فصل پانزدهم

طراحی سیستم زمین پستهای فشار قوی

۱۵ . اصول طراحی سیستم زمین

۱۵-۱ . مقدمه

یکی از مسائل مهم و ضروری در طراحی ایستگاههای فشار قوی سیستم زمین آن می‌باشد که هدف از ایجاد آن تأمین مقاصد زیر است :

الف) ایجاد ایمنی برای اپراتورها و مراقبین و تعمیرکاران در داخل پست و بقیه افراد در اطراف پست در تمام مواقع در حالت عادی و چه حالت بروز اتصالی .

ب) حفاظت تجهیزات و تمام قسمتهای هادی غیربار دار دستگاهها در برابر ولتاژهای بالا ناشی از جریانهای اتصال زمین زیاد و یا پدیده‌های تخلیه جوی و یا عملیات سوئیچگر .

جهت حصول به شرایط فوق می‌بایستی سطح پتانسیل الکتریکی در سطح زیر و اطراف یک پست یکنواخت و نزدیک به پتانسیل صفر یا ولتاژ مطلق زمین باشد .

لذا در پستهای فشار قوی تمام پایه‌های فلزی بدنه تجهیزات و تابلوها و نوترال ترانسفورماتورها و سایر تجهیزات به سیستم زمین به نحو مناسبی متصل می‌گردند .

عمل زمین کردن دستگاهها به دو صورت انجام می‌گیرد :

۱- زمین کردن نوترال دستگاهها

۲- زمین کردن بدنه اجزاء هادی غیربار دار دیگر

۱۵-۲ . انواع زمین کردن نقطه نوترال دستگاهها

بطور کلی منظور از زمین کردن نوترال رسیدن به اهداف زیر است :

ـ کاهش فشار الکتریکی ضربه‌ای ناشی از سوئیچینگ و تخلیه الکتریکی قسمتهای فشار قوی

ـ تأمین و کنترل جریان اتصالی در حد قابل قبول و مجاز

انواع زمین کردن نقطه نوترال دستگاهها عبارتند از :

۱۵-۲-۱ . زمین کردن مستقیم (Solid Earthing)

زمین کردن نقطه نوترال به صورت مستقیم دارای مزایای زیر است :

الف) ولتاژ نقطه نوترال از ولتاژ فاز تجاوز نمی‌کند .

ب) ولتاژهای فازهای سالم در زمان اتصال فاز به زمین معمولاً درحد نرمال خود باقی می‌ماند .

ج) سیستم حفاظتی ، ساده و عملی خواهد بود .

د) ولتاژ نامی برقگیرها در حدود ۸۰٪ ولتاژ فاز به زمین انتخاب خواهد شد در نتیجه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است .

معایب روش فوق عبارتند از :

الف) جریان اتصال خیلی زیادی از نقطه نوترال در زمان وقوع اتصال فاز ـ زمین بوجود می‌آید .

ب) در این سیستم در نقاطی که جریان اتصال کوتاه فاز ـ زمین از جریان اتصال کوتاه سه فاز بیشتر شود قدرت قطع کلیدها براساس این جریان محاسبه می‌شود .

ج) به علت کاهش مولفه‌های مثبت و ولتاژ پایداری شبکه کاهش می‌یابد .

د) جریانهای شدید اتصال کوتاه باعث بوجود آمدن اختلالاتی در شبکه مخابراتی می‌شود .

۱۵-۲-۲ . زمین کردن از طریق مقاومت (Earthing Resistance)

این روش باعث محدود گردیدن جریان اتصال کوتاه به زمین کم شدن ولتاژها در صورت محدود شدن جریان اتصالی به جریان خازنی در حالت اتصال فاز ـ زمین می‌شود روش فوق دارای مزایا و معایب زیر است :

الف) چون می‌توان با انتخاب مقاومت دلخواه جریان اتصال فاز به زمین را در حد مناسب قرار داد لذا حفاظت در اتصال فاز ـ زمین به خوبی انجام می‌گیرد .

ب) حفاظت شبکه در هنگام اتصال فاز ـ زمین به خوبی انجام می‌گیرد .

ج) اثرات القایی روی شبکه‌های مخابراتی با محدود شدن جریانهای اتصال کوتاه کاهش خواهد یافت و خطرات ایجاد قوسهای الکتریکی متناوب نیز کاهش می‌یابد .

د) نقطه نوترال در اتصال فاز ـ زمین دارای ولتاژ زیادی خواهد شد لذا می‌بایست درعایق بندی نقطه نوترال نهایت دقت به عمل آید .

۱۵-۲-۳ . زمین کردن از طریق راکتانس (Resistance Earthing)

این نوع زمین کردن نسبت به زمین کردن از طریق مقاومت دارای مزایای زیر است :

الف) برای جریانهای مساوی و معین حجم راکتور از حجم مقاومت کمتر می‌شود .

ب) تلفات ایجاد شده در راکتور نسبت به مقاومت خیلی کمتر است .

۱۵-۲-۴ . سیستم زمین با استفاده از سلف پترسون

استفاده از اندوکتانسی که راکتانس آن معادل $1/3$راکتانس خازنی کل سیستم باشد در نقطه صفر باعث جلوگیری از بوجود آمدن پدیده قوس‌های الکتریکی متناوب بدون اتصالی و قطع مدار می‌شود . معایب روش فوق عبارتند از :

الف) برای هر تغییری در شبکه و در نتیجه تغییر در کاپاسیتانس شبکه می‌باید راکتور نیز تعویض شود .

ب) ولتاژ فازهای سالم در زمان اتصال کوتاه به اندازه $\sqrt{3}U_m$ (U_m ولتاژ فاز) خواهد رسید که این مستلزم بزرگ گرفتن سطح عایقی تجهیزات BIL است .

ج) در این روش نیزتشخیص مدار اتصالی در صورت تداوم آن مشکل است .

۱۵-۲-۵ . زمین کردن از طریق ترانسفورماتور زمین (Transformer Earthing)

در شبکه‌هایی که نقطه نوترال در دسترس نباشد (اتصال مثلث) می‌تواند از یک ترانس زمین با اتصال زیگزاگ و یا ستاره مثلث برای به وجود آوردن نقطه نوترال استفاده نمود .

۱۵-۲-۶ . زمین کردن حفاظتی

زمین کردن حفاظتی به منظور افزایش ایمنی و جلوگیری از افزایش پتانسیل قسمتهای زمین شده که معمولاً شاخص با آنها در ارتباط باشد بکار می‌رود . بدین منظور در پستهای فشار قوی کلیه قسمتهای فلزی که حامل جریان نیستند به سستم زمین متصل می‌شود . این قسمتها عبارتند از : ستونها و پایه‌های فلزی ، دستگاههای اندازه‌گیری ، ایزولاتورها ، مقرهای عبوری و بخصوص قسمتهای فلزی که برای کارکردن با دستگاه باید آنها را لمس کرد . در این قسمت‌ها در اثر عبور جریان کم نیز ، عضلات دست بطوری منقبض می‌شود که باز کردن و رهایی از آن غیر ممکن و محال است . بدین منظور و برای جلوگیری از هر گونه حادثه‌ای باید سیستم زمین به نحوی طراحی گردد که قسمتی از مسیر جریان که توسط اعضای بدن انسان اتصالی می‌شود دارای افت ولتاژ زیادی نباشد . عامل خطر برای انسان و یا هر موجود دیگر جریان می‌باشد که البته وجود اختلاف پتانسیل است که باعث عبور جریان می‌گردد . در فشار ضعیف جریانهای بیشتر از ۰/۱ آمپر که از قلب می‌گذرد خطر جانی دارد ولی جریانهای تا ۰/۰۲ آمپر خطرناک نیست .

اثر مرگبار جریان بستگی به فرکانس هم دارد و متأسفانه فرکانس صنعتی ۵۰ هرتز خطرناکترین آنها می‌باشد . در فرکانسهای زیاد ، شدت جریانهای زیاد نمی‌تواند موجبات منقبض شدن اعضای بدن انسان را فراهم سازند بطوریکه عبور جریان به شدت چندین آمپر با فرکانس خیلی زیاد ممکن است برای انسان بی‌خطر باشد و بهمین جهت است که در پزشکی از جریانهای با فرکانس ریاد برای

درمان استفاده می‌شود . لازم بتذکر است که در این نوع زمین کردن همـواره قـسمتهای مـورد نظـر مستقیماً و بدون هیچگونه مقاومتی به شبکه زمین متصل می‌شوند .

قبل از محاسبه و طرح سیستم زمین ابتدا موارد زیر را بررسی مینمائیم .

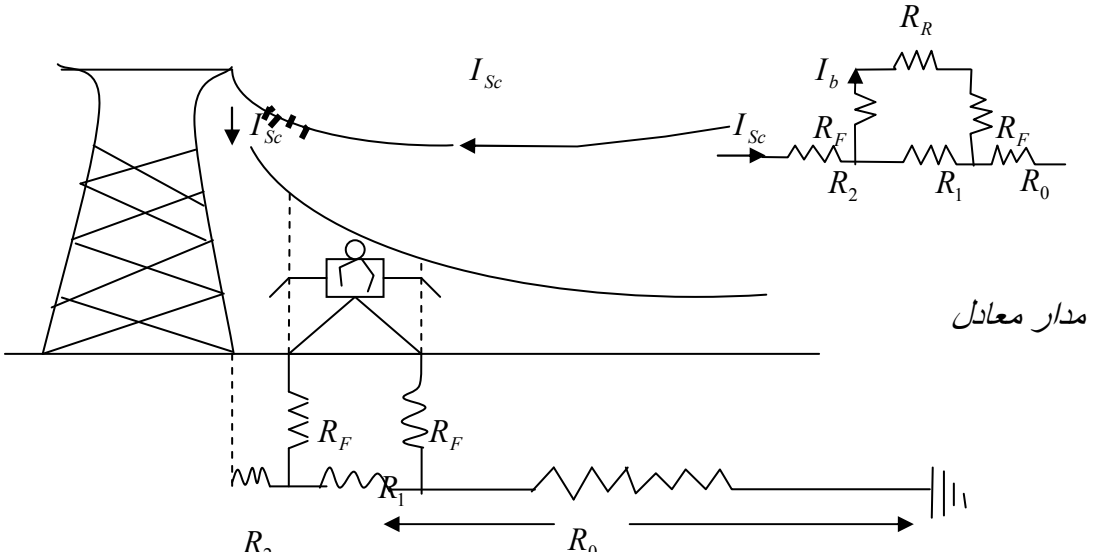
۱۵-۳ . ولتاژهای قابل تحمل گامی ـ تماسی و انتقالی :

عبور جریان اتصال کوتاه از هادیهای سیستم زمین باعث ایجاد گرادیان پتانسیل در سطح زمین پست و در مناطق مجاور مسیر عبور جریان میشود یعنـی ولتاژهـای برخـی از نقـاط زمـین بیـشتر و برخی کمتر افزایش می‌یابد بطوریکه بین این نقاط اختلاف پتانسیل‌ها از حد مجاز بیشتر شـود بـرای شخص که در این محدوده قرار گرفته خطرناک میباشد در اینجا سه نـوع ولتـاژ ایجـاد شـده ممکـن بررسی میشود .

۱۵-۳-۱ . ولتاژ گامی :

عبور جریان اتصال کوتاه از یک الکترود و یا یک سازه به داخل زمین سبب میشود که ولتاژ در این نقطه از

زمین به حداکثر خود برسد همانطوریکه در شکل زیر نشان داده شده است وقتی فردی به این نقطه نزدیک میشود اختلاف پتانسیل در زیر پاهای اوبه تدریج افزایش می یابد . در شکل مدار معادل نیز رسم شده است که در آن مقاومت بدن با R_R و مقاومت زمین زیر هر یک از پاها با R_F نشان داده



شده و مقادیر R_2 و R_1 و R_0 مقاومت قسمتهای مختلف زمین را درحین عبور جریان اتصال کوتاه مشخص مینماید .

شکل شمارهٔ (۱) نحوهٔ ایجاد ولتاژ گامی

مقاومت R_k شامل مقاومت بدن از یک کف پا تا کف پای دیگر است در محاسبات آنرا ۱۰۰۰ اهم می‌گیرند مقاومت زمین زیر پا R_F می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای روی مقدار جریان گذرنده از بدن مؤثر باشد . پا را می‌توان یک الکترود صفحه‌ای فرضی دانست که شعاع معادلش حدود C ۲۸m باشد و مقاومت زمین مربوط به آن براساس مقاومت مخصوص خاک سطح زمین ρ_S بدست می‌آید . طبق آزمایش مقاومت زیر دو پا بطور سری (اتصال قوی) تقریباً $6\rho_s\Omega$ است (ρ_S برحسب $\Omega.m$) و مقاومت زیر دو پا بطور موازی (اتصال تماسی) $1.5\rho_s\Omega$ میباشد .

حال با توجه به مدار معادل قبل ولتاژ قوی بصورت $E_{Step} = I_b.(R_K + 2R_F)$ بدست می‌آید .

اگر با توجه به قانون دالذیل مقدار جریان قابل تحمل برای بدن را برابر $I_b = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$ فرض کنیم :

$$E_{Step} = I_b.(R_K + 2R_F) = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \times (1000 + 2\rho_F) = \frac{116+0.7\rho}{\sqrt{t}}$$

هرگاه سطح روی زمین از سنگریزه و شن پوشیده شده باشد ، از فرمول زیر :

$$E_{Step} = \frac{116 + 0.35\rho_S + 0.35\rho}{\sqrt{t}}$$

مقاومت مخصوص سطح زمین برحسب $\Omega.m$ است که برای شن و سنگریزه معمولاً $3000\Omega.m$ در نظر گرفته میشود .

ρ: مقاومت مخصوص در عمق شبکه زمین و بین نقطه‌ای در مرکز خانه شبکه تا هادی شبکه می‌باشد .

نحوه پائین آوردن ولتاژ قدمی و تماسی : در داخل محوطه پست ولتاژ قدمی و تماسی را میتوان با کاهش فاصله‌ها بین هادیهای شبکه پائین آورد و در تئوری با داشتن صفحه یکپارچه به صفر رساند . اما موضوع در خارج پست بدین صورت نیست این مطلب در مورد پستهای کوچک کد شبکه زمین مساحت محدودی را اشغال میکند جدی‌تر است .

برای محاسبه دقیقتر ولتاژ قدمی باید عمق قرارگرفتن شبکه و فاصله هادیها رامنظور کرد . و نیز با بکار بردن ناهمگونی K_i براساس شکل هندسی شبکه معادله شکل زیر در می‌آید :

$$E_{Step}=K_s.K_i.\rho.i$$

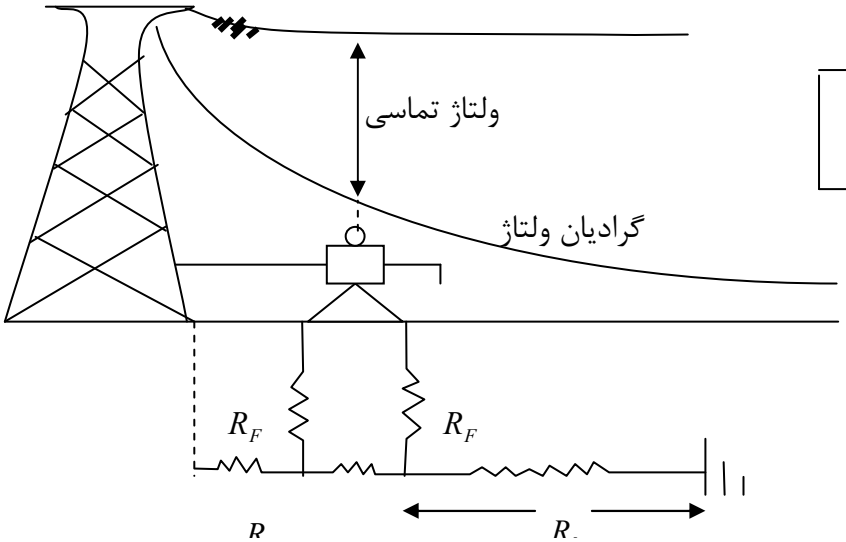
K_S ضریبی است که اثر تعداد هادیها n فاصله آنها D و عمق قرارگرفتن شبکه h را در محاسبه دخالت میدهد و از طریق زیر محاسبه میشود :

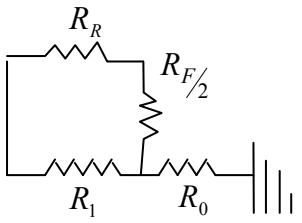
$$K_S=\frac{1}{\pi}[\frac{1}{2h}+\frac{1}{D+h}+\frac{1}{2D}+\frac{1}{3D}+\cdots+\frac{1}{(n-1)D}]$$

با توجه به رابطه E_{Step} با افزایش مقاومت زیر پا و کاهش زمان عبور جریان ولتاژ گامیقابل تحمل افزایش می‌یابد .

۱۵-۳-۲ . ولتاژ تماسی : touch Voltage

اگر فردی به سازه فلزی برقدارشده در اثر اتصال زمین دست بزد تحت ولتاژ تماسی قرار خواهد





مدار معادل

گرفت شکل زیر شیب ولتاژ در روی زمین را در چنین حالتی نشان می‌دهد .

شکل شمارهٔ (۲)

با توجه به مدار معادل داریم :

$$E_{tourh} = I_{SC}.R_1 = I_b(R_R + R_{F/2})$$

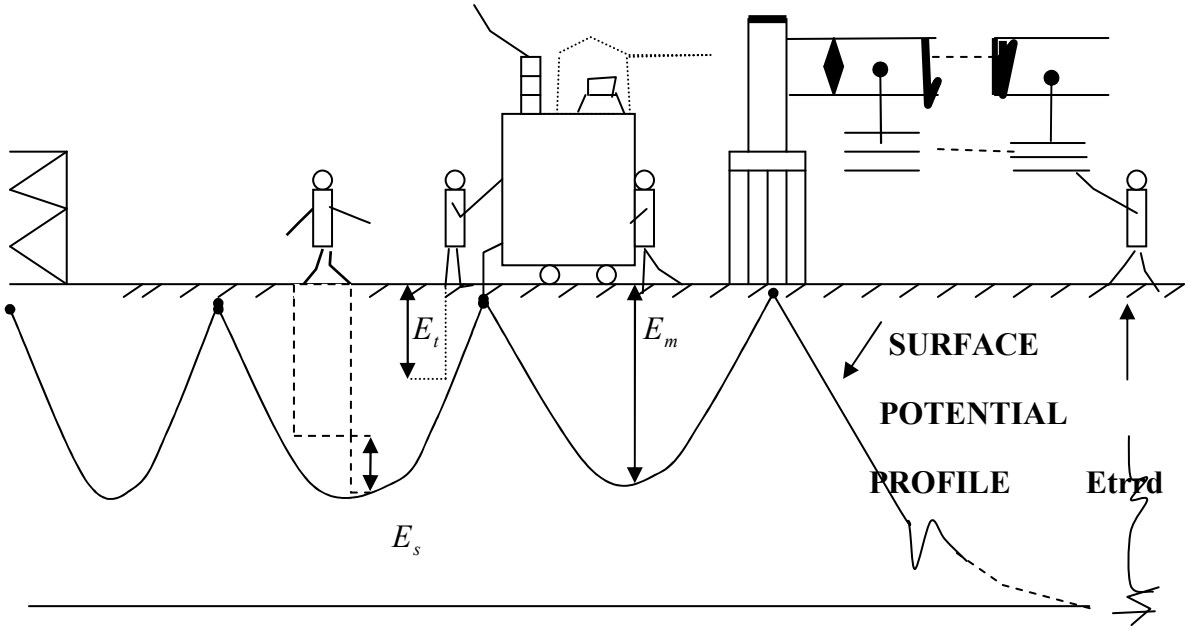
$$E_{tourh} = \frac{0.116}{\sqrt{t}}(1000 + 1.5\rho_s) = \frac{116 + 0.17\rho_s}{\sqrt{t}}$$

۱۵-۳-۳ . ولتاژ مش :

حداکثر ولتاژی که در وسط یک مش از شبکه زمین پست ایجاد می‌شود عنوان ولتاژ مش تعریف می‌شود و به عبارت دیگر ولتاژ ماکزیممی است که در حالت اتصالی بین شبکه زمین تا سطح مفروش شنی پست در سطح قائم ایجاد می‌شود .(فرمهای مربوط به ولتاژ مش در صفحهٔ ۱۲ آورده شده است.)

۱۵-۳-۴ . ولتاژ انتقالی :

حالت خاصی از ولتاژ تماسی می‌باشد و درحالتی تعریف می‌شود که ولتاژ تماسی به نقطه‌ای زمین در دور دست انتقال یابد همانطور که در شکل زیر می‌بینیم ممکن است شخصی که در دور دست ایستاده با سیم یا لوله و یا هر شی فلزی در تماس باشد که به محل پست متصل بوده و در داخل پست تحت شرایط اتصال کوتاه قرارگرفته باشد . در حالت خاصی نیز ممکن است شخصی در محل یک پست تحت ولتاژ تماسی قرار گرفته و توسط یک هادی بعنوان مثال با پست دیگری که تحت شرایط اتصال کوتاه قرار گرفته است در تماس باشد لذا در جنین مواردی ولتاژ انتقالی می‌تواند نزدیک به مجموع ولتاژهای افزایش یافته هر دو پست باشد با توجه به اینکه اصولاً طرح شبکه زمین که بتواند جوابگوی حالت فوق یا حتی حالتی که ولتاژ انتقالی در اثر القاء روی مدارات مخابراتی و سیم‌های نول و لوله‌های آب و غیره ایجاد می‌گردد غیر عملی خواهد بود . لذا بایستی از ایجاد ولتاژهای انتقال خطرناک روی شبکه خارجی با ایزوله کردن کامل شبکه جلوگیری کرد .



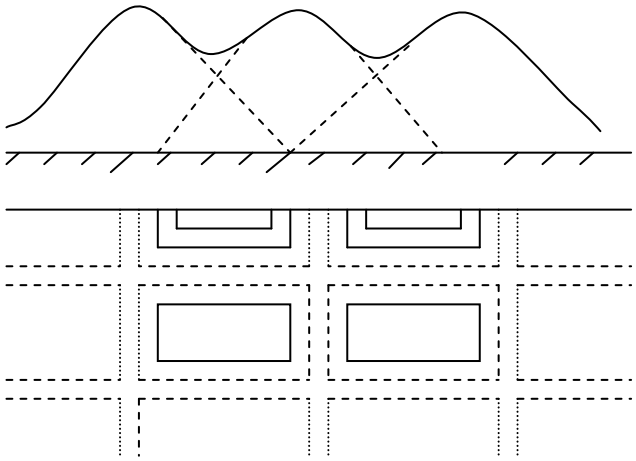
شکل شماره (۳)

۱۵-۴ . اصول کلی طراحی سیستم زمین

انواع سیستم زمین به شرح زیر است :

۱۵-۴-۱ . استفاده از شبکه هادیها بصورت افقی در زیر زمین :

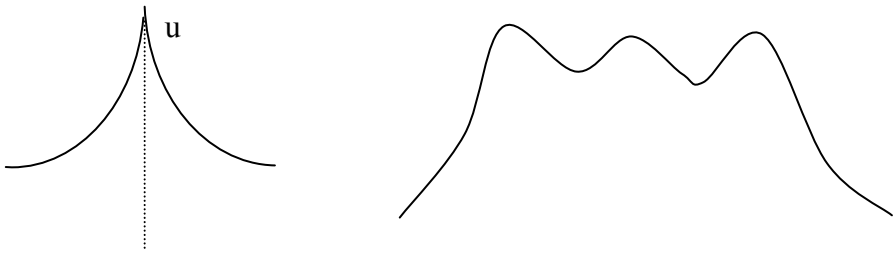
این روش در پستهایی که دارای جریان اتصال کوتاه زیاد و دارای مساحت نسبتاً زیاد می‌باشد ، بکار می‌رود از مزایای این طرح کاهش خطر گرادیان موضعی ولتاژ می‌باشد . در صفحه بعد منحنی شیب ولتاژ برای چنین شبکه‌ای نشان داده شده است :



شکل شمارهٔ(۴) اثر شبکهٔ افقی برکاهش گردایان ولتاژ

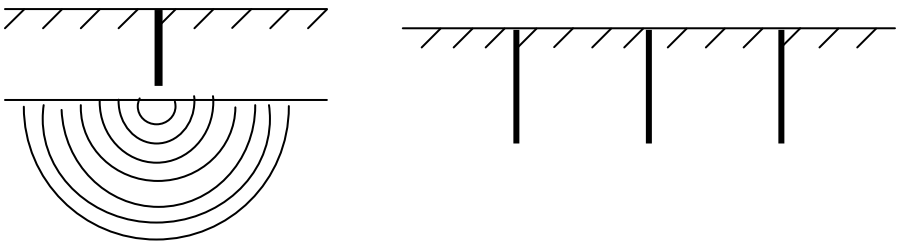
۱۵-۴-۲ . استفاده از سیستم الکترود زمین :

این سیستم در پستهای با مساحت کم و تجهیزات کم و سطح اتصال کوتاه پائین استفاده می‌شود . البته باید از چندین الکترود بصورت موازی با هم استفاده کرد . در زیر شیب یا افزایش ولتاژ روی سطح زمین برای یک الکترود که بطور عمودی در زمین قرار گرفته و چندین الکترود بصورت نشان داده شده است.



موازی

شکل (۵) اثر الکترود عمودی برشیب ولتاژ



۱۵-۴-۳ . استفاده از شبکه هادیها همراه با الکترود زمین :

این روش که ترکیبی از دو روش فوق است مناسبترین طرح می‌باشد زیرا علاوه بر کاهش مقاومت کل سیستم زمین تا حدود ۵۰٪ باعث کاهش ولتاژ تماس تا حدود ۱۲٪ می‌باشد و همچنین شیب ولتاژ سطحی سیستم را کم می‌کند .

برای کنترل گرادیان ولتاژ در پستهای فشار قوی طرح شبکه‌های سیستم زمین بصورت مجموعه‌ای از هادیهای موازی افقی بطور متقاطع و بفرم شطرنجی در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری زمین پستها بطور معمول رایج می‌باشد . نکته‌ای که در رابطه با طراحی سیستم زمین باید به آن توجه نمود اینست که طبق محاسبات و تجربیات بدست آمده معمولاً کاهش مقاومت سیستم زمین تا حدود ۰/۱۲۵ اهم عملی بوده ولی حصول به مقادیر کمتر بعلت افزایش فوق‌العاده طول هادیها اقتصادی نخواهد بود .

۱۵-۵ . مراحل طراحی سیستم زمین

۱- مطالعات مشخصات خاک

۲- تعیین زمان تشخیص و رفع خطا و مساحت تحت پوشش زمین

۳- تعیین ماکزیمم جریان زمین (در هنگام شدیدترین نوع اتصال کوتاه)

۴- طرح مقدماتی سیستم زمین

۵- محاسبه مقاومت سیستم زمین و تعیین ماکزیمم افت پتانسیل کل شبکه

۶- محاسبه ولتاژ گامی در اطراف پست

۷- محاسبه ولتاژهای گامی و تماسی در داخل محوطه پست

۸- مطالعه ولتاژ انتقالی

۹- تصحیح یا تغییر طرح مقدماتی با ملاحظه نتایج قسمتهای ۸-۷-۶

۱۰- ساختن سیستم زمین

۱۵-۵-۱. مطالعه مشخصات خاک

الف) قابلیت هدایت الکتریکی خاک و مقاومت مخصوص آن :

هدایت الکتریکی خاک (بخصوص هدایت قسمت زیرین خاک) عامل مهمی در طرح یک سیستم زمین می‌باشد و این پارامتر به میزان رطوبت خاک محل مورد نظر بستگی دارد .

مقاومت انواع خاک (برحسب اهم)

نوع خاک	حداکثر	حداقل	متوسط
ـ خاک رس و زمین حاوی فضولات مانند خاکستر ذغال و نمک	۴۱	۳/۵	۱۴
ـ گل،سنگ رسی ،گل خشت ،خاک رس و شن آمیخته با گیاه پوسیده	۹۸	۲	۲۴
	۸۰۰	۶	۹۳
ـ گل یا گل رس ، خاک رس و شن با سنگ‌ریزه و سنگهای مختلف	۲۷۰۰	۳۵	۵۵۴
ـ شن ، سنگها و سنگ‌ریزه با گل یا بدون گل			

اثر رطوبت موجود درخاک و نمکهای محلول در آن

مقدار کمی تغییر رطوبت ، اثر بسیار زیادی روی مقاومت مخصوص خاک می‌گذارد این امر مخصوص در مورد مقادیر رطوبت کمتر از ۲۰٪ مشاهده می‌شود . بعنوان مثال آزمایشهائیکه روی خاک رس قرمز بعمل آمده است با رطوبت حدود ۵٪ مقاومت مخصوص برابر $۲/۳۴\times۱۰^{۶}$ اهم بر سانتیمتر

می‌باشد با افزایش رطوبت همین خاک به میـزان ۲۲٪ مقاومـت مخـصوص بـه ۶۸۰۰ اهـم سـانتیمتر کاهش می‌یابد.

ب) حرارت :

با گرم شدن خاک تا قبل از تبخیر آب درون آن ، مقاومت مخصوص کاهش می‌یابد و با کاهش درجه حرارت و یخ زدن آب موجوددر خاک مقاومت مخصوص آن بشدت افزایش می‌یابد .

ج) اثر عمق بر مقاومت :

عمق الکترود زمین نقش مهمی در کاربرد الکتریکی آن دارد الکترودها بایـد بـه چنـان عمقـی رانـده شوند که به یک سطح خاک با رطوبت دائمی برسند . نرسیدن به این رطوبت نه تنهـا باعـث حـصول مقاومت بالا میشود بلکه باعث تغییرات زیاد برحسب فصول سال می‌گردد .

ـ روشهای کاهش مقاومت زمین :

الف : استفاده از میله‌های زمین :

طول میله‌های زمین بایستی به حدی باشد که به سطح رطوبت دائمی خاک برسند .

ب : استفاده از مواد شیمیایی :

چنانچه بعلت وضعیت زمین نتوانیم میله‌ها را در عمق مناسب قرار دهـیم کـاهش مقاومـت زمـین از طریق استفاده از مواد شیمیایی در اطراف میله مفید است ـ مواد شیمیایی مقاومت مخـصوص خـاک اطراف میله را کم می‌کند و مسیری با مقاومت کم برای جریـان الکتریـسیته بوجـود مـی‌آورد . غالبـاً سولفات منگنز ، سولفات مس ، نمک سنگی معمولی بعنوان مواد شیمیایی بکار برده می‌شوند .

۱۵-۵-۲ . تعیین زمان تشخیص و رفع خطا و مساحت تحت پوشش سیستم زمین :

تعیین زمان خطا بستگی مستقیم به سیستم‌های حفاظتی پیش بینی شده در پست دارد که معمـولاً بیشترین زمان خطا توسط سیستم حفاظتی برای طراحی در نظر گرفتـه مـی‌شـود . مـساحت تحـت

پوشش سیستم زمین تابع دستگاهها و ظرفیت پست می‌باشد . مساحت تحت پوشش سیستم زمین را بصورت دایره‌ای فرضی در نظر می‌گیرند که شعاع این دایره از فرمول زیر محاسبه می‌گردد :

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

S : مساحت شبکه پست

r : شعاع مساحت معادل

۱۵-۵-۳ . تعیین حداکثر جریان اتصال زمین

برای تعیین حداکثر جریان اتصال زمین به ترتیب زیر عمل می‌کنیم :

الف) تعیین اینکه کدامیک از انواع اتصال زمین شبکه باعث ایجاد بیشترین جریان اتصالی در زمین میشود .

ب) تعیین حداکثر مقدار جریان مؤثر متقارن I'' که از شبکه زمین در لحظه وقوع اتصالی عبور می‌نماید .

ج) تعیین ضریب تصحیح D : تا اثرات ناشی از جریان غیرمتقارن‌کننده دائم و کاهش جریان متناوب در نظر گرفته شود .

د) تعیین ضریب تصحیح K : برای در نظر گرفتن افزایش آتی در جریان اتصال کوتاه بعلت توسعه سیستم در آینده .

۱۵-۵-۳-۱ . تعیین حداکثر جریان اتصال کوتاه در لحظه شروع :

حداکثر جریان اتصال کوتاه در لحظه شروع از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$I'' = \frac{3E}{3R + 3R_F + (R_1 + R_2 + R_0) + (X_1'' + X_2 + X_0)}$$

$$R\langle\langle X \to I'' = \frac{3E}{X_1'' + X_2 + X_0}$$

E : ولتاژ فاز به زمین برحسب ولت

R : مقاومت محاسباتی شبکه زمین به اهم

R_F: حداقل احتمالی مقاومت نقطه اتصال کوتاه

R_1 و R_2 و R_0: به ترتیب مقاومت توالی مثبت ـ منفی و صفر شبکه به نقطه اتصال می‌باشد .

X_1'': راکتانس توالی مثبت محور مستقیم فوق گذرا برحسب اهم برفاز

X_2: راکتانس توالی منفی برحسب اهم برفاز

X_0: راکتانس توالی صفر برحسب اهم برفاز

۱۵-۵-۳-۲ . تعیین ضریب تصحیح (ضریب کاهش) Decrement Factor

از آنجائیکه جریان اتصالی غیرمتقارن می‌باشد و خطر حاصله براساس جریان متقارن با دامنه محاسبه میشود و در عمل از ضریب کاهش که جریان سینوس ساده را برحسب جریان حداکثر فوق گذرا در هر زمان بدست می‌دهد استفاده می‌کنند که در جدول زیر تغییرات ضریب کاهش برحسب زمان خطا داده شده است .

ضریب کاهش	زمان خطا (S)
۱/۶۵	۰/۰۸
۰/۲۵	۰/۱
۱/۱	۰/۲۵
۱/۰۰	۰/۵ یا بیشتر

که ضریب بالا از فرمول زیر بدست می‌آید . در حالتی که بعنوان بدترین حالت فرض شود که ۱۰۰٪ موج غیرمتقارن در جریان اتصال به زمین در لحظه شروع وجود دارد :

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^t i_F^2 dt} = DI'' \rightarrow D = \frac{I}{I''}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^t i_F^2 dt}$$

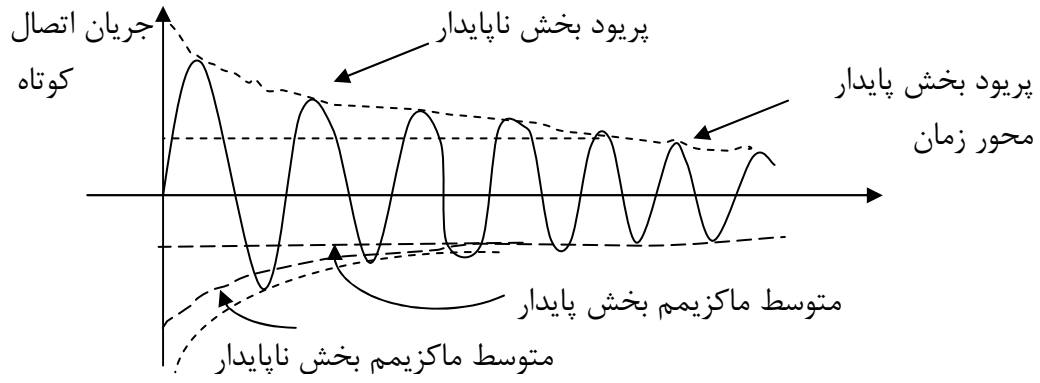
I : مقدار مؤثر جریان اتصال کوتاه (برحسب آمپر)

T : زمان اتصال کوتاه به ثانیه

t : زمان بعد از شروع اتصال کوتاه به ثانیه

i_f : مقدار مؤثر (r.m.s) جریان اتصال کوتاه به زمین در لحظه t بعد از شروع اتصال کوتاه .

باید دانست که مقدار اولیه جریان اتصالی در طول زمان کاهش می‌یابد و پس از حدود نیم ثانیه به مقدار ثابتی به نام جریان اتصالی همزمان می‌رسد که این مطلب در شکل موج جریان اتصالی برحسب زمان در شکل زیر نشان داده شده است از آنجائی که جریان اتصالی همزمان متقارن می‌باشد بنابراین در پست‌هائیکه زمان خطا ۰/۵ ثانیه یا بیشتر می‌باشد ضریب کاهش برابر یک خواهد بود .



۱۵-۵-۳-۳ . تعیین ضریب تصحیح (ضریب توسعه) :

همانگونه که می‌دانیم حداکثر جریان اتصال کوتاه در یک نقطه معین وقتی ظرفیت سیستم با اتصالات جدید شبکه افزوده می‌شود افزایش می‌یابد . این مسئله در طراحی مقدماتی باید در نظر گرفته شود تا زمین پست در صورت توسعه شبکه در آینده ایمنی داشته باشد . برای اینکه توسعه آینده شبکه را در نظر گرفته باشیم بایستی ضریب توسعه را که بین ۱/۵-۱/۲ می‌باشد در جریان ضرب کنیم . ضریب مربوط به اثر تقسیم و پخش جریان در هادیها در حدود ۰/۸ می باشد .

۱۵-۵-۳-۴ . اثر مقاومت زمین پست در تعیین حداکثر جریان اتصال کوتاه :

اگر در موردی مقاومت زمین خیلی زیاد باشد (در مقایسه با راکتانس سیستم) ارزش دارد که جریان از رابطه زیر محاسبه شود :

$$I'' = \frac{3E}{3R + 3R_F + (R_1 + R_2 + R_0) + (X_1'' + X_2 + X_0)}$$

ولی هنوز شبکه زمین پست طراحی نشده تا مقاومت زمین را داشته باشیم ولی از آنجائیکه سطح زمین در اوائل طرح بطور تقریبی معلوم است . R از رابطه تقریبی زیر بدست می‌آید : $R = \frac{\rho}{4r}$

ρ : مقاومت مخصوص زمین به $\Omega.m$

r : شعاع دایره معادل سطح شبکه زمین برحسب متر .

فرمول دقیقتر: $R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$

L : طول کلی سیم شبکه که ابتدا محاسبه می‌شود .

۱۵-۵-۳-۵ . محسنات شبکه افقی (grid)

الف) در سیستم‌های که حداکثر جریان زمین خیلی زیاد باشد بدست آوردن زمینی مناسب بطوریکه مقاومتش به اندازه سطح امنی در مواقع بالا رفتن پتانسیل پائین باشد بندرت امکان پذیر است . استفاده از شبکه این امر را ممکن میسازد .

ب) در یک طرح زمین که چندین الکترود مورد لزوم است . اتصالات بین الکترودها ، خود شبکه‌ای را بوجود می‌آورد که به اندازه خود الکترودها می‌تواند مؤثر باشد .

بوسیله شبکه می‌توان زمین را تا حدود ۲ تا ۵ درصد مقاومت خاک رساند .

۱۵-۵-۴ . طرح مقدماتی سیستم زمین

۱۵-۵-۴ -۱ . انتخاب سطح مقطع هادی

در تعیین مقطع هادی شرائط زیر عوامل مهمی هستند :

الف ـ داشتن مقاومت مکانیکی کافی در برابر تنش مکانیکی ناشی از جریان اتصال زمین

ب ـ داشتن هدایت کافی بطوریکه گرادیان پتانسیل در همه نقاط از حد مجاز تجاوز نکنند .

ج ـ توانائی تحمل تنش حرارتی بطوریکه هادی ذوب نشود .

توانایی تحمل تنش حرارتی و مکانیکی تابعی از مقدار جریان اتصالی ، زمان و جنس هادی می‌باشد .

سطح مقطع هادی طبق فرمولی که توسط onder donk ارائه شده بدست می‌آید :

$$A = I\sqrt{\frac{33t}{\log\left[\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1\right]}}$$

A : سطح مقطع هادی برحسب CM

$$1Cm = 1Circular \quad mile = 0.0005067\,mm^2$$

I : جریان ماکزیم برحسب آمپر

t : زمان برقراری جریان اتصال کوتاه

Tm : ماکزیمم دمای مجاز برحسب درجه سانتیگراد

Ta : متوسط درجه حرارت محیط (معمولاً ۴۰ درجه در نظر گرفته می‌شود)

۱۵-۵-۴-۲ . حداقل طول هادی لازم برای کنترل گرادیان ولتاژ

برحسب تعریف ولتاژ خانه (mesh Voltage) عبارت از اختلاف پتانسیل بین هادی شبکه و نقطه مرکز خانه در روی زمین است .

لارنت (Laurent) نشان داده ست که برای اندازه‌های متوسط قطر سیمها و فواصل آنها و عمق دفن شبکه مقادیر ولتاژهای گامی ، تماسی و خانه برحسب مقدار جریان نشتی از واحد طول هادی (i) و مقاومت مخصوص زمین (ρ) بطور تقریبی زیر هستند :

$$i = \frac{I}{L}$$

$$E_{Step} = (0.1 \quad 0.2)\rho i$$

$$E_{touch} = (0.6 \quad 0.8)\rho i$$

$$E_{touch} \langle E_{mech} \qquad E_{mesh} = \rho i$$

مشاهده می‌شود که ولتاژ خانه بطور معمول از ولتاژهای تماس بیشتر است بنابراین کافی است در طراحی و محاسبات ولتاژ خانه با حد مجاز تماس مقایسه شود . ولتاژ خانه با توجه به اینکه توزیع جریان و نیز میدان الکتریکی در هادی و خاک یکنواخت نیست بصورت زیر محاسبه می‌گردد :

$$E_{mesh} = K_m . K_i . \rho \frac{I}{L}$$

I : جریان کل اتصالی

L : طول کل هادیهای شبکه زمین

K_i: ضریب بی‌نظمی $\qquad K_i$=۰/۶۵+۰/۱۷۲n

n : بیشترین تعداد هادیهای موازی در یک جهت

K_m: ضریب شبکه مربوط به ابعاد شبکه از جمله تعداد هادیها ، قطر و فاصله آنها و عمق می‌باشد که از رابطهٔ زیر بدست می‌آید :

$$K_m = \frac{1}{2\pi} Ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} Ln\left[\frac{3}{4}\right].\left[\frac{5}{6}\right]\cdots\left[\frac{2n-3}{2n-2}\right]$$

n : تعداد هادیهای طولی d : قطر آنها D : فاصله بین آنها h : عمق دفن

برای اینکه ولتاژ خانه شبکه در حد ولتاژ تماسی مجاور باشد باید :

$$E_{mesh} = K_m.K_i.\rho\frac{I}{L} = \frac{116 + 0.17\rho s}{\sqrt{t}}$$

با اعمال شرط فوق حداقل طول لازم را برای کل هادی بدست می‌آوریم :

$$L_m = \frac{K_m.K_i.\rho I\sqrt{t}}{116 + 0.17\rho s}$$

۱۵-۵-۵ . محاسبه مقاومت سیستم زمین

با توجه به فرمول لورنت $R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$ اگر مقاومت مخصوص زمین بزرگتر از ۷۰۰ اهم متر باشد معمولاً مقاومت بدست آمده بیش از ۲ اهم می‌شود . در این حالت برای کم‌کردن مقاومت از الکترود

$$\text{تعداد حداقل الکترودها} = \frac{\text{جریان اتصالی}}{۵۰۰}$$

استفاده می‌شود که تعداد حداقل الکترودها از رابطه زیر بدست می‌آید :

سطح مقطع الکترودها معمولاً برابر سطح مقطع هادی زمین گرفته می‌شود و محل نصب آنها معمولاً در زیر تجهیزاتی مانند ترانسفورماتور ، راکتور و برقگیرها و یا در پیرامون شبکه زمین بخصوص در گوشه‌های شبکه می‌باشد .

با محاسبه مقاومت R و داشتن حداکثر جریان اتصال کوتاه می‌توانیم حداکثر افـزایش پتانـسیل شبکه نسبت به بینهایت را از رابطه E =IR بدست آوریم اگر مقادیر حداکثر جریـان اتـصال کوتـاه و مقاومت شبکه زمین بقدری کـم باشـد کـه مقـدار ولتـاژ E کمتـر از ولتـاژ تماسـی بدسـت آمـده از رابطه $E_t = \frac{116 + 0.17\rho s}{\sqrt{t}}$ باشد . چون ولتاژ بدست آمده کم است و خطرناک نمی‌باشد محاسـبات بـه همین جا پایان می‌پذیرد .

مقادیر مجاز T_mبرای هادیهای مختلف طبق جدول زیر می‌باشد .

Material	*o141 Din Vde*	*IEC 621-2A* IEC 345-54
CU Dare	300°*c*	500 200 150
AL Dare	300°*c*	300 200 150
STEEL ARE OR LEAD SNEATH	300°*c*	150 200 150
HNNED OR CU IN LEAD SNEATH	150°*c*	*Nodata*

۱۵-۶ . اتصال به شبکه زمین :

وسائلی که به شبکه اتصال می‌یابند عبارتند از :

الف : تمام قسمتهای فلزی که جریان از آنها عبور نمی‌کند ولی برحسب تصادف ممکن است برقرار شوند . (زیر ولتاژ قرارگیرند) مانند سازه‌های فلزی ، تانک ترانسفورماتور ، محافظهای دژنکتورهای روغنی ، بدنه ماشینها و غیره .

ب : الکترودهای از نوع میله‌های زمین ، در پوش چاه ، لوله‌های آب و غیره .

ج : برق‌گیرها ، خازنهای کوپلاژ ، نقاط نترال ترانسفورماتور و سیم‌پیچی ماشین ، مدارهای ثانویه روشنائی و سایر مدارهای الکتریکی مورد نظر و نیز در بسیاری موارد ثانویه ترانسفورماتور جریان و ولتاژ نیز زمین می‌شوند . زمین این مدارها باید محدود به یک نقطه باشد تا از جریانهای نفوذ کننده که اثر بدی روی رله‌ها و وسائل اندازه‌گیری دارد جلوگیری شود . معمولاً از کابلهای مسی برای اتصالات زمین استفاده می‌شود . اتصال بین انواع مختلف کابل اتصال و شبکه کابل و اتصال بین شبکه معمولاً از نوع گیره‌ای یا جوش برنجی است .

۱۵-۷ . طراحی سیستم زمین پست (KV) ۲۳۰/۶۳ کرج

۱- تعیین سطح مقطع هادی زمین

$$A_C = I\sqrt{\frac{\frac{t_C \propto_r \rho_r \times 1\circ^4}{TCAP}}{L_n\left[1+\left[\frac{T_m - T_a}{K_o + T_a}\right]\right]}}$$

با توجه به جدول ۳ :

نوع هادی : Aluminum Alloy Wirt 5005

$$\propto_r = 0/00353 \quad K_o = 263 \quad T_n = 660\overset{\circ}{C} \quad \rho_r = 3/2226(\mu\Omega/cm)$$

$$TCAP = 2/598 \quad (J/cm^3/\overset{\circ}{C}) \quad , \quad I = 20KA \times \frac{70}{100}$$

$$t_C = 1\text{sec} \quad , \quad T_a = 45\overset{\circ}{C}$$

$$\Rightarrow A_C = 126 \times \frac{70}{100} \approx 88.43 \approx 90^{mm^2} \quad A_C = 20 \times \frac{70}{100}\sqrt{\frac{\frac{1 \times 0.00353 \times 3.2226 \times 10^4}{2/598}}{L_n\left[1+\left[\frac{660-45}{263+45}\right]\right]}}$$

۲- تعیین حدود قابل تحمل ولتاژهای گام و تماس

$$E_{step50} = \left(R_B + 2(R_f - R_{mf})\right) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_S}} \qquad 0.03S \langle t_S \langle 3S$$

$$E_{touCL50} = \left(R_B + \frac{1}{2}(R_f + R_{mf})\right) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_S}} \qquad 0.03S \langle t_S \langle 3S$$

$R_B = 1000 \quad \Omega$ مقاومت بدن

با توجه به اینکه سطح پست توسط لایه با مقاومت زیاد مفروش نشده است. لذا داریم

$R_f = \frac{\rho}{0.32}$. طول گام : d_f

$R_{mf} = \frac{\rho}{2\pi d_f}$ $d_f = 1m$

$\rho = 120 \quad \Omega \cdot m$

$R_f = \frac{120}{0.32} = 375$ $t_S = 1.2 \quad s$

$$R_{mf} = \frac{120}{2 \times 3/14 \times 1} = 19.1$$

$$E_{step50} = \left(1000 + 2(375 - 19.1)\right) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_S = 1.2}} = 181.3\text{v}$$

$$E_{touch50} = \left(1000 + \frac{1}{2}(375 + 19.1)\right) \times \frac{0.116}{\sqrt{1.2}} = 126.76\text{v}$$

۳- تعیین مقاومت معادل سیستم زمین

$$R_g = \rho\left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \times A}}\left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20 \times A}}\right)\right]$$

طول زمین شبکه: (متر)140 $\quad L = (29+2)\times 140 + (24+2)\times 13 = 7278$

عرض شبکه زمین : (متر)113

$L = 7274m \quad , \quad \rho = 120\ \Omega\cdot m$

$$\begin{cases} n_A = \frac{140}{5} + 1 = 29 \\ n_B = \frac{113}{5} + 1 = 23/6 \approx 24 \end{cases}$$

$A = 140 \times 113 = 15820\text{mm}^2$, , = 0/8 //8 //

$$R_g = 120\left[\frac{1}{7274} + \frac{1}{\sqrt{20\times 15820}}\left(1 + \frac{1}{0.8\sqrt{20\times 15820}}\right)\right]$$

$n = \sqrt{n_A n_B} = 26.382$

$\Rightarrow R_g = 0.23\Omega$

۴- تعیین I_G $\quad I_G = C_p D_f S_f (3I_o)$

$$S_f = \frac{I_g}{3I_o} = \frac{14000}{20000} = 0.7 \quad , \quad D_f = 1 \quad , \quad C_P = 1.2$$

$$I_G = 1.2 \times 1 \times 0.7 \times 20 = 16.8$$

$$I_G = 16.8 \quad KA$$

۵- محاسبه افزایش پتانسیل زمین

$$GPR = I_G R_g = 16.8 \times 0.23 = 3.864KV$$

۶- محاسبه ولتاژهای گام و مش

ولتاژ مش $= E_m = \rho K_m K_i I_G / L$

ولتاژ گام $= E_s = \rho K_s K_i I_G / L$

$L = 7278^m, \qquad I_G = 16/8KV, \qquad \rho = 120\Omega\cdot m$

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

$$n = \sqrt{29 \times 24} = 26/382 \quad , \quad h = 0/8$$

چون هم در اطراف و هم در داخل شبکه زمین میله های زمین وجود دارند: $K_{ii} = 1$

قطر هادیهای شبکه زمین $d = 2\sqrt{\frac{A_C}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{90}{3/14}} = 10/7^{mm} = 0/0107m$

$$D = 5 \quad , \quad K_h = \sqrt{1+h} = \sqrt{1+0/8} = 1/342$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi}\left[L_n\left(\frac{(5)^2}{16\times 0.8\times 0.0107} + \frac{(5+2\times 0.8)^2}{8\times 5\times 0.0107} - \frac{0.8}{4\times 0.0107} \right) \right.$$

$$\left. + \frac{1}{1.342} L_n\left(\frac{8}{\pi(2\times 26.382 - 1)} \right) \right] = 0.535$$

$$K_i = 0.656 + 0.172n = 0.656 + 0.172 \times 26.382 \Rightarrow K_i = 5.1937$$

$$K_S = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D}(1 - 0/5^{n-2}) \right] \quad , \quad 0/25m \langle h = 0/8 \langle 2/5m$$

$$K_S = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2\times 0/8} + \frac{1}{5+0/8} + \frac{1}{5}(1 - 0/5^{26/382-2}) \right] = 0/3175$$

$$E_m = 120 \times 0/535 \times 5/1937 \times 16/8 \times \frac{1}{7278} = 769/7V$$

برای محاسبه ولتاژ گام داریم:

$$n = \max(n_A, n_B) = (29,24) = 29$$

$$K_i = 0/656 + 0/172 \times 29 = 5/644$$

$$K_S = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2\times 0/8} + \frac{1}{5\times 0/8} + \frac{1}{5}(1\times 0/5^{(29-2)} = 0/342 \right.$$

$$E_S = 120 \times 0/342 \times 5/644 \times 16/8 \times \frac{1}{7278} = 0/535V$$