌دهـد. یـک نمونه از این جدول در زیر آورده شده است.

جدول ۲-۱: گستره مقاومتی برای خاکهای مختلف

نوع زمین	مقاومت متوسط Ω.m
خاک مرطوب آتی	۱۰
خاک نمدار	$۱۰^{۲}$
خاک خشک	$۱۰^{۳}$
زمین با پایه سنگی	$۱۰^{۴}$

هرچند تخمین مقاومت خاک براساس طبقه‌بندی خاک ساده است ولی این روش بسیار تقریبی است و آزمایشهایی برای تعیین مقاومت واقعی خاک ضروری بنظر می‌رسد. در اغلب موارد، زمین دارای چندین لایه با مقاومتهای متفاوت است. اگر مقاومت با عمق به طور محسوسی تغییر کند برای رسیدن به مقاومت دقیق لایه‌های پائین، بهتر است برد فاصله‌گذاری آزمایش افزایش داده شود. زیرا هنگامی که فاصله گذاری افزایش می‌یابد جریان منبع آزمون به نواحی با فاصله زیاد در هر دو جهت عمودی و افقی نفوذ می‌کند.

یک روش رایج برای اندازه‌گیری مقاومت خاک روش چهار نقطه‌ای ونر است که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. در ایـن روش چهار الکترود به صورت مستقیم‌الخط در فواصل مساوی a و در عمق مساوی b در زمین کوبیـده مـی‌شـوند و سـپس ولتـاژ بـین دو الکترود درونی اندازه‌گیری می‌شود و بر جریان بین دو الکترود بیرونی تقسیم می‌شود و این مقدار مقاومت R را به ما می‌دهد.



شکل۲-۲: روش چهار نقطه‌ای ونر برای اندازه‌گیری مقاومت زمین

لذا داریم:

$$\rho_a = \frac{4\pi aR}{1+\frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}}-\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}} \qquad (۱۶-۲)$$

که در آن:

ρ_a: مقاومت ظاهری خاک بر حسب اهم- متر

R: مقاومت اندازه‌گیری شده بر حسب اهم

a: فاصله بین الکترودهای مجاور بر حسب متر

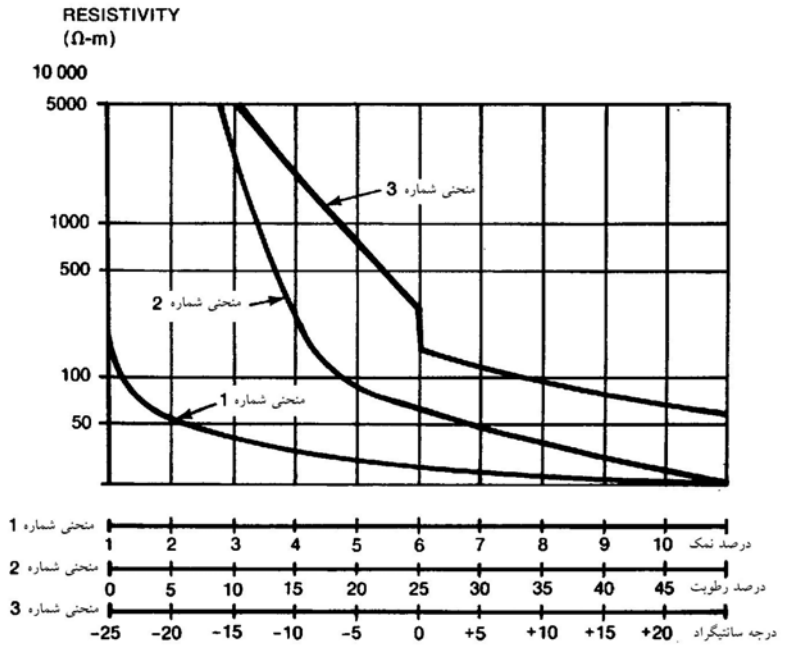
b: عمق الکترودها بر حسب متر

اگر b در مقایسه با a کوچک باشد یعنی در حالتی که عمق الکترودها بسیار کم باشد، معادله (۲-۱۶) به صورت زیر قابل بیان است:

$$\rho_a = 2\pi aR \qquad (۱۷-۲)$$

۲-۵- تاثیر رطوبت، دما و مواد شیمیایی روی مقاومت زمین

هدایت الکتریکی در خاک به صورت هدایت الکترولیتی صورت پذیرفته و به همین دلیل مقاومت خاک به شدت با کاهش رطوبت خاک افزایش می‌یابد. این امر در یک نمونه خاک در منحنی شماره ۲ شکل (۲-۳) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد اگر رطوبت این نمونه خاک بیش از ۱۵ درصد کاهش یابد مقاومت آن با شیب تندی افزایش می‌یابد. میزان رطوبت موجود در خاک به فشردگی و اندازه ذره‌های تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد.



شکل(۲-۳) : اثر رطوبت، دما و نمک بر روی مقاومت خاک

تاثیر دما بر روی مقاومت خاک به ازای دماهای بالای صفر قابل صرفنظر کردن است. در صفر درجه سانتی‌گراد آب موجود در خاک شروع به یخ زدن می‌کند که این امر موجب افزایش سریع مقاومت خاک می‌گردد. منحنی شماره ۳ شکل (۲-۳) این موضوع را نمایش می‌دهد.

وجود نمک‌های حل‌شدنی، اسید و قلیا در خاک تاثیر بسیار زیادی در مقاومت خاک دارد. منحنی شماره ۱ شکل (۲-۳) اثر نمک (کلریدسدیم) را روی یک نمونه خاک نشان می‌دهد. با توجه به آنچه گفته شد، طراحی شبکه زمین باید به گونه‌ای باشد که در بدترین شرایط اثر هر یک از این پارامترها بر مقاومت زمین در عملکرد مناسب آن خللی ایجاد نکند.

۲-۶-محاسبه سطح مقطع هادیهای شبکه زمین

با استفاده از رابطه زیر (IEEE80-2000) می‌توان با در نظرگرفتن محدودیت حرارتی هادی‌های زمین، حداکثر جریان مجاز هادی و قیود مربوطه دیگر سطح مقطع مناسب هادیهای زمین را محاسبه نمود.

$$A = \frac{I}{\sqrt{(\frac{TCAP.10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r})\ln(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a})}} \qquad (۱۸-۲)$$

در رابطه فوق:

$$TCAP\left[J/(cm^3.°C)\right] = 4.18)J/cal).SH\left[(cal/(gram.°C)\right].SW(gram/cm^3) \qquad (۱۹-۲)$$

در رابطه فوق، SH گرمای ویژه هادی و SW وزن مخصوص آن است. بقیه پارامترها به صورت زیر تعریف می‌گردند:

I	حداکثر جریان اتصال کوتاه موثر متقارن (kA)
A	سطح مقطع هادی (mm^2)
T_m	حداکثر درجه حرارت مجاز هادی (°C)
T_a	دمای محیط (°C)
T_r	درجه حرارت مرجع (°C)
ρ_r	مقاومت ویژه هادی‌های زمین در درجه حرارت مرجع ($\mu\Omega.cm$)
K_0	$1/\alpha_r$ یا $(1/\alpha_0)-T_r$ (°C)
α_0	ضریب حرارتی مقاومت هادی در درجه حرارت صفر درجه (1/°C)
α_r	ضریب حرارتی مقاومت هادی در درجه حرارت مرجع (1/°C)
t_c	زمان تداوم جریان خطا در هادی‌های شبکه زمین (Sec)

حداکثر درجه حرارت مجاز برای اتصالات با جوش احتراقی تقریباً ۱۰۸۳ درجه سانتی‌گراد (دمای ذوب مس) و برای اتصالات پیچ و مهره‌ای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است. درجه حرارت مرجع برابر۲۰ درجه سانتی‌گراد فرض می‌گردد.

با توجه به اینکه جریان اتصال کوتاه در هنگام وارد شدن به شبکه زمین به چند قسمت تقسیم می‌گردد، کسری از جریان فاز به زمین ($3I_0$) به عنوان بیشترین جریان عبوری از شبکه زمین در نظر گرفته می‌شود. در اکثر موارد در نظر گرفتن ۷۰ درصد حداکثر جریان فاز به زمین، به عنوان جریان هادی‌های شبکه زمین مناسب می باشد ($I = 0.7 \times 3I_0$). در مورد هادی‌های استفاده‌شده در سیستم زمین می‌توان از جدول زیر استفاده نمود.

جدول ۲-۲ : مشخصات هادی‌های مورد استفاده در سیستم زمین

توضیح	ضریب گرمایی TCAP ($J/Cm^3.^\circ C$)	ρ_r در دمای ۲۰°C ($M\Omega.Cm$)	دمای ذوب [1] $T_m(^\circ C)$	K_O در دمای 0°C	ضریب α_r دردمای ۲۰°C ($1/^\circ C$)	درصد هدایت(٪)
Copper annealed soft-drawn	۳/۴۲	۱/۷۲	۱۰۸۳	۲۳۴	۰/۰۰۳۹۳	۱۰۰
Copper commercial hard-drawn	۳/۴۲	۱/۷۸	۱۰۸۴	۲۴۲	۰/۰۰۳۸۱	۹۷
Copper-clad steel wire	۳/۸۵	۴/۴	۱۰۸۴	۲۴۵	۰/۰۰۳۷۸	۴۰
Copper-clad steel wire	۳/۸۵	۵/۸۶	۱۰۸۴	۲۴۵	۰/۰۰۳۷۸	۳۰
Copper –clad steel rod[2]	۳/۸۵	۸/۶۲	۱۰۸۴	۲۴۵	۰/۰۰۳۷۸	۲۰
Aluminum EC grade	۲/۵۶	۲/۸۶	۶۵۷	۲۲۸	۰/۰۰۴۰۳	۶۱
Aluminum 5005 alloy	۲/۶	۳/۲۲	۶۵۲	۲۶۳	۰/۰۰۳۵۳	۵۳/۵
Aluminum 6201 alloy	۲/۶	۳/۲۸	۶۵۴	۲۶۸	۰/۰۰۳۴۷	۵۲/۵
Aluminum- clad steel wire	۳/۵۸	۸/۴۸	۶۵۷	۲۵۸	۰/۰۰۳۶	۲۰/۳
Steel , 1020	۳/۲۸	۱۵/۹	۱۵۱۰	۶۰۵	۰/۰۰۱۶	۱۰/۸
Stainless-clad steel rod[3]	۴/۴۴	۱۷/۵	۱۴۰۰	۶۰۵	۰/۰۰۱۶	۹/۸
Zinc- coated steel rod	۳/۹۳	۲۰/۱	۴۱۹	۲۹۳	۰/۰۰۳۲	۸/۶
Stainless steel,304	۴/۰۳	۷۲	۱۴۰۰	۷۴۹	۰/۰۰۱۳	۲/۴

۱- اطلاعات این ستون از استاندارد ASTM گرفته شده است.
۲- ضخامت مس در میله‌های مسی با مغزی فولاد برابر ۰/۲۵۴ میلی‌متر است.
۳-ضخامت فولاد در میله‌های فولادی زنگ نزن برابر ۰/۵۰۸ میلی‌متر است .

هادی‌های شبکه زمین[1] اغلب از جنس مس انتخاب می‌گردند. برای کاهش خوردگی می‌توان از هادی‌های مس قلع اندود استفاده کرد. علاوه بر این باید فلزاتی را که به صورت آند در مقابل مس ظاهر می‌شوند توسط نوار پلاستیکی یا غیره پوشاند و یا می‌توان مسیر عبور فلزات دفن شده را به گونه‌ای در نظر گرفت که هادی‌های مسی را با زاویه نزدیک قائمه قطع کنند و در محلی که دو فلز به هم نزدیک هستند با مواد مناسب پوشانده شوند. جنس میله‌های زمین نیز اغلب از فولاد گالوانیزه گرم با روکش مس انتخاب می‌گردد.

هادی انتخاب شده برای شبکه زمین براساس استاندارد (IEEE 80-2000) باید معیار های زیر را نیز دارا باشند:

- باید استقامت لازم را برای مقاومت در مقابل نیروهای غیرمنتظره وارد بر هادی‌ها و همچنین مقاومت لازم را در مقابل انواع خوردگی در طول مدت عمر طراحی شده برای آن داشته باشند.

1. Mesh

– باید امکان هدایت بیشتر از مقدار نامی را داشته باشند تا در هنگام بروز خطا از بوجود آمدن هرگونه اضافه ولتاژهای خطرناک جلوگیری گردد.

با توجه به معیارهای فوق اولین سطح مقطع استاندارد که از سطح مقطع حاصل از رابطه (۲–۱۸) برای شبکه زمین بزرگتر باشد انتخاب می‌گردد. در هر صورت بر حسب تجربه به دلایل مکانیکی و خوردگی، سطح مقطع هادی‌ها نباید از ۹۵ میلی‌مترمربع کمتر باشد. این انتخاب علاوه بر اینکه تضمین‌کننده معیارهای گفته شده است مزایای زیر را نیز در بر دارد:

– محدودتر کردن دمای هادی‌ها.

– در نظرگرفتن یک ضریب ایمنی و حاشیه امنیت بیشتر برای سیستم زمین.

۲–۷– محاسبه مقاومت سیستم زمین

سیستم زمین مناسب سیستمی است که مقاومت کوچکی نسبت به زمین دوردست داشته باشد که این امر منجر به پایین‌آمدن ولتاژ افزایش یافته (GPR) در سطح پست می‌گردد. در پست‌های انتقال و فوق توزیع اغلب مقاومت سیستم زمین باید کمتر از یک اهم باشد.

محاسبه مقاومت سیستم زمین یکی از گامهای ابتدایی در طراحی سیستم زمین است. این مقاومت وابسته به سطحی است که سیستم در آن واقع شده است.

برای محاسبه مقاومت سیستم زمین از معادله سوراک استفاده می‌شود. این معادله به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$R_g = \rho\left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A'}}\left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A'}}\right)\right] \qquad (۲–۲۰)$$

که در آن:

R_g: مقاومت زمین پست بر حسب اهم

ρ: مقاومت خاک بر حسب اهم– متر

A': مساحت ناحیه اشغال شده توسط سیستم زمین بر حسب مترمربع

L_T: طول کل هادیهای دفن شده بر حسب متر و

h: عمق شبکه زمین بر حسب متر می‌باشد.

برای شبکه‌های بدون میله‌های زمین پاسخ معادله سوراک با معادله شوارتز که به صورت رابطه (۲–۲۱) بیان می‌شود یکسان است.

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \qquad (۲–۲۱)$$

که در آن:

R_1 مقاومت کل هادی‌های شبکه زمین بر حسب اهم

R_2 مقاومت کل میله‌های شبکه زمین بر حسب اهم

R_m مقاومت متقابل بین R_1 و R_2 بر حسب اهم می‌باشد.

مقاومت هادیهای شبکه زمین را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

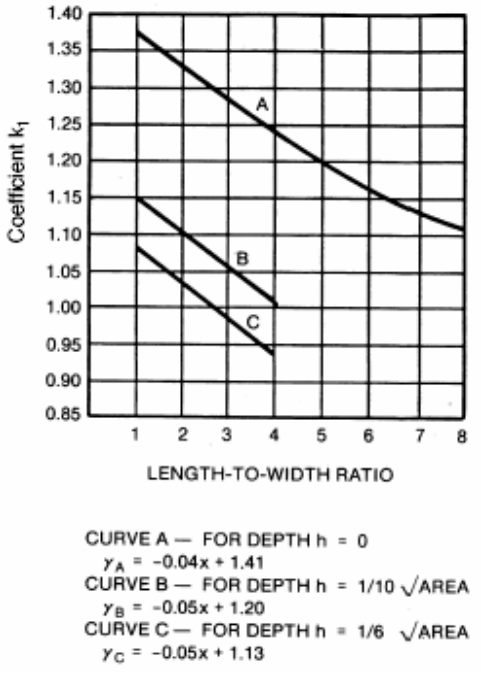
$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c}[\ln(\frac{2L_c}{a'}) + \frac{k_1.L_c}{\sqrt{A'}} - k_2] \qquad (۲۲-۲)$$

a' در رابطه فوق بدین صورت تعریف می گردد:

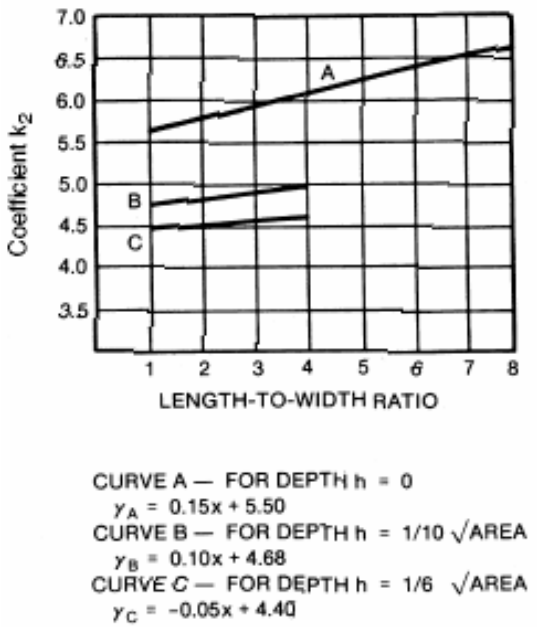
$$a' = \sqrt{2ah} \qquad (۲۳-۲)$$

که در آن‌ها :

ρ	مقاومت ویژه خاک $(\Omega.m)$
L_e	طول کل هادی‌های متصل به شبکه زمین (m)
$2a$	قطر هادی (m)
A'	سطح اشغال شبکه زمین (m^2)
k_1, k_2	ضرائب ثابت که از دو شکل (۲-۳) و (۲-۴) بدست می آیند
h	عمق دفن شبکه زمین (m)



شکل۲-٤: منحنی برای بدست آوردن ضریب k_1



شکل۲-۵ : منحنی برای بدست آوردن ضریب k_2

در دو منحنی فوق محور افقی نسبت طول به عرض زمین پست را نمایش می‌دهد. در زیر هر کدام از منحنی‌ها رابطه آن منحنی نیز ذکر شده است. به عنوان مثال اگر هادی‌های سیستم زمین در عمق نیم‌متری سطح زمین دفن شده باشد باید از رابطه و منحنی‌های اول استفاده نمود، زیرا که h عددی بسیار کوچک است.

مقاومت میله‌های شبکه زمین را نیز می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_r}[\ln(\frac{8L_r}{b}) - 1 + \frac{2k_1.L_r}{\sqrt{A}}(\sqrt{n_R} - 1)^2] \quad (۲۴-۲)$$

در رابطه فوق :

L_r طول هر میله بر حسب متر (m)

$2b$ قطر میله زمین (m)

n_R تعداد میله‌های زمین

و نهایتاً مقاومت متقابل هادی‌ها و میله‌های شبکه برابر خواهد بود با :

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c}[\ln(\frac{2L_c}{L_r}) + \frac{k_1.L_c}{\sqrt{A}} - k_2 + 1] \quad (۲۵-۲)$$

۲-۷-۱- خاکهای غیر یکنواخت

از آنجائیکه ولتاژهای گام و تماس محاسبه شده بر اساس این گزارش بر مبنای مدل خاک یکنواخت است لذا تقریب مدلهای غیریکنواخت به مدل خاک یکنواخت امری ضروری است.

در محاسبه مقاومت ویژه خاک می‌توان از مدل خاک یکنواخت به جای مدل خاک دو لایه یا چند لایه استفاده کرد. در صورتی که تفاوت جنس لایه‌های مختلف کم باشد، مقاومت خاک یکنواخت تقریبی می‌تواند با استفاده از میانگین‌گیری مقاومتهای ظاهری اندازه‌گیری شده طبق رابطه زیر محاسبه گردد:

$$\rho_{av} = \frac{\rho_{a(1)} + \rho_{a(2)} + \rho_{a(3)} + ... + \rho_{a(n)}}{n_m} \quad (۲۶-۲)$$

که در آن:

$\rho_{a(1)} + \rho_{a(2)} + \rho_{a(3)} + ... + \rho_{a(n)}$: مقاومتهای ظاهری اندازه‌گیری شده در روش چهار نقطه‌ای به ازای فاصله گذاری‌ها و عمق‌های مختلف بر حسب اهم متر و n_m تعداد کل اندازه‌گیری‌هاست.

روش دیگر استفاده از رابطه زیر است:

$$\rho_{2(av2)} = \frac{\rho_{a(max)} + \rho_{a(min)}}{2} \quad (۲۷-۲)$$

که در آن:

$\rho_{a(max)}$: ماکزیمم مقاومت ظاهری از مقادیر اندازه‌گیری شده بر حسب اهم- متر و

$\rho_{a(min)}$: مینیمم مقاومت ظاهری از مقادیر اندازه‌گیری شده بر حسب اهم- متر می‌باشد.

روابط بالا فقط در صورتی درست است که میله‌های زمین حداقل در عمقی که الکترودها برای اندازه‌گیری ρ_a استفاده می‌شوند، دفن شوند. این روش برای شبکه‌های بدون میله‌های زمین توصیه نمی‌شود.

در محاسبات سیستم زمین، استفاده از مدل دو لایه نیز می‌تواند مدنظر قرار گیرد (یک لایه بیرونی با عمق محدود و یک لایه درونی با عمق نامحدود). تغییر ناگهانی در مقاومت ظاهری در مرزهای هر لایه می‌تواند بوسیله یک فاکتور انعکاس توصیف شود. فاکتور انعکاس K' به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$k' = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \qquad (۲۸-۲)$$

که در آن:

ρ_1: مقاومت خاک لایه بالایی بر حسب اهم- متر و

ρ_2: مقاومت خاک لایه پائینی بر حسب اهم- متر می‌باشد.

سپس با استفاده از شکل (۲-۱) و رابطه (۲-۷) مقاومت ظاهری خاک محاسبه می‌شود.

هرچند ارائه یک مدل دقیق باید بر مبنای تغییرات واقعی مقاومت خاک محل پست باشد ولی ارائه مدل دو لایه‌ای از خاک برای طراحی سیستم زمین ایمن کافی است.

۲-۷-۲- روش‌های کاهش مقاومت زمین پست

برای کاهش مقاومت زمین می‌توان از روشهای زیر نیز بهره جست:

- استفاده از میله‌های طویل برای رسیدن به لایه مرطوب زمین
- استفاده از میله‌های موازی
- استفاده از مواد شیمیایی بویژه در جاهایی که به علت وجود سنگهای سخت نتوانیم از میله‌های زمین استفاده کنیم. این مواد شیمیایی عبارتند از: کلرید سدیم، کلرید کلسیم، کربنات سدیم یا سولفات مس، نمک و خاک زغال نیز برای همین منظور توصیه می‌شود.

در جاهایی که بدلیل محدودیت فضای سطح پست امکان دستیابی به طرح شبکه زمین ایمن، با افزایش میله‌های زمین و هادیهای شبکه زمین وجود نداشته باشد، می‌توان از وجود چاه زمین در کنار شبکه زمین برای دسترسی به سیستم زمین ایمن نیز استفاده کرد.

لازم به ذکر است شناسایی نوع خاک و تاثیرات آن بر روی خوردگی الکترودها، انتخاب شکل الکترود مناسب و انتخاب جنس اتصالات و بستها نیز باید در هنگام طراحی مدنظر قرار گیرد تا دسترسی به یک سیستم ایمن محقق گردد.

۲-۸-محاسبه ولتاژ مش

ولتاژ مش با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E_m = \frac{\rho K_m K_i I_G}{L_M} \qquad (۲۹-۲)$$

K_m یا ضریب فضا در رابطه فوق بصورت زیر تعریف می گردد:

$$K_m = \frac{1}{2\pi}\left[\left[\ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d}\right] + \frac{K_{ii}}{K_h}.\ln\left[\frac{8}{\pi(2n-1)}\right]\right] \qquad (۳۰-۲)$$

در رابطه فوق D فاصله بین هادی‌های موازی شبکه زمین، d قطر هادی‌های زمین و h عمقی است که هادی‌ها در آن دفن شده‌اند.

در شبکه‌هایی که میله‌های زمین در آنها در پیرامون شبکه کوبیده شده باشد ضریب $K_{ii}=1$ است. اما در شبکه‌های بدون میله‌های زمین و یا در شبکه‌های با میله‌های زمین بسیار محدود در پیرامون شبکه این ضریب عبارت است از:

$$K_{ii}=\frac{1}{(2n)^{\frac{2}{n}}} \qquad (۳۱-۲)$$

n در رابطه فوق در ادامه تعریف می‌گردد. K_h در رابطه (۲-۳۰) عبارت است از:

$$K_h=\sqrt{1+\frac{h}{h_0}} \qquad (۳۲-۲)$$

در این رابطه h_0 عمق مبنای شبکه می‌باشد که برابر ۱ متر در نظر گرفته می‌شود. همچنین n برابر است با:

$$n=n_a.n_b.n_c.n_d \qquad (۳۳-۲)$$

که در آن:

$$n_a=\frac{2L_c}{L_p} \qquad (۳۴-۲)$$

در رابطه فوق L_c طول کل هادی‌های زمین در شبکه افقی است و L_p محیط کل شبکه زمین می‌باشد و

$n_b=1$ برای شبکه‌های مربعی شکل

$n_c=1$ برای شبکه‌های مربعی و مستطیلی شکل

$n_d=1$ برای شبکه‌های مربعی و مستطیلی و L شکل

در بقیه حالات این ضرائب عبارتند از:

$$n_b=\sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A'}}} \qquad (۳۵-۲)$$

$$n_c=[\frac{L_x L_y}{A'}]^{\frac{0.7.A}{L_x.L_y}} \qquad (۳۶-۲)$$

$$n_d=\frac{D_m}{\sqrt{L_x^2+L_y^2}} \qquad (۳۷-۲)$$

در روابط بالا A' سطح شبکه زمین، L_x بزرگترین طول شبکه در راستای محور x، L_y بزرگترین طول شبکه در راستای محور y بوده و D_m بیشترین فاصله بین هر دو نقطه دلخواه شبکه است. ضریب بی‌نظمی K_i مربوط به n بدین صورت تعریف می‌گردد:

$$K_i=0.644+0.148n \qquad (۳۸-۲)$$

در شبکه‌های بدون میله‌های زمین و یا با تعداد محدودی میله زمین که به صورت پراکنده در شبکه قرار گرفته‌اند ولیکن هیچکدام در پیرامون و یا در اطراف شبکه قرار نداشته باشند L_M یا طول موثر شبکه از رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$L_M=L_c+L_R \qquad (۳۹-۲)$$

L_R طول کل میله‌های زمین و L_c طول کل هادی‌های متصل به آن است. در شبکه‌های دارای میله‌های زمین در پیرامون شبکه، L_M یا طول موثر شبکه عبارت است از:

$$L_M = L_c + \left[1.55 + 1.22\left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}\right)\right] L_R \qquad (۴۰-۲)$$

در این رابطه L_r طول یک میله زمین است.

۲-۹- محاسبه ولتاژ گام

ولتاژ گام با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E_s = \frac{\rho K_s K_i I_G}{L_S} \qquad (۴۱-۲)$$

دو ضریب L_S و K_s عبارتند از:

$$L_s = 0.75 L_c + 0.85 L_R \qquad (۴۲-۲)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D}(1 - 0.5^{(n-2)})\right] \qquad (۴۳-۲)$$

کلیه پارامترهای فوق قبلاً تعریف شده‌اند.

۲-۱۰- محاسبه بیشترین مقدار جریان هادیهای سیستم زمین

بیشترین مقدار جریان هادی‌های سیستم زمین یعنی I_G با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$I_G = D_f \times I_g \qquad (۴۴-۲)$$

در این رابطه D_f ضریب کاهش مولفه dc برای تمام بازه زمانی رخداد خطا یعنی t_f است که در حالت کلی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f}\left(1 - e^{\frac{-2t_f}{T_a}}\right)} \qquad (۴۵-۲)$$

که در آن:

T_a ثابت زمانی آفست dc بر حسب ثانیه و

t_f مدت زمان تداوم خطا بر حسب ثانیه می‌باشد. مقادیر نمونه‌ای پارامتر D_f در استاندارد IEEE80 آمده است. I_g مقدار موثر جریان متقارن شبکه زمین است. در این رابطه:

$$I_g = S_f \times I_f \qquad (۴۶-۲)$$

S_f ضریب تقسیم جریان خطا و I_f مقدار موثر جریان متقارن خطای زمین است که برابر است با :

$$I_f = 3I_0 \qquad (۴۷-۲)$$

I_0 مقدار موثر مؤلفه صفر جریان خطای متقارن است. S_f با توجه به آرایش شبکه و نحوه زمین کردن نوترال ترانسها محاسبه می‌شود.

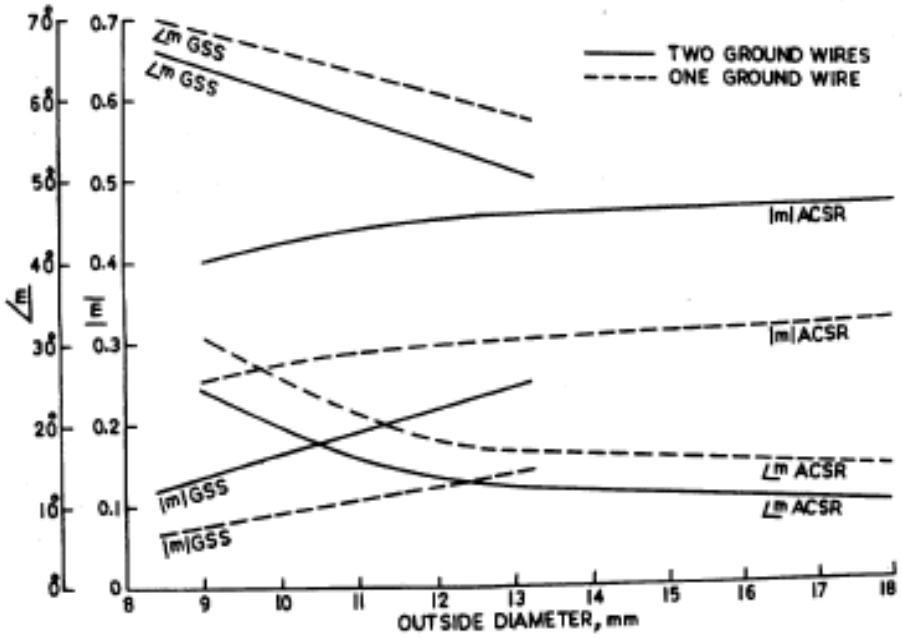
۲-۱۰-۱- برگشت جریان از سیم‌های گارد خطوط منتهی به پست

بخشی از جریان اتصال کوتاه تک فاز به زمین از سیم‌های گارد خطوط منتهی به پست به سمت منبع باز می گردند. این مقادیر نیز می‌توانند محاسبه و از جریان شبکه زمین کسر گردند. ضریب کاهش K_f از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$K_f = \alpha(1-|m|) \qquad (۴۸-۲)$$

در این رابطه α اثر هدایت خطوط انتقال منتهی به پست در برگشت بخشی از جریان اتصال زمین و $|m|$ اثر القا سیم گارد در برگشت بخش دیگری از جریان را نشان می‌دهد.

برای محاسبه جریان برگشتی به دلیل القا می‌توان از منحنی‌های موجود در شکل (۲-۶) استفاده کرد. این منحنی‌ها تغییرات پارامتر m را نسبت به قطر سیم و برای دو هادی GSS و ACSR نشان می‌دهند.



شکل۲-٦:محاسبه پارامتر m

α را نیز می‌توان با استفاده از رابطه زیر بدست آورد:

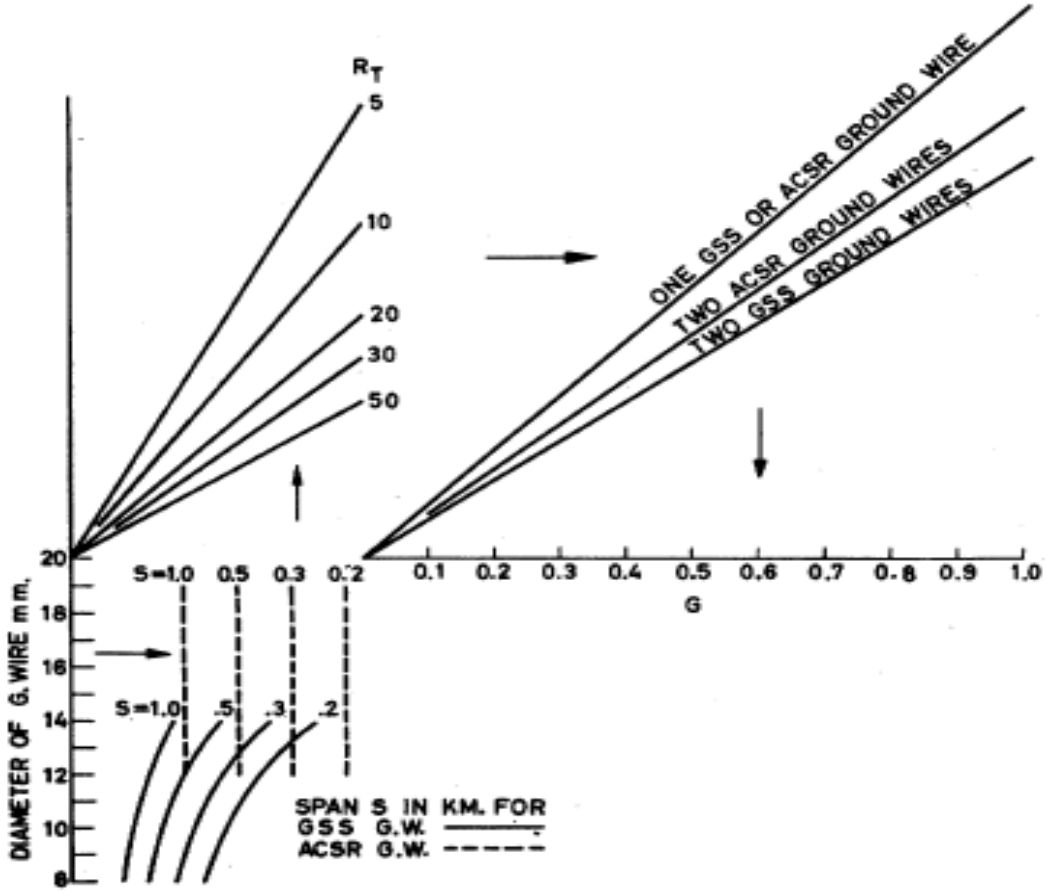
$$\alpha = \left[\frac{\frac{1}{y'}}{R_g + \frac{1}{y'}} \right] \qquad (۴۹-۲)$$

که در آن $y' = G' + jB'$ ادمیتانس معادل تمامی خطوط هوایی متصل به پست است. y' را می‌توان با توجه به این نکته که کلیه خطوط به طور موازی به هم متصل هستند ارزیابی نمود. y' و R_g (مقاومت شبکه زمین پست) نیز موازی هم خواهند بود. برای بدست آوردن $G، B$ و α می‌توان از شکل‌های (۲-۷) الی (۲-۹) استفاده نمود.

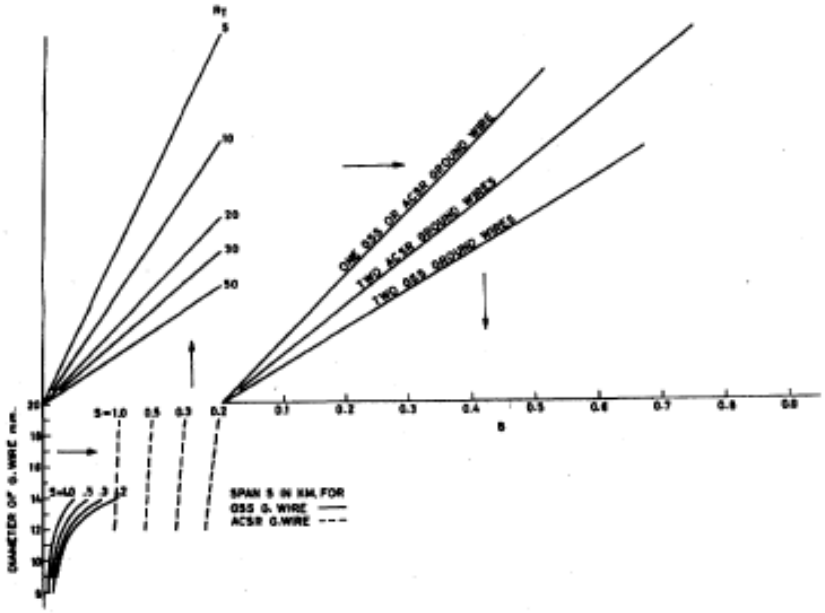
برای بهره‌گیری از این منحنی‌ها بایستی قطر خارجی سیم گارد معلوم و از سمت چپ شروع و بطور افقی روی محور حرکت کرد تا به منحنی مربوط به اسپن سیم رسید. سپس بطور عمودی در جهت بالا حرکت کرده تا به منحنی مربوط به مقاومت الکتریکی

متوسط پای برج رسید (R_T). سپس از این نقطه مجدداً به سمت راست حرکت می‌کنیم تا به منحنی تعداد و نوع هادی سیم گارد برسیم. سپس بطور عمودی در جهت پائین حرکت می‌کنیم تا به نقطهٔ موردنظر روی محور B و یا G برسیم. با استفاده از مقادیر مربوط به B و G پای خطوط مختلف، B' و G' که منتجه مقادیر B و G کلیهٔ خطوط منتهی پست هستند بدست آمده و ضریب α از رابطهٔ (۲-۴۹) محاسبه می‌گردد.

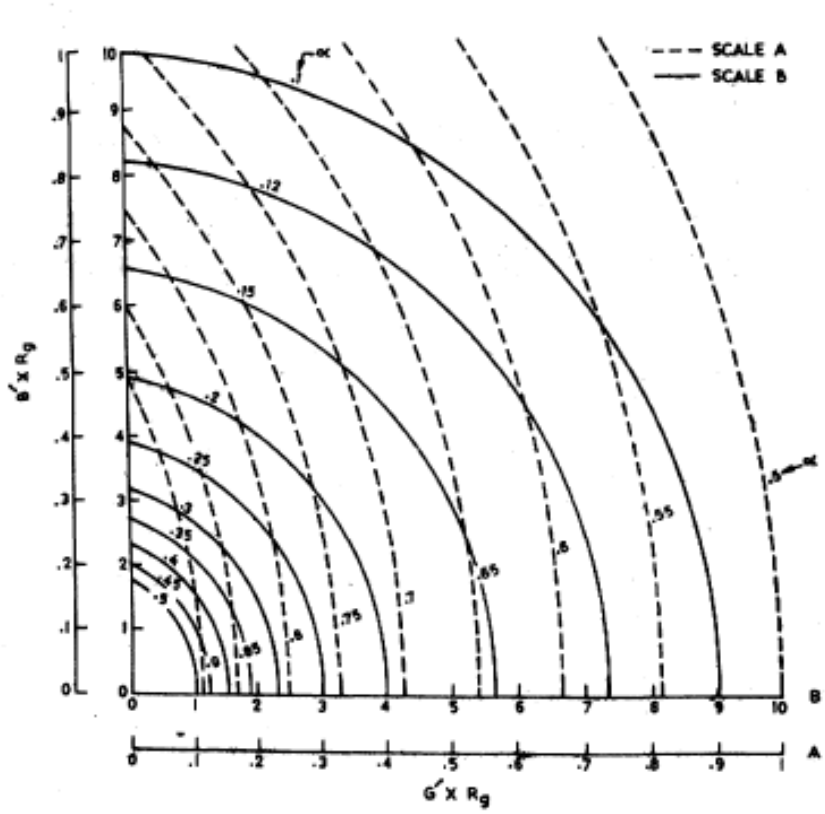
همچنین می‌توان با استفاده از منحنی‌های شکل (۲-۹) مقادیر مربوط به $B' \times R_g$ را روی محور عمودی و $G' \times R_g$ را روی محور افقی، با اشل A یا B متناسب با مقادیر فوق انتخاب کنیم. محل تلاقی این دو محور روی دایره‌های نشان داده شده مقدار α را بدست خواهد داد.



شکل۲-۷ :تعیین B برای خطوط هوایی



شکل۲-۸:تعیین G برای خطوط هوایی



شکل۲-۹ :تعیین α برای پستها

۲-۱۱- بدترین نوع خطا و محل وقوع آن

بدترین نوع خطا برای یک سیستم زمین جریانی است که بیشترین جریان (I_g) را وارد شبکه زمین کند. به دلیل اینکه این جریان متناسب با مولفه صفر یا جریان خطای زمین و ضریب تقسیم جریان است و همچنین ضریب تقسیم جریان اغلب متناسب با نوع نمی‌باشد، لذا بدترین نوع خطا عبارت است از خطایی که بیشترین مولفه صفر جریان را داشته باشد و یا اینکه بیشترین جریان خطای زمین را وارد هادی‌های شبکه زمین کند ($3I_0$). در یک مکان معین خطای تکفاز به زمین بدترین نوع خطاست اگر عبارت زیر در محل وقوع خطا برقرار باشد:

$$Z_1 Z_0 > Z_2^2 \qquad (۵۰-۲)$$

همچنین خطای خط به خط به زمین بدترین نوع خطاست اگر عبارت زیر در محل وقوع خطا برقرار باشد:

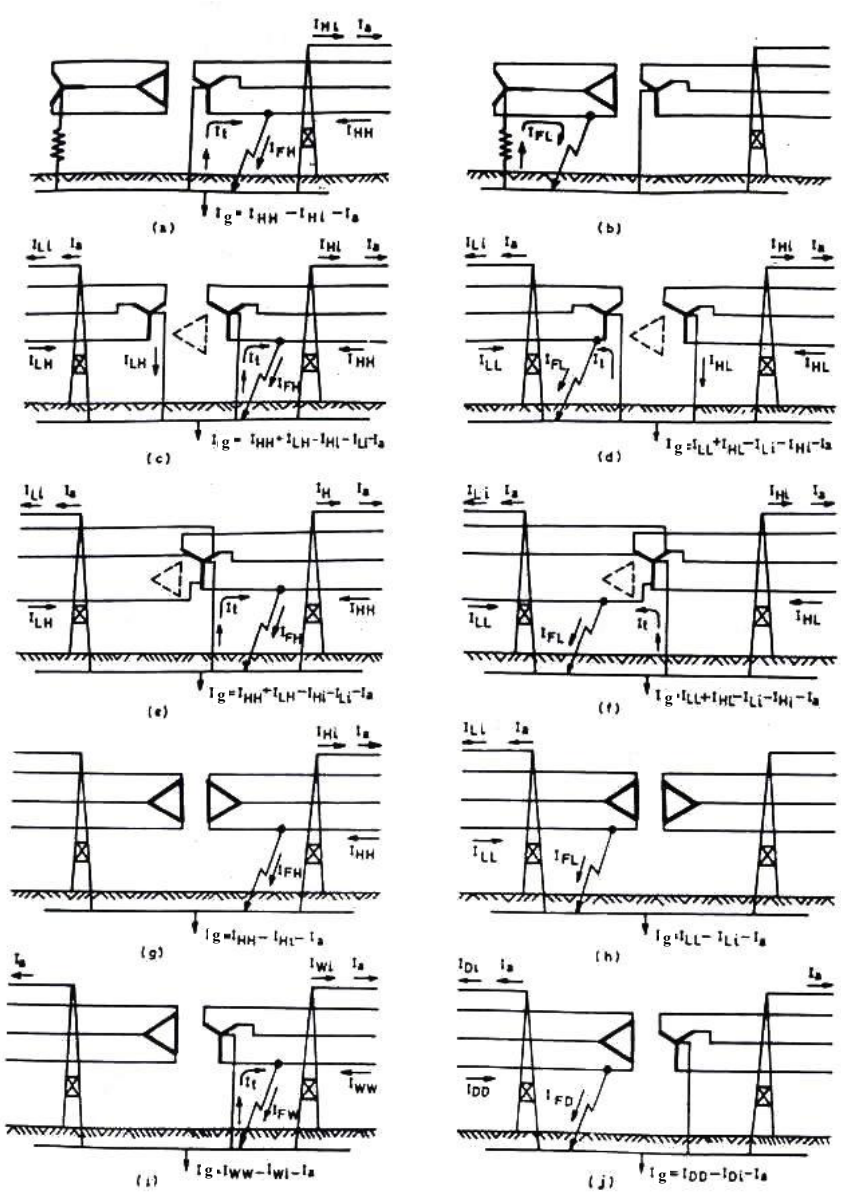
$$Z_1 Z_0 < Z_2^2 \qquad (۵۱-۲)$$

در اکثر موارد Z_2 برابر با Z_1 در نظر گرفته می‌شود. لذا عبارات فوق به صورت $Z_0 > Z_1$ و $Z_0 < Z_1$ خلاصه می‌گردد .

برای اینکه بدترین محل وقوع خطا را شناسایی کرد باید جوانب بسیاری را در نظرگرفت. محل وقوع خطا می‌تواند در طرف ولتاژ قوی، طرف ولتاژ ضعیف، در داخل پست یا در خارج آن روی خط در یک فاصله معین از پست رخ دهد. به هر حال قاعده و قانون مشخصی برای تعیین بدترین محل وقوع خطا وجود نداشته و می‌بایستی هرحالت به شکل جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

دقت شود که برای محاسبه جریان شبکه زمین (I_G)، نباید جریان بازگشتی از نوترال ترانس را لحاظ کرد. این جریان به امپدانس صفر ترانس و امپدانس صفر معادل شبکه وابسته بوده و با توجه به محاسبات اتصال کوتاه بدست می‌آید.

شکل (۲-۱۰) چگونگی بدست‌آوردن بیشترین جریان خطا را در حالت‌های مختلف نمایش می‌دهد.



تسکل ۲-۱۰: محاسبهٔ بیشترین جریان خطا I_g

در این شکل (a) یک پست افزاینده را با خطا در سمت فشار قوی، (b) یک پست افزاینده را با خطا در سمت فشار ضعیف، (e) و (g) و (c) یک پست میانی را با خطا در سمت فشار قوی، (h) و (f) و (d) یک پست میانی را با خطا در سمت فشار ضعیف، (i) یک پست میانی را با خطا در سمت ستاره ترانس و (j) یک پست میانی را با خطا در سمت مثلث ترانس نمایش می‌دهد.

در موارد فوق I_{ww} جریان تزریقی از طرف پست‌های دیگر به سمت ستاره ترانس است، وقتیکه خطا در سمت ستاره آن رخ می‌دهد. I_{DD} جریان تزریقی از طرف پست‌های دیگر به سمت مثلث ترانس است هنگامی که خطا در سمت مثلث ترانسفورماتور رخ می‌دهد. I_t، جریان تزریق شده توسط ترانس محلی، I_{wi} و I_{Hi} جریان برگشتی القایی به ترتیب از طریق خطوط فشار قوی متصل به پست و خطوطی که به ترانس‌های با اتصال ستاره متصل هستند، I_{Li} و I_{Di}، جریان برگشتی القایی به ترتیب از طریق سیم‌های گارد خطوط فشار ضعیف و خطوطی که به ترانس‌های با اتصال مثلث متصل هستند و I_a جریان برگشتی از طریق کلیهٔ سیم‌های گارد خطوط منتهی به پست که به سیستم زمین پست متصل می‌باشند.

۲-۱۲- طراحی گام به گام شبکه زمین

پس از آشنایی با شرایط بحرانی (بیشترین مقدار قابل تحمل ولتاژ گام و تماس[1]) طراحی شبکه زمین و همچنین آشنایی با مفاهیم پایه آن، نحوه طراحی گام به گام شبکه زمین معرفی می‌گردد. این طراحی در دوازده مرحله مطابق شکل (۲-۱۱) و به صورت زیر انجام می‌پذیرد:

گام اول:

در این مرحله باید بتوان با استفاده از نقشه جانمایی تجهیزات، تخمین مناسبی از هندسه شبکه بدست آورد. همچنین می‌بایستی آزمونهای مقاومت خاک صورت پذیرد تا بتوان با استفاده از آنها مقاومت و مدل خاک (تک لایه یا دو لایه بودن خاک) را شناخت. به عبارت دیگر اطلاعات اصلی طراحی در این مرحله بدست می‌آید.

گام دوم:

سطح مقطع هادی‌های سیستم زمین توسط رابطه (۲-۱۸) محاسبه می‌گردد.

گام سوم:

حداکثر مقدار قابل تحمل ولتاژ گام و تماس با استفاده از رابطه‌های (۲-۱۲) الی (۲-۱۵) محاسبه می‌شود.

گام چهارم:

در این مرحله طراحی مقدماتی شامل فاصله بین هادی‌های زمین و محل قرارگرفتن میله‌های عمودی با توجه به بیشترین جریان عبوری از هادی‌های زمین I_G و سطحی که سیستم زمین در آن اجرا می‌گردد انتخاب می‌گردد.

گام پنجم:

در این مرحله مقدار مقاومت طرح اولیه سیستم زمین توسط معادلات شوارتز محاسبه می‌شود.

گام ششم:

در این گام، بیشترین مقدار جریان شبکه زمین (I_G) محاسبه می‌گردد. برای جلوگیری از طراحی بیشینه[2] سیستم زمین، فقط قسمتی از جریان خطا ($3I_0$) که از طریق سیستم زمین به زمین دوردست انتقال داده می‌شود در طراحی شبکه زمین در نظر گرفته می‌شود. جریان (I_G) باید بیانگر بدترین نوع خطا و در بدترین نقطه ممکن باشد.

1. Tolerable touch and step voltages
2. Over design

گام هفتم:

اگر ولتاژ افزایش یافته زمین در پست (GPR) مربوط به طرح مقدماتی کمتر از حدود بدست‌آمده توسط ولتاژهای گام و تماس باشد این شبکه زمین دارای ایمنی لازم بوده و طرح تائید می‌گردد. فقط مقداری هادی اضافی برای اتصال تجهیزات به سیستم زمین باید در نظر گرفته شود.

گام هشتم:

محاسبه ولتاژ گام و مش برای شبکه طراحی شده با استفاده از روابط (۲-۲۹) و (۲-۴۱) انجام می‌گیرد.

گام نهم:

اگر ولتاژ مش محاسبه شده از ولتاژ تماس که در گام سوم بدست آمد کمتر باشد طراحی کامل است (رجوع به گام دهم). در غیراینصورت طرح اولیه باید مجدداً بازنگری شود (رجوع به گام یازدهم).

گام دهم:

در صورتی که ولتاژهای گام و مش مقادیری کمتر از ولتاژهای گام و تماس محاسبه شده در گام سوم دارند طراحی کامل است و فقط باید سایز هادی مورد نیاز برای اتصال سیستم زمین به تجهیزات را لحاظ نمود. در غیر اینصورت طرح اولیه باید مورد بازنگری قرار گیرد.

گام یازدهم:

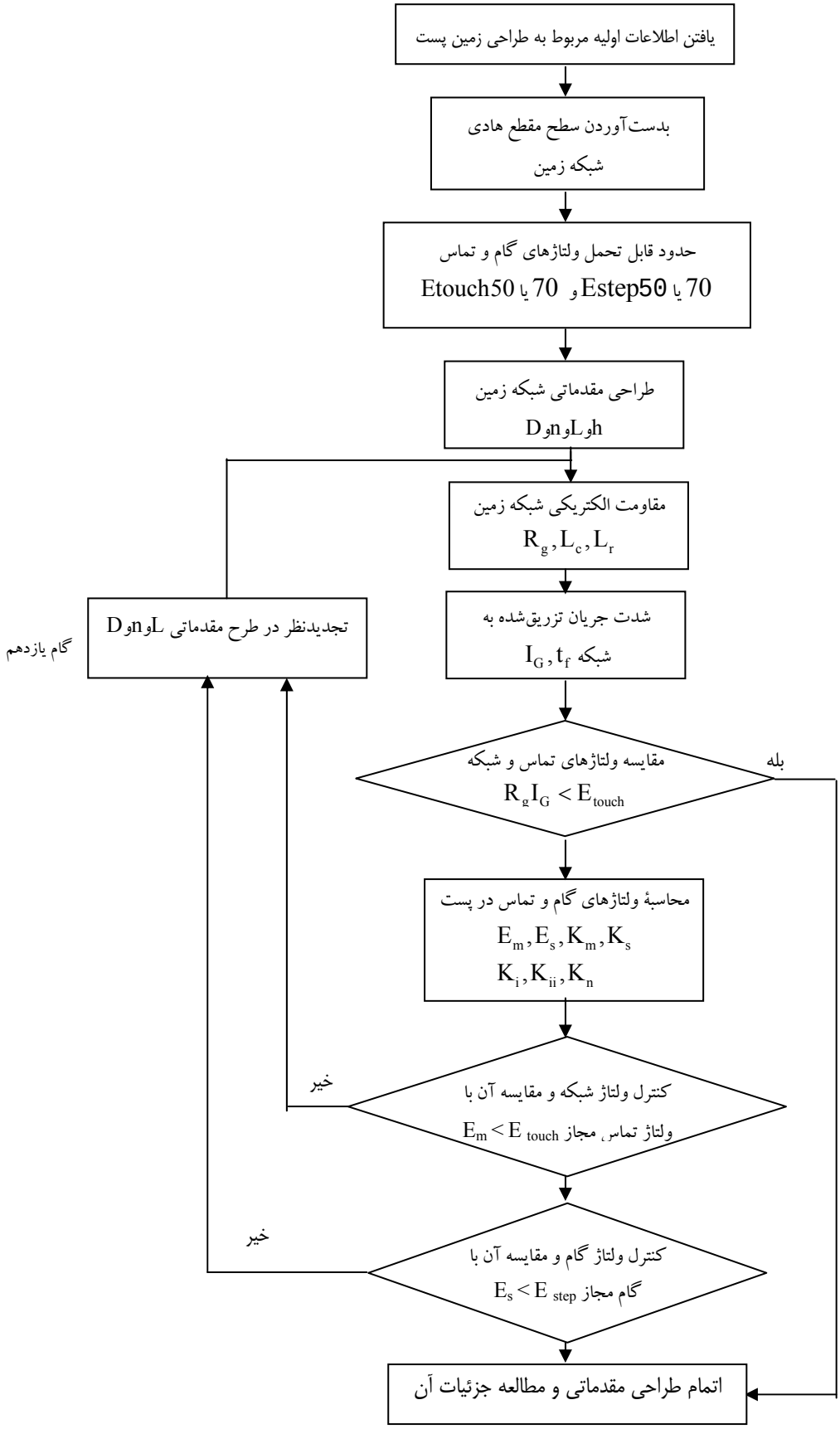
اگر ولتاژهای گام و تماس هر دو از مقدار آستانه تجاوز نمودند، طراحی مجدد شبکه زمین الزامی است. طراحی مجدد می‌تواند شامل کوچکترکردن فاصله بین هادی‌ها، افزودن تعداد بیشتری از میله‌های زمین[۱]، کم‌کردن مقاومت شبکه زمین، انتقال بخش بزرگتری از خطای زمین به قسمت‌های دیگر با استفاده از مسیرهای موازی، محدودکردن جریان خطا یا مواردی از این دست باشد. در غیراینصورت طرح اولیه باید مجدداً بازنگری گردد

گام دوازدهم:

در صورت بر آورده‌شدن شرایط لازم برای ولتاژ مش و گام طراحی سیستم زمین کامل است، فقط باید از میله‌های زمین اضافی در نزدیکی برقگیرها، نوترال ترانسفورماتور و ... استفاده نمود. در نهایت برای جلوگیری از بروز اشتباهات احتمالی طرح باید دوباره بازبینی گردد.

فلوچارت شکل (۲-۱۱) دوازده گام فوق را همراه با جهت حرکت نمایش می‌دهد.

۱. حداقل فاصله بین میله‌ها باید به اندازه طول آنها باشد



شکل۲-۱۱: بلوک دیاگرام مراحل طراحی شبکه زمین

در ادامه برای آشنایی بیشتر با چگونگی استفاده از روابط معرفی شده و چگونگی طراحی گام به‌گام شبکه زمین دفترچه محاسبات مربوط به یک پست ۲۳۰ کیلو ولت ارائه می‌شود.

۲-۱۳- طراحی گام به گام شبکه زمین یک پست نمونه

۲-۱۳-۱- جمع‌آوری اطلاعات لازم برای طراحی سیستم زمین (گام اول)

- مساحت پست $L \times W = 200 \times 150$ m
- مقاومت ویژه خاک $\rho = 290$ Ω.m
- مقاومت ویژه سنگ ریزه $\rho_s = 3000$ Ω.m
- عمق دفن شبکه زمین $h = 0.5$ m
- ضخامت لایه سنگ ریزه $h_s = 0.15$ m
- حداکثر درجه حرارت محیط $T_s = 50\ ^0C$
- میانگین درجه حرارت محیط $T_a = 40\ ^0C$
- حداکثر جریان خطای تک فاز $I_{fs} = 30\,KA$
- زمان تداوم جریان خطا $t_c = 1\,Sec$
- زمان تداوم شوک $t_s = 0.5\,Sec$
- با توجه به مطالعات سیستم، ضرایب $S_f = 0.7$ و $D_f = 1$ انتخاب شده‌اند.

۲-۱۳-۲- محاسبه سطح مقطع هادی‌ها (گام دوم)

محاسبه سطح مقطع هادی‌ها با استفاده از رابطه زیر امکان‌پذیر است:

$$A_{mm^2} = \frac{I}{\sqrt{(\frac{TCAP.10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}) \ln(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a})}}$$

جنس هادی‌های مورد استفاده از نوع Copper annealed soft-drawn می‌باشد.

- ضریب حرارتی مقاومت هادی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد $= \alpha_r = 0.00393$
- مقاومت ویژه هادی‌های شبکه زمین در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد $= \rho_r = 1.72\,\mu\Omega.cm$
- حداکثر دمای مجاز برای اتصالات پیچ و مهره‌ای $= 250^0C$
- حداکثر دمای مجاز برای اتصالات جوش احتراقی $= T_m = 1083^0C$
- ضریب حرارتی مقاومت هادی در دمای صفر درجه سانتی‌گراد $= \frac{1}{K_\circ} = \frac{1}{234}$
- ضریب ظرفیت حرارتی $= TCAP = 3.422\ J/(cm^3.^0C)$

۲-۱۳-۲-۱- محاسبه سطح مقطع هادی‌های اصلی شبکه زمین

با فرض اینکه ۷۰ درصد جریان خطای تکفاز وارد هادیهای شبکهٔ زمین می‌گردد خواهیم داشت:

$T_m = 1083\ ^0C$

$T_a = 40\ ^0C$

$$A_{mm^2} = \frac{0.7 \times 30}{\sqrt{\frac{3.422 \times 10^{-4}}{1 \times 0.00393 \times 1.72} \mathrm{Ln}\left[\frac{234+1083}{234+40}\right]}} = 75 \quad mm^2$$

با توجه به فرسایش هادیهای زمین حداقل قطر هادی مورد استفاده در شبکهٔ زمین این مثال برابر ۱۲۰ میلی‌متر مربع در نظر گرفته می‌شود.

۲-۱۳-۲-۲- محاسبه سطح مقطع رایزرها یا هادی‌ها اتصال تجهیزات به شبکه زمین

در مورد رایزها فرض بر این است که کل جریان خطا توسط هریک از رایزرها وارد شبکهٔ زمین خواهد شد.

$T_m = 250\ ^0C$

$T_a = 40\ ^0C$

$$A_{mm^2} = 30 \times \sqrt{\frac{\frac{1 \times .00393 \times 1.72 \times 10^4}{3.422}}{\ln[\frac{(234+250)}{(234+40)}]}} = 177\ mm^2 \Rightarrow 185\ mm^2$$

۲-۱۳-۳- محاسبه حداکثر ولتاژ گام وتماس قابل تحمل (گام سوم)

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5 c_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{step70} = (1000 + 6 c_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

$$c_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09} \quad \Rightarrow \quad c_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{290}{3000})}{2 \times 0.15 + 0.09} = 0.79$$

$$E_{touch70} = (1000 + 1.5 \times 0.79 \times 3000) \frac{0.157}{\sqrt{0.5}} = 1011.35 \quad V$$

$$E_{step70} = (1000 + 6 \times 0.79 \times 3000) \frac{0.157}{\sqrt{0.5}} = 3379 \quad V$$

۲-۱۳-٤- انجام طراحی مقدماتی (گام چهارم)

فاصله بین هادی‌های اصلی در سیستم زمین $D = 3\ m$ در نظر گرفته می‌شود.

$$N_a = \frac{A}{D} + 1 = \frac{200}{3} + 1 = 68$$

$$N_b = \frac{B}{D} + 1 = \frac{150}{3} + 1 = 51$$

طول کل هادی‌های سیستم زمین L_c عبارت است از:

$$L_c = A \times N_b + B \times N_b = 200 \times 51 + 150 \times 68 = 20400$$

- طول میله‌های زمین $L_r = 3\,m$
- تعداد میله‌های زمین $n_R = 75$
- قطر میله‌های زمین $2b = 0.02\ m$

۲-۱۳-۵-محاسبه مقاومت سیستم زمین (گام پنجم)

مقدار مقاومت طرح اولیه سیستم زمین توسط معادلات شوارتز محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{R_1 \times R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c}\left[\ln\left(\frac{2L_c}{a'}\right) + \frac{k_1 . L_c}{\sqrt{A'}} - k_2\right]$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n_R L_r}\left[\ln\left(\frac{8L_r}{b}\right) - 1 + \frac{2k_1 . L_r}{\sqrt{A'}}\left(\sqrt{n_R} - 1\right)^2\right]$$

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_c}\left[\ln\left(\frac{2L_c}{L_r}\right) + \frac{k_1 . L_c}{\sqrt{A'}} - k_2 + 1\right]$$

$$k_1 = -0.04\left(\frac{A}{B}\right) + 1.41 = -0.04\left(\frac{200}{150}\right) + 1.41 = 1.36$$

$$k_2 = 0.15\left(\frac{A}{B}\right) + 5.5 = 0.15\left(\frac{200}{150}\right) + 5.5 = 5.7$$

برای بدست آوردن k_1, k_2 از منحنی‌های شکل‌های (۲-۴) و (۲-۵) استفاده شده است.

$$R_1 = \left(\frac{290}{\pi \times 20400}\right)\left[\ \ln\left(\frac{2 \times 20400}{\sqrt{0.014 \times 0.5}}\right) + 1.36 \times \left(\frac{20400}{\sqrt{150 \times 200}}\right) - 5.7\ \right] = 0.758$$

$$R_2 = \left(\frac{290}{2\pi \times 75 \times 3}\right) \times \left[\ \ln\left(\frac{8 \times 3}{0.02}\right) - 1 + 2 \times 1.36\left(\frac{3}{\sqrt{200 \times 150}}\right) \times \left(\sqrt{75} - 1\right)^2\ \right] = 1.816$$

$$R_m = \left(\frac{290}{\pi \times 20400}\right) \times \left[\ \ln\left(\frac{2 \times 20400}{3}\right) + 1.36 \times \left(\frac{20400}{\sqrt{200 \times 150}}\right) - 5.7 + 1\ \right] = 0.7466$$

$$R = \frac{0.758 \times 1.816 - 0.7466^2}{0.758 + 1.816 - 2 \times 0.7466} = 0.7577 \quad < 1 \qquad \text{O.K.}$$

۲-۱۳-٦-محاسبه جریان سیستم زمین (گام ششم)

جریان سیستم زمین با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$I_g = S_f \times I_{ls}$$

$$I_g = 0.7 \times 30 = 21KA \quad , \quad I_G = D_f \times 21 = 21 \ \ KA$$

۲-۱۳-۷-مقایسه ولتاژ تماس با حاصلضرب مقاومت سیستم زمین در جریان آن (گام هفتم)

$$GPR = R \times I_G = 0.7577 \times 21000 = 15911.7 \ \ V$$

همانگونه که مشاهده می‌شود حاصلضرب مقاومت سیستم زمین در جریان آن از ولتاژ تماس بیشتر است .

۲-۱۳-۸-محاسبه ولتاژ گام و مش در پست (گام هشتم)

$$E_m = \frac{\rho K_m K_i I_G}{L_M}$$

$$E_s = \frac{\rho K_s K_i I_G}{L_S}$$

$$L_m = L_c + L_R = 20400 + 3 \times 75 = 20625m$$

$$L_s = 0.75L_c + 0.85L_R = 0.75 \times 20400 + 0.85 \times 3 \times 75 = 15491 \ \ m, L_P = 2(200 + 150) = 700m$$

$$K_{ii} = 1$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi}\left[\ln(\frac{D^2}{16hd}) + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d}] + \frac{K_{ii}}{K_h}\ln[\frac{8}{\pi(2n-1)}]\right]$$

$$n = n_a.n_b = (\frac{2L_c}{L_p})(\sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A'}}}) = (\frac{2 \times 20400}{700})(\sqrt{\frac{700}{4\sqrt{200 \times 150}}}) = 58.6$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad , h_0 = 1 \Rightarrow K_h = \sqrt{1 + \frac{0.6}{1}} = 1.265$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi}\left[[\ln(\frac{3^2}{16 \times 0.5 \times 0.014}) + \frac{(3 + 2 \times 0.5)^2}{8 \times 3 \times 0.014} - \frac{0.5}{4 \times 0.014}] + \frac{1}{1.265}.\ln[\frac{8}{\pi(2 \times 58.587 - 1)}]\right] = 0.265$$

$$K_s = \frac{1}{\pi}[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D}(1 - 0.5^{(n-2)}] = \frac{1}{\pi}[\frac{1}{2 \times 0.5} + \frac{1}{3+0.5} + \frac{1}{3}(1 - 0.5^{(58.6-2)}] = 0.515$$

$$K_i = 0.644 + 0.148n = 0.644 + 0.148 \times 58.6 = 9.315$$

$$E_m = \frac{290 \times 0.265 \times 9.315 \times 21000}{20625} = 728.87 \ \ V$$

$$E_s = \frac{290 \times 0.515 \times 9.315 \times 21000}{15491} = 1885.94 \ \ V$$

۲-۱۳-۹- مقایسه ولتاژ تماس با ولتاژ مش (گام نهم)

همانگونه که مشاهده می‌شود ولتاژ مش از حد تحمل ولتاژ تماس کمتر است ($E_m < E_{touch70}$).

۲-۱۳-۱۰- مقایسه ولتاژ گام در پست با ولتاژ گام آستانه خطر (گام دهم)

همانگونه که مشاهده می‌شود ولتاژ گام در پست از ولتاژ گام آستانه خطرکمتر است ($E_s < E_{step70}$).

۲-۱۳-۱۱- تجدید نظر مجدد در طرح

در صورتی که در هر یک از گام‌های نهم و دهم پاسخ منفی بود، با تجدیدنظر مجدد در طرح سیستم زمین به گام پنجم بازگشته و بقیه مراحل دوباره طی می‌گردد. از آنجا که پاسخ در این طرح پیشنهادی برای سیستم زمین این پست نمونه در گام‌های نهم و دهم مثبت است لذا به گام دوازدهم وارد می‌شویم.

۲-۱۳-۱۲- اتمام طراحی (گام دوازدهم)

با گذر از گام‌های نهم و دهم طراحی سیستم زمین به پایان می‌رسد. در این مرحله میله‌های زمین که باید در کنار برقگیرها، نوترال ترانسفورماتور و ... در نظرگرفته شود نیز دیده می‌شود و در نهایت برای جلوگیری از بروز خطا طرح بازنگری می‌گردد.

ħ فصل

Kǵžɜmɔɔd

۳- مقدمه

در این فصل آزمونها و سرویس‌های دوره‌ای سیستم زمین ارائه شده است. با استفاده از این آزمونها می‌توان پارامترهای مهم سیستم زمین را بدست آورد.

۳-۱- آزمونها

پس از اجرای سیستم زمین به منظور اندازه‌گیری برخی پارامترهای طراحی و مقایسه آنها و همچنین اطمینان از صحت اتصالات انجام یک سری از آزمونها بر روی سیستم زمین الزامی است. در مورد هادیهای شبکه زمین بر اساس استاندارد آزمون‌های زیر انجام می‌گیرد:

- اندازه‌گیری مقاومت و هدایت الکتریکی
- آنالیز شیمیایی ساخته‌های مسی
- آزمون‌های ظاهری
- آزمون های ابعادی
- آزمون‌های کشش و افزایش طول
- آزمون‌های خمش
- آزمون‌های سختی

نتایج حاصل از این آزمون‌ها باید منطبق بر موارد مندرج در اسناد مشخصات فنی باشد. در کلیه آزمون‌های زمین ، معمولا جریانی از زمین عبور داده می‌شود و ولتاژ ایجادشده در اثر عبور این جریان اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین لازم است در کلیه روشها الکترودهایی وجود داشته باشد تا بتوان توسط آنها جریان آزمون را در زمین جاری ساخت و نیز باید الکترودهایی برای اندازه‌گیری ولتاژ وجود داشته باشد.

۳-۱-۱- نکات ایمنی هنگام آزمون

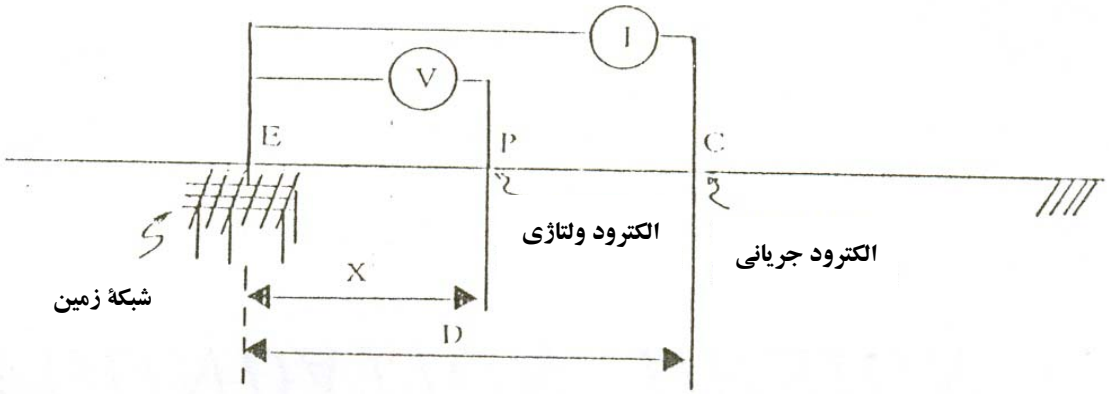
هنگام بروز اتصال کوتاه، این امکان وجود دارد که ولتاژ سیستم زمین پست تا مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. به عنوان مثال اگر مقاومت سیستم زمین ۰/۵ اهم و جریان شبکه زمین ۱۰ کیلو آمپر باشد، ولتاژ سیستم زمین ۵ کیلوولت خواهد بود. در آزمون‌های مربوط به زمین پست، جریانی به شبکه زمین تزریق می‌گردد و از طریق هادی‌های اتصال و الکترودی در زمین دوردست مسیر آن بسته می‌شود. همچنین اختلاف پتانسیل زمین پست با الکترودی در زمین دوردست اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین همواره این احتمال وجود دارد که در اثر بروز اتصال کوتاه، کارکنان در معرض شوک ناشی از ولتاژ انتقالی قرارگیرند. این ولتاژ عبارت است از اختلاف پتانسیل میان زمین پست و هادی‌هایی که به الکترودهای دوردست اتصال دارند و مقدار آن برابر افزایش پتانسیل زمین است.

بنابر آنچه گفته شد، وقتی آزمونها بر روی یک پست برقدار انجام می‌گیرد کارکنان هیچگاه نباید توسط بدن خویش مدار هادی‌های اتصال الکترود دوردست و زمین پست را ببندند و نیز در طول آزمون می‌باید کلیه نکات ایمنی را رعایت کنند و لباس،کفش و دستکش‌های ایمنی بپوشند. در خلال آزمون، عبور جریان از الکترود جریان واقع در زمین دوردست باعث بوجودآمدن گرادیان پتانسیل سطحی بزرگ و همچنین ولتاژ گام و تماس بزرگ در مجاورت این الکترود می‌شود. لذا باید از نزدیک شدن افراد

غیرمجاز به این الکترودها ممانعت به عمل آید. شایان ذکر است، در صورت برقرار بودن پست مقادیر اندازه‌گیری شده قابل اطمینان نمی‌باشد.

۳-۱-۲- اندازه گیری مقاومت سیستم زمین (امپدانس زمین)

برای اندازه‌گیری مقاومت زمین از روش Fall-of-Potential استفاده می‌گردد. این روش برای انواع شبکه‌های زمین کاربرد دارد. مدار آزمون مطابق شکل زیر می‌باشد.



شکل۳-۱:مدار آزمون اندازه گیری مقاومت زمین

اساس اندازه‌گیری معمولا عبور جریان از شبکه پست از طریق یک الکترود جریان C است که در نقطه‌ای دوردست از پست قرار گرفته است. در همین حال با خواندن ولتاژ بین الکترود پست E و الکترود ولتاژ P که در نقطه‌ای دور از پست واقع هستند می‌توان مقاومت سیستم زمین را با نسبت $\frac{V}{I}$ قرائت شده محاسبه نمود.

برای اندازه‌گیری مقاومت، منبع جریان بین شبکه زمین پست E و الکترود زمین C اتصال می‌یابد. فاصله الکترود C از محل پست باید حداقل پنج برابر قطر شبکه زمین باشد. اندازه‌گیری ولتاژ بین الکترود P و شبکه زمین انجام می‌گیرد (فاصله X). الکترود P باید در نقطه $X=0.62D$ قرارگیرد.

به هنگام اندازه‌گیری امپدانس، می‌بایست از جریانی نزدیک ۵۰ هرتز (اندکی بالاتر یا پائین تر از ۵۰ هرتز) استفاده شود و جریان اندازه‌گیری حداقل ۱۰۰ آمپر باشد تا اثر جریان ۵۰ هرتز شبکه بر اندازه‌گیری قابل اغماض بوده و اندازه‌گیری دقت مطلوبی داشته باشد.

۳-۱-۳- آزمون یکپارچگی سیستم زمین

بایستی بلافاصله پس از احداث سیستم زمین پست، بر روی آن آزمون یکپارچگی سیستم زمین صورت پذیرد تا اطمینان حاصل گردد که کلیه قسمت‌هایی که باید به زمین اتصال داشته باشند به آن وصل هستند. بهترین روش برای بررسی یکپارچگی سیستم زمین، عبور دادن جریان مستقیم بزرگ (ولیکن عملی) بین دو نقطه از شبکه زمین و اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل این دو نقطه در اثر

عبور جریان می‌باشد. از تقسیم اختلاف پتانسیل این دو نقطه به جریان عبوری، مقاومت بین دو نقطه محاسبه می‌گردد. اندازه‌گیری مقاومت بین دو نقطه از شبکه زمین با استفاده از اهم‌متر که دارای حساسیت لازم باشد نیز مجاز است. چنانچه مقاومت اندازه‌گیری‌شده بزرگتر از مقاومت محاسبه‌شده بین دو نقطه باشد در شبکه زمین گسیختگی وجود دارد. خاک اطراف هادی‌های شبکه زمین دارای راکتانس کوچکی است و هادی‌های شبکه زمین از طریق این راکتانس‌های کوچک به یکدیگر متصل هستند. بنابراین اگر برای آزمون از جریان متناوب استفاده شود، امپدانس اندازه‌گیری شده برای شبکه یکپارچه و شبکه دارای گسیختگی تقریباً یکسان خواهد بود. چنانچه در آینده تجهیزاتی نظیر خطوط لوله به شبکه زمین متصل گردند باعث کاهش امپدانس سیستم زمین می‌شوند. پس از احداث زمین پست، رفته‌رفته خاک اطراف شبکه فشرده‌تر شده و بنابراین امپدانس سیستم زمین به تدریج کاهش می‌یابد و پس از حدود یک سال به مقداری ثابت می‌رسد. البته این مقاومت در زمانهای مختلف و با توجه به شرایط محیطی و مخصوصاً رطوبت خاک می‌تواند تغییر کند. این کنترل یکپارچگی سیستم زمین باید به صورت دوره‌ای صورت بگیرد.

۳-۱-٤- آزمون کیفیت اتصالات سیستم زمین

به منظور اطمینان از صحت اتصال هادی‌ها به یکدیگر، هادی‌ها به میله‌های زمین و استانداردبودن اتصالات شبکه زمین دسته‌ای از آزمونها بر روی این اتصالات انجام می‌گیرد. در ادامه این آزمونها به همراه قیود محدودیت‌ها و نحوه انجام آنها ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است برخی از این آزمونها به صورت دوره‌ای و برخی نیز به صورت واحد انجام می‌گیرد.

۳-۱-٤-۱-آزمون های مکانیکی

این دسته از آزمونها به منظور اطمینان از صحت کارکرد سیستم زمین در هنگام بروز خطا در شبکه و واردشدن جریان خطا به هادی‌ها، آنها را از حیث نیروهای الکترومغناطیسی و نیروهای وارد بر اتصالات مورد سنجش قرار می‌دهد.

۳-۱-٤-۲- آزمون کشش

هادی‌های استفاده شده در شبکه زمین باید تحمل نیروهای کششی وارد از طرف هادی‌های مجاور را در محل اتصال که در شرایط خاص بر آنها وارد می‌گردد داشته باشد. بدین‌منظور آزمونی به عنوان آزمون کشش انجام می‌گیرد. در این آزمون ۴ نمونه از هر نوع اتصال استفاده‌شده در شبکه زمین انتخاب شده و مورد آزمایش قرار می‌گیرند. روند انجام آزمون بدینگونه است که نمونه از منتهی‌الیه هادی به دستگاه کشش متصل‌شده و از سمت اتصال آن به هادی دیگر ثابت می‌گردد. قبل از اعمال هر نیرویی، در حالتی که هیچگونه نیروی کششی به هادی و اتصال وارد نمی‌شود، محل اتصال هادی، روی هادی آزمون علامت‌گذاری می‌گردد. در انجام این آزمون توجه به دو نکته الزامی است. اول اینکه حداقل فاصله بین نگه‌دارنده دستگاه کشش و اتصال نباید از ۲۴۵ میلی متر کمتر باشد، و دوم اینکه کشش اعمالی بر نمونه نیز از ۲۴ میلی متر در دقیقه به ازای هر متر طول نمونه نباید بیشتر شود. جدول (۳-۱) مقدار طول هادی از نگه دارنده را نمایش می‌دهد.

جدول ۳-۱: طول هادی از نگه دارنده

سیم مسی یا اندازهٔ کابل	سیم آلومینیومی یا اندازهٔ کابل	سیم با روکش فولاد یا سیم فولادی، میله با روکش فولاد یا میله فولادی	طول هادی از محل اتصال تا نگه‌دارنده(٪ ۰ و ٪۱۰+)
AWG یا Kcmil	AWG یا Kcmil	قطر (mm)	(mm)
تا ۲	تا ۴	تا ۱۱/۱	۳۰۰
از ۲ تا ۵۰۰	از ۴ تا ۷۹۵	از ۱۱/۱ تا ۱۹/۱	۶۰۰
بالاتر از ۵۰۰	بالاتر از ۷۹۵	بالاتر از ۱۹/۱	۹۰۰

تحت این شرایط و با توجه به وضعیت و نوع نمونه مورد آزمایش، باید نمونه در محل اتصال هادیها قابلیت تحمل حداقل نیروی کششی را مطابق جدول (۳-۲) داشته باشد.

جدول ۳-۲:کمترین مقدار نیروی کشش

کمترین مقدار نیروی کشش	سیم فولادی یا میله زمین	سیم مسی با پوشش فولادی	اندازهٔ سیم آلومینیومی یا مسی
(N)	قطر (mm)	تعداد و سایز رشته‌های AWG	AWG یا Kcmil
۶۶۸	—	—	۸
۱۳۳۵	۴/۸	—	۶
۱۳۳۵	—	—	۴
۱۳۳۵	۶/۴	—	۳
۱۳۳۵	—	10 # 71	۲
۱۳۳۵	۷/۹	—	۱
۱۳۳۵	۹/۵	8 # 71	۱
۲۲۲۵	۱۱/۱	7 # 71	۲
۲۲۲۵	—	6 # 71	۳
۲۲۲۵	۱۲/۷	—	۴
۴۴۵۰	۱۴/۳	9 # 19 و 5 # 71	۲۵۰
۴۴۵۰	۱۵/۹	8 #19 و 4 # 71	۳۰۰
۴۴۵۰	—	—	۳۵۰
۴۴۵۰	۱۹/۱	7 # 19	۴۰۰
۴۴۵۰	—	6 # 19	۵۰۰
۸۹۰۰	۲۲/۲	5 # 19	۶۰۰
۸۹۰۰	۲۵/۴	—	۷۵۰
۸۹۰۰	—	—	۱۰۰۰

۳-۱-٤-۳- آزمون خوردگی

از این آزمون در جهت تخمین مقاومت‌خوردگی اتصال استفاده می‌گردد. برای انجام این دو آزمون از پاشیدن نمک و اسید روی نمونه استفاده می‌گردد. هر کدام از این دو آزمون به صورت مجزا انجام می‌گیرد.

- آزمون اسپری نمک

در این آزمون اثرخوردگی ایجادشده توسط افشانه نمک (کلرید سدیم) بر روی نمونه بررسی می‌گردد. مدت زمان این آزمون حداقل ۵۰۰ ساعت است. پس از پایان این مدت نمونه در آب قرار داده می‌شود. سپس برای اطمینان از خشک بودن نمونه به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و بعد از آن در دمای محیط قرار می‌گیرد. در این آزمون اتصال و هادی باید از نظر خوردگی مورد بازدید قرار گیرند و اطلاعات آزمون در مورد هرگونه تغییر در آن از جمله ایجاد حفره و یا هر تغییر دیگر در نمونه باید ضبط گردد.

- آزمون اسپری اسید (NHO_3)

در این آزمون اثرخوردگی ایجادشده توسط افشانه اسید (نیتریک) برروی نمونه بررسی می‌گردد. اسید استفاده شده در این آزمون اسید ۱۰ درصد می‌باشد.

۳-۱-۵- آزمون سیستم زمین برقگیر امواج ضربه

زمین برقگیر، جریان‌های موجی با دامنه زیاد و با زمان تداوم بسیار کوتاه را هدایت می‌کند. از طرفی چنانچه برقگیر معیوب باشد، پس از عملکرد برقگیر، جریان اتصال کوتاه سیستم در آن جاری خواهد شد. هنگام آزمون زمین برقگیر، هرگز نباید پایه برقگیر را از زمین جدا کرد زیرا ممکن است که پایه برقگیر دارای ولتاژ بزرگی (به اندازه ولتاژ فاز)گردد. از طرفی باید احتیاط لازم برای انتخاب زمان آزمون مبذول گردد تا احتمال تخلیه برقگیر حین آزمون حداقل گردد.

۳-۲- سرویس‌های دوره‌ای سیستم زمین

۳-۲-۱- مراحل انجام کار

- کنترل اتصال شبکه زمین (رایزرها) به استراکچر کلیه تجهیزات فشار قوی شامل: کلید قدرت، ترانسفورماتور جریان، ترانسفورماتور ولتاژ خازنی، سکسیونر، برقگیر و ... و بدنه ترانسقورماتور قدرت، ترانسقورماتور زمین- کمکی، راکتورها و گنتریها
- کنترل اتصال کامل سیم زمین به میله‌های زمین
- زدودن آلودگیها از اتصالات سیم زمین

۳-۲-۲- مهارت‌های لازم

-تکنسین	یک نفر
-کارگر ماهر	یک نفر

۳-۲-۳- تجهیزات لازم

جعبه ابزار و سمباده

فهرست منابع و مراجع:

[1] IEEE 80 – 2000, " Guide for Safety in AC Substation Grounding".
[2] IEEE 837 – 1989, " Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding".
[3] IEEE 81 –1983, " Guide for Measuring Earth Resistively, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of Ground System " .
[4] ANSI/IEEE C2-2002, "National Electrical Safety Code".
[5] B. Thapar, S.K. Madan, "Current for Design of Grounding System", IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vo1. PAS-103, No. 29, September 1984.
[۶] "استاندارد طراحی بهینه پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت ـ جلد ۲۱۳: معیارهای طراحی و مهندسی سیستم زمین"، شرکت مهندسین مشاور نیرو، اردیبهشت ۱۳۷۷.
[۷] "استاندارد طراحی بهینه پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت ـ جلد ۳۱۳: مشخصات فنی سیستم زمین"، شرکت مهندسین مشاور نیرو، اردیبهشت ۱۳۷۷.
[۸] "استاندارد پستهای فوق توزیع (۳۳) ۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی ـ جلد ۱۲۱۵: محاسبه شبکه زمین"، شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو، خرداد ۱۳۷۴.
[۹] "استاندارد پستهای فوق توزیع (۳۳) ۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی ـ جلد ۱۲۰۳: مبانی شبکه زمین"، شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو، خرداد ۱۳۷۴.
[۱۰] "استاندارد پستهای ۶۳/۲۰ کیلوولت ـ معیارها، استانداردها و جداول طراحی"، شرکت مشانیر، بهمن ۱۳۷۲.
[۱۱] اسناد و مدارک پروژه‌های انجام شده توسط شرکت مهندسین مشاور نیرو.

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **http://tec.mporg.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

این نشریه

با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال – سیستم زمین در پست های فشار قوی » جلد دوم از مجموعه دو جلدی است. در این مجلد مباحث مربوط به اهداف، کلیات و تعاریف، اصول طراحی شبکه زمین، آزمونهای استاندارد و سرویس دوره ای سیستم زمین همراه با نمونه گام به گام طراحی شبکه زمین یک پست ارائه شده است.