

صلال الفضل

سلیمان بن علی

[www.power2.ir](http://www.power2.ir)

[reza@power2.ir](mailto:reza@power2.ir)



# طراحی سیستم زمین در پستهای فشار قوی

محقق: محمد مهدی حامدی



## مقدمه

بسیاری از خطرات برای اشخاص توسعه ایکسیسات الکتریکی بر اثر ضعیف بودن سیستم اتصال زمین یا عدم وجود اتصال زمین تجهیزات الکتریکی به وجود می آید. یک سیستم فشار ضعیف زمین شده نسبت به یک سیستم زمین نشده حوادث کمتری برای کارکنان در بردارد. در یک سیستم زمین نشده با وجود متعادل بودن ولتاژ فازها، تماس عمدی یا اتفاقی با هر کدام از فازها ممکن است خطر شوک الکتریکی را خواهد داشت.

مادامی که یک اتصال به زمین (ارت فالت) روی یک فاز سیستم زمین نشده یا سیستم زمین شده رخ می دهد، شخصی که با یکی از فازهای دیگر سیستم و زمین تماس می گیرد. از دیگر خطرات عدم وجود سیستم اتصال زمین مناسب، خطر آتش سوزی و خسارت سنگین تجهیزات و تاسیسات است پس یکی از راههای پیشگیری از حوادث جانبی و تاسیساتی داشتن اتصال زمین مناسب می باشد.



## فصل اول

### انواع زمین کردن

#### 1- ارت یا زمین کردن

اتصال زمین یا ارت شامل یک اتصال مصنوعی برق به زمین است که مقاومت بسیار کمی برای عبور جریان دارد. در حقیقت کلمه زمین در کارهای برقی به زمین دارای پتانسیل صفر اطلاق می شود. وقتی که یک نقطه از شبکه‌زمین شود آن را تک زمینی و وقتی که در نقاط مختلفی زمین شده باشد، آن را چند زمینی می نامند. زمین کردن و یا ارت نمودن یک سیستم الکتریکی، فرآیند اتصال همه‌ی قطعات فلزی یا بدنه‌های فلزی دستگاههای الکتریکی (به غیر از هادی‌های اصلی مدار برق) به زمین می باشد و هدف از آننتقال هر نوع نشتشی انرژی الکتریکی در بدنه فلزی دستگاهها به زمین به منظور حفاظت جان کارکنان یا تجهیزات است.

#### 2- انواع زمین کردن یا ارت

در تاسیسات برقی دو نوع زمین کردن (ارت) وجود دارد: زمین کردن حفاظتی و زمین کردن الکتریکی.

##### الف) زمین کردن حفاظتی

عبارت است از زمین کردن کلیه قطعات فلزی تاسیسات الکتریکی که در ارتباط مستقیم با مدار الکتریکی نیستند. این قسمت‌ها عبارتند از ستون‌ها و پایه‌های فلزی، درب‌ها و نرده‌های فلزی. زیرا در این قسمت‌ها در اثر عبور جریان عضلات منقبض می شود و برای اشخاص خطرناک خواهد بود. بدین منظور و بازیجلوگیری از هر حادثه‌ای باید زمین حفاظتی به نحوی تاسیس گردد که قسمتی از مسیر جریان که توسط تماس اعضای بدن انسان اتصالی می شود، دارای تفاوت پتانسیل زیاد نباشد.

شدت جریان این جریان بستگی به قدرت و نوع ارتباط شبکه با زمین دارد. بنابراین برای کاهش این خطرات مقاومت مسیر جریان باید کم باشد.

عامل موثر خطر برای انسان یا هر موجود زنده ای جریان می باشد که البته وجود اختلاف پتانسیل است که باعث عبور این جریان می گردد.

در صورت اتصال یک سیم برق دار به بدن هادی دستگاه الکتریکی، اختلاف پتانسیلی بین بدن دستگاه و زمین به وجود می آید و اگر شخصی بدن دستگاه را لمس نماید، بین محل تماس بدن او به دستگاه و زمین ولتاژی به نام ولتاژ تماسی ایجاد می شود. که در صورت بیشتر بودن آن از 50 ولت خطرناک خواهد بود. آزمایش ها نشان داده است که جریان های تا 0/02 آمپر برای انسان قابل تحمل است . جریان های تا حدود 0/05 آمپر خطرناک و جریان های از 1/0 آمپر به بالا خطرگانی دارد.

## ب) زمین کردن الکتریکی

یعنی زمین کردن نقطه ای از دستگاه الکتریکی که جزیی از مدار الکتریکی است ، مثل زمین کردن مرکز اتصال ستاره، زمین کردن سلف زمین ، زمین کردن نقطه صفر ژنراتور به کمک مقاومت و یا بدون مقاومت وزمین کردنیک طرف سیم پیچی زکوندر ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ وغیره.

در زمان محاسبه تاسیسات زمین الکتریکی باید شرایط زیر در نظر گرفته شود:

الف) ماکریم جریانی که در موقع اتصال زمین شبکه، از آن می گذرد ، مبنای قرار داده شود. این جریان در شبکه ای که نقطه ی صفر ستاره آن مستقیماً زمین شده است برابر است با جریان اتصال زمین شبکه و در صورتیکه نقطه ی صفر ستاره ای آن توسط مقاومت محدود کننده ای جریان، زمین شده باشد ، جریان زمین برابر است با جریانی که از سلف زمین می گذرد. جریان سلف زمین در یک پیچکی که خوب و متناسب با جریان کاپاسیتیو زمین شبکه سنجیده و محاسبه شده باشد برابر است با جریان کاپاسیتیو اتصال زمین شبکه.



ب) در شبکه و تاسیساتی که دارای ولتاژهای مختلف می باشند ولیاز یک زمین مشترک الکتریکی استفاده می شود ، باید زمین برای شبکه ای که جریان نقطه ای ستاره‌ی آن ماکزیمم واز بقیه بزرگتر است ، محاسبه شود.

ج) در صورتیکه در تاسیسات زمین الکتریکی در موقع اتصال زمین شدن شبکه ، ولتاژ زمین بزرگتر از 125 ولت شود، باید سیم های رابط به زمین الکتریکی را عایق و در مقابل تماس سهولی و یا عمدی محافظت کرد.

در هر صورت باید تاسیسات زمین طوری محاسبه و طرح شوند که به هیچ وجه باعث به خطر افتادن اشخاص نشوند . به این منظور باید قسمتهایی که ولتاژ زیاد می گیرند محدود و محصور شوند و یا اینکه از به وجود آمدن ولتاژ گام بیشتر از 60 ولت با استفاده از وسایل مختلف جلوگیری شود.

همان طور که گفته شد تاسیسات زمین الکتریکی را باید طوری ساخت که اختلاف سطح زمین کننده از 125 ولت تجاوز نکند . این اصل البته در صورتی امکان پذیر است که جریانی که از نقطه ای صفر ستاره بر روی تاسیسات میل زمین عبور می کند از حدود 100 آمپر بیشتر نشود. این موضوع فقط در موقع زمین کردن نقطه ای ستاره ژنراتور مراعات می شود، آن هم به خاطر این که جریان زیاد اتصال بدنه ، باعث سوزاندن آهن دندانه های استاتور می گردد. ولی به هر حال جریان های اتصال زمین در شبکه های کمپانزه شده ممکن است گاهی از 100 آمپر نیز تجاوز کند و جریان اتصال زمین در شبکه هایی که صفر ستاره ای آن مستقیماً زمین شده همیشه از 100 آمپر بیشتر است زیرا در حقیقت چنین اتصالی تشکیل یک اتصال کوتاه یک قطب را می دهد و متناسب با شدت جریان و مقاومت زمین، اختلاف سطح میل زمین ممکن است از چند صد ولت و حتی چند هزار ولت هم تجاوز کند. این اختلاف سطح زیاد البته مدت زیادی پا بر جا نمی ماند زیرا حتماً رله ای جریان زیاد شبکه ، جریان اتصال کوتاه یک قطب را در زمانی کوتاه تر از یک ثانیه قطع خواهد کرد.

ارتباط زمین های مختلف



در زمان طرح پروژه تاسیسات فشار قوی اغلب این سوال پیش می آید که چرا باید دو زمین مجزا ایجاد کرد؟ در چه حالت می توان تاسیسات زمین های مختلف را به هم وصل کرد؟ و در چه موقع باید تاسیسات زمین الکتریکی از زمین حفاظتی کاملاً جدا باشد؟

در یک پست فشار قوی که دارای یک شبکه فشار ضعیف نیز هست چند نوع زمین لازم است؟

زمین حفاظتی فشار قوی ، زمین حفاظتی فشار ضعیف ، زمین الکتریکی فشار قوی و زمین الکتریکی فشار ضعیف.

آیا واقعاً 4 نوع زمین مجزا لازم است؟ یا می توان فقط یک زمین درست کرد و تمام قسمت هایی که باید زمین شوند به آن وصل کرد؟ به این سوال ها می توان این طور پاسخ داد:

اگر وصل کردن زمین های مختلف موجب پیش آمدن خطراتی می شود که احتمالاً در موقع جدا کردن آن ها وجود ندارد، بهتر است زمین ها از هم جدا باشند. در غیر این صورت دلیلی برای جدا کردن آن ها وجود ندارد . زیرا زمین کردن به خاطر حفاظت اشخاص و درست کار کردن دستگاه های الکتریکی است.

VDE ماکزیمم اختلاف سطح تماسی دراز مدت را در تاسیسات با اختلاف سطح زیاد را 125 ولت و در تاسیسات با فشار کم را 65 ولت تعیین کرده است.

شاید علت انتخاب دو ولتاژ مختلف به خاطر این باشد که اشخاصی که در تاسیسات فشار قوی کار می کنند به خطرات برق آشنایی کامل دارند، در صورتی که مردمی که سطح کم کار می کنند ممکن است فاقد تخصص الکتریکی کافی باشند. در شرایط کار نیز برای آن ها متفاوت است . به همین دلیل VDE در شبکه فشار ضعیف مشروط بر این که شبکه از نیروگاه خارج نشود و به مصرف عمومی نرسد ولتاژ تماسی 125 ولت را نیز مجاز دانسته است.

برای ارتباط زمین های مختلف شرایطی در نظر گرفته شده است که ابتدا آن ها را شرح می دهیم:

نیروگاه ها و پست های فشار قوی را مراکز نیرو و تاسیسات 1 کیلو ولت به بالا را فشار قوی و تاسیسات 1 کیلو ولت به پایین را فشار ضعیف می نامیم.

(1) زمین کردن در مراکز نیرو که انرژی را فقط به صورت فشار قوی انتقال می دهند و شبکه ی فشار ضعیف آن فقط برای مصرف داخلی خود نیروگاه است.

الف) زمین حفاظتی تاسیسات فشار قوی و فشار ضعیف بهتر است به هم وصل نشوند. در تبدیل گاه ها و پست های ترانسفورماتور داخلی و کلید خانه ها و اتاق فرمان و غیره اغلب تابلوهای فشار قوی و فشار ضعیف در کنار هم قرار می گیرند و تماس با آن ها در آن واحد توسط اشخاص و متخصصان مربوط اجتناب ناپذیر است. اگر چنین تاسیساتی دارای دو زمین کاملاً مجزا از یکدیگر باشند و این تماس دو جانبه در لحظه ای باشد که یکی از این دو تاسیسات اتصال بدن پیدا کرده است، جریان خطرناکی از بدن انسان عبور می کند، به خصوص اگر دست تماس گیرنده مربوط و تمامی اختلاف سطح 125 ولت در عبور جریان موثر باشد. در صورتی که ارتباط دو زمین حفاظتی مجزا از این خطر جلوگیری می کند.

البته در صورتی که در مثال فوق تابلوهای مربوط به فشار قوی و فشار ضعیف طوری قرار گیرند که امکان تماس در آن واحد با هر دوی آن ها وجود نداشته باشد، جدا بودن زمین حفاظتی نیز باعث بروز خطری نخواهد شد.

به طور مثال اگر تابلوی تاسیسات 380/220 ولت در محلی قرار گیرد که در دسترس تابلوی  $20\text{ kV}$  نباشد می توان حتی از روش صفر کردن نیز برای حفاظت اشخاص استفاده کرد. البته باید سعی شود که هیچ ارتباط ناخواسته ای بین آن ها توسط ستون های فلزی ساختمان و یا فونداسیون و اسکلت فلزی ساختمان یا وسایل فلزی دیگر موجود در ساختمان به وجود نیاید و به طور کلی یک جدایی مطلق بین سیم صفر و زمین حفاظتی تاسیسات  $20\text{ kV}$  برقرار باشد.

ب) زمین حفاظتی تاسیسات فشار قوی می تواند با زمین الکتریکی تاسیسات فشار ضعیف متصل شود و یک واحد را تشکیل دهد، به شرطی که تاسیسات فشار ضعیف فقط مصرف داخلی را تامین کند.

این موضوع شامل شبکه 380/220 ولت مصرف روشنایی محوطه و مصارف الکتریکی ساختمان ها و دفاتر و کلیه تاسیسات داخل محوطه نیروگاه یا پست نیز می شود. اصولا در تمام تاسیسات فشار قوی دریک پست که فقط به منظور تامین مصرف داخلی و روشنایی خود از شبکه فشار ضعیف استفاده می کنند، جدا کردن زمین الکتریکی از زمین حفاظتی طرف فشار قوی آنچنان مفهوم و معنایی که در پست های فشار قوی تغذیه شهری دارد نخواهد داشت. زیرا وجود پایه های فلزی، لوله های آب رسانی و اسکلت فلزی و اصولا این همه آهن که در ساختمان و دکل ها و غیره در محوطه نیروگاه یا پست بکار می رود میل فرمان پتانسیل برای یک زمین مشترک دارند و باعث می شوند که تقسیم پتانسیل در محوطه به طور یکنواخت انجام گیرد. لذا بهتر است برای همه تاسیساتی که در داخل محدوده پست هستند وارتباط آن ها در ولتاژ زیر 1 kv با شبکه شهری قطع است، فقط از یک زمین استفاده شود. زیرا وقتی شبکه فشار قوی اتصال زمین پیدا کند، در هر حال اختلاف سطح میل زمین بالا می رود. با این تفاوت که در زمین مشترک و به هم پیوسته تفاوت پتانسیل خطرناک به وجود نمی آید و به هیچ وجه باعث ایجاد فشار گام ویا فشار تماس غیر مجاز در داخل محوطه نمی شود. به همین جهت در خیلی از نیروگاه های قدیمی حتی سلف زمین به زمین حفاظتی نیروگاه متصل است، بدون اینکه تا به حال اتفاق ناگواری رخ داده باشد.

ج) زمین الکتریکی سلف زمین و یا هر مقاومت دیگری را که به مرکز ستاره وصل است، می توان به زمین حفاظتی تاسیسات وصل کرد، مشروط بر آن که ولتاژ میله زمین در موقع اتصال زمین شبکه و عبور جریان از سلف از 125 ولت تجاوز نکند. شرط 125 ولت برای ولتاژ میله زمین در این حالت استثنایی ضروری است. زیرا وقتی نقطه صفر شبکه با مقاومت یا سلف محدود کننده جریان به زمین وصل است هر اتصال زمینی مدت ها ادامه پیدا می کند و زمان عبور جریان از زمین طولانی می شود. اما همان طور که گفته شد در پست های فشار قوی تقسیم پتانسیل در سطح

محوطه اگر از اختلاف سطح میله از 125 ولت تجاوز نکند ، نمی تواند اختلاف سطح گام و تماس غیر مجاز در پست به وجود آید.

د) زمین الکتریکی تاسیسات فشار قوی را نمی توان با زمین الکتریکی تاسیسات فشار ضعیف به هم وصل کرد ، مگر شرایط 2 و 3 منظور شده باشد.

در مراکز نیرو که شبکه‌ی فشار ضعیف آن فقط به منظور مصرف داخلی به کار برده می شود ، میتوان زمین الکتریکی رابدون هیچ قید و شرطی به زمین حفاظتی وصل کرد ، زیرا در هر حال زمین الکتریکی هم برای ولتاژ 125 ولت محاسبه و طرح می شود. لذا واضح است که اگر اتصال زمین الکتریکی فشار ضعیف با زمین الکتریکی فشار قوی نیز باعث نشود که اختلاف سطح میله از 125 ولت تجاوز کند ، ارتباط این دو زمین نیز بلا مانع و بی خطر است. در نتیجه می توان گفت که اصولا در تمام پستهای فشار قوی که سیم فشار ضعیف آن از محوطه‌ی پست خارج نمی شود ، فقط یک زمین مشترک وجود دارد.

دلیل زمین کردن سیم پیچی ترانسفورماتور یا ژنراتور

این نوع زمین کردن به خاطر کار صحیح دستگاه‌ها و جلو گیری از ازدیاد فشار الکتریکی فازهای سالم نسبت به زمین در موقع تماس یکی از فازها با زمین صورت می گیرد؛ مثل زمین کردن سیم نول در شبکه و مرکز اتصال ستاره ترانسفورماتورهای سه فاز.



## فصل دوم

### مقاومت زمین و روش های کاهش آن

#### 1- مقاومت اتصال زمین

مقاومت اتصال زمین اثر بسیار مهمی بر تاسیسات الکتریکی دارد . او لا به دلایل اینی، بیشتر تاسیسات الکتریکی به زمین اتصال یا ارت شده اند؛ ثانیا بعضی از خطوط انتقال جریان مستقیم از زمین به عنوان هادی برگشتی استفاده می کنند تا جریانی حدود چند آمپر را تحمل کنند؛ ثالثا چون زمین هادی نسبتا خوبی است یک مسیری برای جریانهای نشتشی مختلف ایجاد می کند.

مقاومت مخصوص خاک بین 5 تا 5000 اهم است و به ترکیبات آن ( خاک رس ، شن ، گرانیت وغیره ) و درجه رطوبت بستگی دارد. مثلا در بهار مقاومت مخصوص خاک مرطوب ممکن است 50 اهم بر متر و در طول تابستان که خاک خشک می شود به 300 اهم بر متر برسد. مقاومت مخصوص خاک با درجه حرارت نیز تغییر می کند؛ هر چه درجه حرارت به نقطه انجماد نزدیک می شود ، مقاومت مخصوص خاک به آهستگی افزایش خواهد یافت.

#### 2- روش های اتصال زمین

##### 2-1 انواع اتصال زمین

الف) الکترودهای میله ای فولادی یا کاپرولد با حداقل قطر 15 میلی متر

ب) الکترودهای نواری یا تسمه

- باید در عمق 0/5 تا 1 متری سطح زمین قرار گیرد.

- تسمه فولادی قلع اندود با ضخامت 3 میلی متر مربع و سطح مقطع 100 میلی

مترمربع



-تسمه مسی دارای حداقل مقطع 50 میلی متر مربع ضخامت  $2\text{ میلی متر}$

ج) سیم تاییده

- سیم فولادی به هم تاییده (رشته ای) قلع انود که حداقل قطر هر کدام از رشته ها

2/5

میلی متر و سطح مقطع کل سیم 95 میلی متر مربع باشد.

د) الکترود صفحه ای

- باید به طور عمودی در زمین قرار گیرد و فاصله لبه بالایی صفحه تا سطح زمین

حداقل یک متر باشد.

- صفحه آهنه قلع انود شده که سطح هر طرف آن  $0/5\text{ متر مربع}$  و ضخامت آن  $3$

میلی متر باشد.

- صفحه مسی با ضخامت حداقل  $2\text{ میلی متر}$  و سطح هر طرف آن  $0/5\text{ متر مربع}$ .

ه) استفاده از سیم لوله کشی آب

- چون معمولا برای جلو گیری از پوسیدگی لوله های آب رسانی ، آنها را عایق می

کنند و سپس با استفاده از بتن روی آنها را می پوشانند لذا با خاک در ارتباط نمی

باشد. بنابراین موقعی که به شبکه آب رسانی ارت می کنید باید مراقب باشید که روی

سیمان یا لوله های عایق شده یا لوله های فرسوده ارت نکرده باشید که این قبیل

اتصال زمین بی ارزش است.

## 2-2-استفاده از الکترود میله ای

تجربه نشان داده است که مس بهترین فلز برای حفاظت از فاسد شدن میله های

فولادی زمین می باشد. البته برای اینکه میله برای مدت طولانی مثلا 30 سال دوام

بیاورد ضخامت پوشش مسی نبایستی از  $0/25\text{ میلی متر}$  کمتر باشد. پوشش مسی باید

به طریق جوش مولکولی انجام شده باشد تا رطوبت بین آن و میله رسوب نکند و

باعث فساد آن نشود.

تا حد امکان باید میله به صورت عمده در زمین قرار گیرد. اما اگر سنگ یا مواد زیر زمینی دیگر مانع از این کار شود، می توان آن را با هر زاویه که از 60 درجه نسبت به حالت عمودی تجاوز نکند، در زمین فرو برد. طبق استاندارد وزارت نیرو طول میله کاپرولد ۱/۵ متر و قطر آن ۱۶ میلی متر است و باید به فاصله حدود ۵۰ سانتی متر از تیر و به اندازه حدود ۲۰ سانتی متر پایین تر از سطح زمین در خاک قرار گیرد تا از ایجاد ولتاژهای خطرناک در سطح زمین اجتناب شود. خاک اطراف میله باید به خوبی کوییده شود تا مقاومت اتصال زمین کاهش یابد. معمولاً اتصال سیم زمین به میله به وسیله یک بست برنزی سخت انجام می گیرد و برای سیم زمین باید از سیم مسی ۲۵ یا حداقل ۱۶ میلی متر مربع استفاده شود. بهتر است که سیم زمین در سطح زمین روپوشدار باشد یا اینکه در یک لوله عایق محافظت شود تا ایجاد برق گرفتگی ننماید. همچنین زمانی که برق گیرها خراب می شوند سیم ارت برق گیر، برق دار است که باید حتماً پوشیده باشد.

زمین اطراف میله را می توان به چندین پوسته یا لایه استوانه ای پشت سر هم تشییه کرد که ضخامت پوسته آن یکسان است. هر چه فاصله استوانه ها از میله بیشتر شود، سطح مقطع آن ها بیشتر و در نتیجه مقاومت آنها کمتر می گردد. آزمایش ها نشان داده که ۹۰ درصد مقاومت الکتریکی اطراف یک میله اتصال زمین معمولاً در محدوده شعاعی ۱/۸ تا ۳ متری میله ایجاد می شود.

## 3- روشهای کاهش مقاومت زمین

الف) استفاده از میله های طویل برای رسیدن به لایه مرطوب زمین: برای این کار معمولاً از میله های ۱.۵ یا ۲.۴ و یا ۳ متری متصل به هم استفاده می شود.

ب) استفاده از میله های موازی: میله های اتصال زمین موازی مانند یک مدار موازی عمل می کنند و مقاومت معادل آنها از همان قانون مقاومت های موازی تبعیت می کند. از این روش بیشتر در محل های سنگلاخی که نمی توان میله را در عمق زیادی نصب کرد استفاده می شود. حداقل فاصله بین میله ها باید از ۲ برابر طول میله ها کمتر باشد. این روش از روش اول بهتر است زیرا نه تنها مقاومت زمین را کاهش می

دهد، بلکه باعث افزایش ظرفیت عبور جریان نیز می شود و می تواند جریانهای اتصال کوتاه بزرگتری را تحمل کند.

ج) استفاده از مواد شیمیایی : آب تنها بدون نمک های طبیعی نمی تواند هدایت الکتریکی مناسبی را مهیا نماید . الکترودهایی که در چاه های آب و نهر های آب خالص نصب می شوند مقاومت بالایی را ایجاد می کنند. جایی که افزودن آب موجب عدم ایجاد نتیجه مورد نظر خواهد شد. افزودن کلروسدیم (نمک معمولی ) کلرید کلسیم، کربنات سدیم یا سولفات مس تاکید شده است. نمک و خاک ذغال برای همین منظور نیز توصیه می شود. تقریباً 90 درصد مقاومت بین الکترود ها و زمین در شعاع 2 متری اطراف الکترود قرار دارد بنابراین چنانچه به علت وجود سنگ های سخت نتوانیم میله های اتصال زمین را در عمق زیادی قرار دهیم ، برای کاهش مقاومت زمین بهترین روش درمان شیمیایی می باشد. این مواد نباید به طور مستقیم با میله تماس داشته باشد تا فساد تدریجی میله به حداقل برسد. از این روش در صورتی استفاده می شود که دو روش دیگر را نتوان به کار برد زیرا مواد شیمیایی در اثر باران و تخلیه طبیعی در خاک از بین می رود.

## فصل سوم

### زمین کردن سیستم قدرت

اهمیت سیستمهای زمین با طراحی خوب، در عملکرد سیستمهای قدرت و تامین ایمنی اشخاص و اپراتورها نمایان می‌شود. متاسفانه عوامل و مشکلات بسیاری در طراحی یک سیستم زمین وجود دارد. ابتدا بر اساس تجربه و مدل‌های تحلیلی ساده، اولین راهنمای طراح سیستم‌های زمین پست برق در سال 1961 توسط استاندارد معرفی شد. این سند، به همراه دو تجدید نظر اساسی در سالهای 1976 و 1986، ابزارهای اساسی تحلیل و طراحی سیستمهای زمین پست برق بوده که در دسترس مهندسان پست برق می‌باشد.

استاندارد 80 معیار طراحی و رهیافتی را فراهم می‌سازد که باید در فرآیند طراح سیستم زمین در نظر گرفته شود. به علاوه این استاندارد معادله‌های طراحی سیستمهای زمین ساده را تهیه نموده است افزایش پیچیدگی و آمپراژ بالای جریان های اتصال کوتاه سیستم‌های قدرت امروزی باعث شده تا نیاز به طراحی سیستمهای زمین به روش‌های تحلیلی بیشتر محبوس باشد. اخیراً روش‌های تکامل یافته متکی بر کامپیوتر ایجاد شده‌اند.

#### 1- مشکلات اساسی و راه حل‌ها

معیارهای عمده طراحی سیستم زمین پست برق عبارتند از (الف) ایمنی کار برای شخص واقع در داخل و یا نزدیکی پست برق و (ب) به حداقل رساندن افزایش پتانسیل زمین که نتیجه آن کاهش وسایل حفاظتی مورد لزوم برای دستگاه‌های مخابراتی می‌باشد. خطراتی که متوجه شخص است، عمدتاً ناشی از ولتاژهای تماس، گام و انتقالی است که در موقع اتصال کوتاه سیستم قدرت به هم پیوسته حاصل می‌شود حفاظت مدارات مخابراتی به افزایش پتانسیل زمین ماکزیمم و ولتاژ انتقالی احتمالی بستگی دارد.

در حالت کلی سیستمزمین باید برای موارد زیر طراحی شوند :

1) افزایش پتانسیل زمین پست برق را برای هر نوع اتصال کوتاه در مقدار قابل قبولی محدود سازد.

2) ولتاژهای تماس و گام انتقال داخل و یا مجاور پست برق را در مقادیری که کمتر از حد خطرناک برای انسان است ، محدود کند.

دو هدف بالا به یکدیگر ارتباط دارند. ولتاژهای تماس ، گام و انتقال با افزایش پتانسیل زمین متناسب هستند. ضریب تناسب به چگونگی طرح سیستم زمین بستگی دارد.

### 1-1 رفتار سیستم توسط پارامترهای زیر تعیین می گردد

1) مقاومت مخصوص خاک در بر گیرنده هادی های زمین

2) مساحت شبکه زمین و شکل هندسی آن

3) ساختمان و پارامترهای سیستم قدرت به هم پیوسته ، شامل نوع اتصالات ترانسفور ماتور، سیم های زمین هوايی ، زمین دکل انتقال ، سیم های کانترپويز و کابل ().

یک پست برق برای خودش شبکه زمین ، میله های زمین و غیره را دارد. دکل ها و تیرهای خط انتقال و همچنین خط توزیع ، سیستم زمین خود را خواهند داشت . کانتر پويز ، میله های زمین و بات اسپرت وغيره در حالت کار عادی، پتانسیل زمین نزدیک صفر دارند.

جريان الکتریکی جاری شده به داخل زمین ، موجب افزایش پتانسیل زمین و توزیع پتانسیل در سطح زمین می گردد. توزیع پتانسیل در زمین ، ولتاژهای تماس ، گام انتقالی را تعیین می کند. سیستم زمین وقتی این نامیده می شود که ولتاژهای تماس ، گام و انتقالی معیار مفروض این را تامین کنند.

بنابراین در بررسی زمین باید به مسائل زیر توجه داشت :

1) تعیین کردن مقاومت مخصوص خاک

2) محاسبه افزایش پتانسیل زمین ماکزیمم

(3) محاسبه ولتاژهای تماس، گام و انتقالی

(4) ارزیابی ایمنی

در یک سیستم قدرت و پارامترهای سیستم زمین معلوم، برای تعیین ولتاژ تماس و گام ماکزیمم که در شرایط مغایر سیستم اتفاق می‌افتد، یک بررسی می‌تواند انجام گیرد که شامل آزمایش‌های ویژه زیر است:

مرحله اول: مقاومت مخصوص خاک اطراف پست برق را اندازه گیری کنید.

مرحله دوم: اندازه گیری مقاومت مخصوص خاک را برای تعیین پارامترهای خاک بررسی کنید.

مرحله سوم: اطلاعات مربوط به سیستم قدرت به هم پیوسته را جمع آوری و آماده کنید.

مرحله چهارم: یک طرح مقدماتی برای شبکه زمین پست برق فرض کنید.

مرحله پنجم: امپدانس تمام سازه‌های زمین سیستم را حساب کنید مثل:

- مقاومت زمین پست برق

- مقاومت پای دکل

مرحله ششم: بررسی جزئیات سیستم زمین پست برق را برای تعیین مقاومت زمین، ولتاژ تماس ماکزیمم و ولتاژ گام ماکزیمم بر حسب درصدی از افزایش زمین انجام دهید.

مرحله هفتم: بدترین نوع اتصال کوتاه و نوع آن را مشخص کنید و با محاسبه ماکزیمم جریان زمین (با افزایش پتانسیل زمین ماکزیمم) را به دست آورید.

مرحله هشتم: ارزیابی ایمنی را انجام دهید. در حالت خاص ولتاژ تماس و گام ماکزیمم را بر حسب ولتاژ محاسبه کنید. تعیین کنید، آیا این مقادیر معیار ایمنی فرض شده را تعیین می‌کند؟ اگر جواب مثبت است، کار در اینجا خاتمه می‌یابد. در غیر این صورت طراحی باید اصلاح شود و مرحله‌های 6 و 7 و 8 تکرار گردد.

اولین مرحله در روش طراحی ، تعیین مدل خاک محوطه پست برق است. مدل خاک توسط چند آزمایش از محدوده کار می تواند بدست آید. از روش هایی که به طور گسترده استفاده می شود، روش میله کوبیده شده می باشد.

## 1-2 روش میله کوبیده شده

روش میله کوبیده شده همان طوری که از نام آن پیدا است، از قرار دادن یک میله زمین در داخل خاک شروع می شود. وقتی که طولی از میله زمین در خاک کار گذاشته شد، مقاومت میله زمین نسبت به زمین دور سنجیده می شود. اگر خاک یکنواخت باشد (با مقاومت مخصوص ثابت) به روش میله کوبیده شده، بدون توجه به طول میله کوبیده شده در خاک، مقاومت مخصوص خاک را خواهد داد. وقتی این روش در خاک غیر یکنواخت به کار گرفته می شود، مقاومت مخصوص ظاهری را تهیه می کند که با طول تماس میله زمین با خاک تغییر می کند. از این داده ها مدلی برای خاک یکنواخت بدست می آید که در قسمت بعد بررسی میگردد.

در مورد استفاده از روش میله کوبیده شده در زمین، محل قرار گرفتن پروب ولتاژ و جریان مهم است. در حالت خاص پروب جریان باید دورتر از میله کوبیده شده قرار گیرد، به طوری که میدان الکتریکی اطراف میله زمین تحت اثر حضور پروب جریان قرار نگیرد. همینطور پروب ولتاژ در نقطه ای باید قرار گیرد که ولتاژ آن تقریباً برابر صفر باشد، یعنی نقطه ای که ولتاژ آن تحت تاثیر حضور میله زمین و پروب جریان قرار نگیرد.

## 2- اندازه گیری مقاومت مخصوص خاک

اندازه گیری مقاومت مخصوص حوزه کار خاک می تواند به صورت مدل خاک تبدیل شود. این محاسبات در حالت کلی با کامپیوتر انجام می شود. چندین برنامه کامپیوترا تجارتی وجود دارد که داده های حوزه کار را به صورت مدل خاک تعییر میکند. این برنامه (SOMIP) است. (برنامه تفسیر اندازه گیری مخصوص خاک) برنامه (SOMIP) به طور موثر مهترین جنبه های عملی مسئله را بیان می کند که عبارتند از :

- (الف) این بیان از هنر تحلیل سیستم زمین می تواند با مدل دو لایه ای همراه باشد.
- ب) خاک واقعی تقریبا هرگز از دولایه با مقاومت مخصوص ثابت روی هم به وجود نمی آید. مقاومت مخصوص با عمر خاک تغییر می کند، انفصال موضوعی و غیره وجود دارد و در محوطه یک پست برق بزرگ، مقاومت مخصوص خاک یک قسمت ممکن است، با قسمت دیگر متفاوت باشد.
- ج) سیستم های اندازه گیری تجاری موجود، از پروب های محدود به شکل های خاص در اندازه گیری مقاومت مشخص استفاده می کنند. از اندازه گیری های مقاومت، مقاومت مخصوص خاک را باید استخراج کرد.

## 1-2 محاسبه مقاومت های زمین

همان طوری که یا د آور شده، مهمترین پارامتر طراحی سیستم زمین ، افزایش پتانسیل زمین است. از آنجایی که افزایش پتانسیل زمین، بیشتر به مقاومت زمین وابسته است، بررسی افزایش پتانسیل زمین به داشتن مقاومت زمین نیاز دارد. در ابتدای کار طرح یک سیستم زمین نامعلوم می باشد. لازم است که یک طرح مقدماتی از سیستم زمین فرض شود و این طرح بررسی گردد. در این نقطه از فرآیند طراحی باید تشخیص داده شود که طرح مقدماتی وهمچنین طرح نهایی کم و بیش با وسعت ملک پست برق محدودیت پیدا می کند. مقاومت زمین در مرحله نخست به مقاومت مخصوص خاک و مساحت سیستم زمین بستگی دارد. یک عبارت تقریبی برای مقاومت شبکه زمین برابر است با

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

در اینجا ( $\rho$ ) مقاومت مخصوص و ( $A$ ) سطحی است که با سیستم زمین پوشانیده می شود. سایر تغییرات طراحی ، مثل اضافه شدن میله های زمین یا تعداد بیشتر هادی موازی ، تاثیر محدودی در مقاومت زمین دارند. بنابراین به طور مقدماتی این معادله ،

برای تخمین مقاومت کافی است. علاوه بر محاسبات اولیه مقاومت زمین پست برق مقاومت زمینت تیرهای توزیع برق ، دکل های خط انتقال و غیره باید محاسبه گردد.

## 2-2 افزایش پتانسیل زمین ماقزیم

برای اندازه گیری افزایش پتانسیل زمین ،دو پارامتر اصلی که در افزایش پتانسیل زمین موثر است را در نظر می گیریم. افزایش پتانسیل زمین ابتدا توسط پارامترهای مدارهای انتقال و ترانسفورماتورها ، تولید ، محل و نوع عیب و امپدانس زمین تعیین می گردد. در حالت کلی ، اتصال کوتاه خط به خط یا اتصال کوتاه سه فاز باعث افزایش پتانسیل زمین اساسی نمی شوند.

## 3-2 انواع اتصال کوتاه هایی که سبب افزایش پتانسیل زمین می شوند ، عبارتند از :

(الف) اتصال کوتاه های یک خط به زمین

(ب) اتصال کوتاه های دو خط به زمین

تعیین افزایش پتانسیل زمین ماقزیم مهم است. در یک سیستم معلوم ، یک اتصال کوتاه در یک محل خاصی وجود دارد که سبب افزایش ولتاژ زمین ماقزیم در سیستم زمین مورد نظر

می شود. این حالت اتصال کوتاه (نوع اتصال کوتاه و محل آن ) بدترین حالت اتصال کوتاه خواهد شد. تصور تعیین بدترین حالت اتصال کوتاه ساده است.

باید تمام اتصال کوتاههای احتمالی یک سیستم قدرت را در نظر گرفت. بعنوان مثال اتصال کوتاه های یک خط و یا دو خط به زمین داخل پست برق مورد نظر و اتصال کوتاههای مشابه در تمام طول مدارهای انتقال متصل شده به پست برق را باید در نظر گرفت. در هر حالت اتصال کوتاه، افزایش پتانسیل زمین باید محاسبه شود. بدترین حالت آن است که افزایش پتانسیل زمین ماقزیم را نتیجه دهد . این روش از نظر محاسباتی مشکل و فقط توسط کامپیوتر ممکن است.

## 4-2 بحث در مورد افزایش پتانسیل زمین

در این قسمت عوامل اساسی موثر در افزایش پتانسیل زمین را مورد بررسی قرار می دهیم. مساله کاملاً پیچیده به نظر می آید. مسایل خاص راه حل های ویژه کامپیوترا نیاز دارند.

برای این کار مدل های کامپیوترا وجود دارد. به عنوان مثال برنامه (SMECC)، افزایش پتانسیل زمین ماکزیمم یک پست برق معلوم را محاسبه می کند. در حالت خاص این برنامه بدترین حالت اتصال کوتاهی را تعیین می کند که افزایش پتانسیل زمین ماکزیمم را بوجود می آورد. این برنامه از یک الگوریتم جستجوگر استفاده می کند، که در دکلهای انتخاب شده خطوط انتقال متصل به پست برق اتصال کوتاه ایجاد می کند و یا در داخل پست برق (طرف فشار قوی و فشار ضعیف) اینکار را نجام می دهد. اتصال های مزبور بررسی می شوند و افزایش پتانسیل زمین شبکه زمین پست برق در صفحه نمایش کامپیوترا دیده می شود. اتصال کوتاهی که افزایش پتانسیل زمین ماکزیمم را نتیجه می دهد، به عنوان بدترین نوع اتصال کوتاه شناخته شده و نتایج تحلیل اتصال کوتاه گزارش می گردد. مدل کامپیوترا (SMECC) بر پایه روش تحلیل فاز مستقیم کار می کند. این برنامه میتواند سیستم هایی را مدل سازی کند که شامل هر تعدادی از وسایل زیر باشند:

الف) ژنراتورها

ب) بارهای الکتریکی

ج) زمین ها

د) ترانسفورماتورهای با اتصال مثلث - ستاره

ه) ترانسفورماتورهای با اتصال ستاره - ستاره

و) خطوط انتقال (یک مدار یا چند مدار)

ی) اتو ترانسفورماتور

بررسی افزایش پتانسیل زمین از مهمترین وظایف فرآیند طراحی سیستم زمین

می باشد که عبارتند از:

## الف) جستجوی ولتاژهای تماس و گام

وقتی که افزایش پتانسیل زمین برای سیستم زمین معلوم باشد، ولتاژهای تماس و گام می تواند با محاسبه تعیین شوند. این محاسبه به وسیله فرمول های ثابت شده و یا مدل های کامپیوترا می تواند انجام یابد. در هر دو حالت تعیین مقادیر ولتاژهای ماکزیمم گام و تماس مهم است. به علاوه یک جستجو برای تعیین نقاطی خاص که دارای خطر هستند، باید انجام گیرد.

## ب) تعیین ولتاژهای تماس و گام ماکزیمم

در طرح های معمول سیستم های زمین پست برق ، شبکه زمین تمام مساحت پست برق را در بر می گیرد و تا چند فوت پشت نرده های پست توسعه می یابد. معمولا شبکه زمین در 1 الی 3 فوتی زیر سطح زمین در خاک قرار داده می شود. احتمال دارد که شخص در جایی در داخل پست برق ایستاده باشد و در زمانی که بدترین حالت اتصال کوتاه اتفاق می افتد.

## 3- جستجوی نقاط خاص خطر ناک

در یک پست برق یا تاسیسات الکتریکی قدرت نقاطی ممکن است وجود داشته باشند که تحت شرایط مشخصی، خطر بالایی را از خود نشان بدهند. چنین نقاطی برای تاسیسات خاصی منحصر به فرد می باشند. یک چنین وضعی که معمولا شامل نقاط مخصوص خطر است، در نزدیکی نرده های مجاور دروازه پست برق اتفاق می افتد.

## بحث در مورد ولتاژهای تماس و گام

در این قسمت روش هایی را بررسی کرده ایم که توسط آنها میتوان ولتاژهای تماس و گام یک پست برق را تعیین کرد. همچنین به نقاط خاص خطر ناک اشاره شد. برای تحقیق دقیق به مدل های کامپیوترا نیاز می باشد. برای این منظور برنامه محاسبه مختلفی وجود دارد؛ این برنامه ها سیستمهای زمین مشروحه زیر را که از یک یا چند و یا هر ترکیبی از ساختمان زمین مقدماتی تشکیل شده باشد، می توانند تحلیل کنند.

الف) شبکه های زمین

ب) میله های زمین

ج) نرده ها

د) لوله های فلزی و غیره.

عناصر سیستم زمین ممکن است به یکدیگر متصل باشند و یا به صورت چند گروه که مستقیماً به هم متصل نیستند، باشند (زمین های متعدد). مدل کامپیوتری اطلاعات زیر را تهیه می کند.

الف) مقاومت تمام سیستم زمین

ب) ولتاژ تماس در یک نقطه و جهت مورد نظر

ج) ولتاژ گام در یک نقطه و جهت انتخاب شده

د) ولتاژ در نقاط شبکه ای مورد نظر

ه) ترسیم نمودار (نیم رخ)

و) ولتاژ در یک قطعه خط انتخاب شده

ز) ولتاژهای انتقالی به سازه های فلزی سیستم زمین که به شبکه زمین متصل نیستند

## 4- ارزیابی ایمنی

ارزیابی ایمنی روشنی است که تعیین می کند آیا ولتاژهای گام و تماس ماکزیمم محاسبه شده معیار ایمنی مفروض را رعایت می کند یا نه؟ معیار ایمنی مورد نظر ما، استاندارد شماره 80 است.

این معیار بر حسب جریانهای قابل تحمل بدن انسان تعریف می شود؛ یعنی مقدار جریان الکتریکی که اشخاص به طور متوسط بدون برق گرفتگی (یا احتمال رنج بردن از فیبرلاسیون بطنی) می توانند تحمل کنند. استاندارد 80 پیشنهاد می کند که جریان بدن از مقدار مجاز آن (جریان قابل تحمل بدن) که توسط فرمول زیر تعریف می گردد، نباید تجاوز کند.



$$I_{bt} = \frac{0.116 A}{\sqrt{t}}$$

که  $t$  (t) مدت زمان عبور جریان بر حسب ثانیه و A سطح جریان عبوری از بدن می باشد.

## 5 - تصحیح ولتاژهای تماس و گام

اغلب طرحهای مقدماتی سیستمهای زمین نمی توانند خواسته های دشوار استاندارد 80 را تامین کنند. در این حالت لازم است که طرح اصلاح گردد. به نحوی که مسائل مورد لزوم ایمنی را برآورده سازد. در حالت کلی، دو نوع اصلاح طرح می تواند انجام شود؛ یک نوع از اصلاح طرح باعث افزایش ولتاژ تماس و گام می گردد. در حالت خاص، ولتاژهای تماس و گام مجاز با قرار دادن یک لایه از مواد با مقاومت مخصوص زیاد (مثل خردک سنگ)، در روی سطح زمین می تواند افزایش داده شود، به طوری که تمام سطوح با ولتاژ تماس زیاد را پوشاند. این لایه شبیه یک مقاومت زیاد عمل میکند که در بین شبکه زمین برق دارو نقطه تماس انسان قراردارد بنابراین جریانی که از بدن انسان عبور می کند، محدود می شود. بنابراین برای جریان مجاز بدن شخص، ولتاژ تماس یا گامی که این جریان بدن را تولید خواهد کرد افزایش می یابد. معادله های زیر برای تعیین ولتاژ های تماس و گام جدید استفاده می شوند.

$$V = \frac{(0.116)(1.5C_p + 1000)}{\sqrt{t}}$$

$$V = \frac{(0.116)(6 C_p + 1000)}{\sqrt{t}}$$

که در آن  $\rho$  مقاومت مخصوص خاک و C فاکتور تصحیح بر حسب k می باشد.

فاکتور تصحیح به ضخامت لایه فوقانی، خورده سنگ یا هر مواد دیگر وابسته است و مقاومتها مخصوص نسبی خاک مایین لایه فوقانی و بقیه خاک با ثابت  $k$  تعریف می‌گردد.

$$k = \frac{P_s - P_e}{P_s + P_e}$$

در اینجا مقاومت مخصوص لایه فوقانی و مقاومت مخصوص خاک زیر لایه فوقانی است.

نوع دیگر از اصلاحات، کاهش دادن ولتاژهای تماس و گام در پست برق را مورد توجه قرار می‌دهد. در این حالت خاص، این اصلاحات می‌توانند به تنها‌ی در سیستم زمین و یا تمام سیستم قدرت انجام شوند.

#### 6- تغییرات در طرح سیستم زمین پست برق

این تغییرات شامل کاهش دادن اندازه خانه شبکه زمین، اضافه نمودن میله‌های زمین و غیره می‌باشد. این تغییرات به کاهش کوچکی در مقاومت زمین و کاهش اساسی در ولتاژهای تماس و گام (به صورت درصدی از افزایش پتانسیل) منتهی می‌گردد. از آنجایی که مقاومت زمین نوعاً کاهش می‌یابد افزایش پتانسیل زمین ماکزیمم با این تغییرات به طور جزئی کم می‌شود.

تغییرات در طرح مدارهای انتقال متصل به پست برق تحت مطالعه این تغییرات ممکن است شامل موارد زیر باشند:

- افزایش اندازه سیم حفاظ هوایی (خطوط انتقال) و یا اندازه هادی سیم نول (خطوط توزیع)

- بهبود بخشیدن سیستم زمین دکل

در حالت کلی این تغییرات باعث کم شدن افزایش پتانسیل زمین می‌گردند. در حالی که ولتاژهای تماس و گام (به صورت درصدی از افزایش پتانسیل زمین) تحت تاثیر آن قرار نمی‌گیرند. در نتیجه قدر مطلق ولتاژهای گام و تماس کم می‌گردد.



26

باید به خاطر داشت فرآیند طرح سیستم زمین به تکرار نیاز دارد. اگر یک طرح نیازهای ایمنی را در دسترس قرار ندهد، این طرح در محدوده اجبارهای فیزیکی سیستم معین باید اصلاح شود. این روش تا زمانی که نیازهای ایمنی به دست آیند، تکرار می شود.



## فصل چهارم

### طراحی شبکه زمین در حالت‌های ماندگار و گذرا

در این فصل می‌خواهیم به برخی از مشکلاتی که طراحان شبکه قدرت در بخش طراحی شبکه زمین مناسب در حالت‌ماندگار، با آن مواجه بوده و استانداردهای موجود قادر به پاسخ‌گویی آن نیستند اشاره‌کنیم:

#### (۱) مشخصات شبکه زمین

استانداردهای موجود، محدودیتها و فرضیات متعددی در طراحی شبکه زمین استفاده می‌کنند که این مساله، باعث می‌شود که از طرفی دقت محاسبات به اندازه کافی نباشد و از طرف دیگر دامنه کاربرد این فرمولها در طراحی شبکه‌های زمین بسیار محدود شود. استاندارد IEEE 80 برای طراحی شبکه زمین پست از روابط و فرمولهایی استفاده می‌کند که استفاده از آنها در صورت رعایت محدودیتها زیر دارای دقت مناسبی است. مطابق استاندارد IEEE 80-60، محدودیتهای این استاندارد برای طراحی شبکه زمین مناسب و ایمن به قرار زیراست:

الف-۱- عمق دفن شبکه زمین: ( $h$ )

الف-۲- فاصله بین هادی‌های موازی در شبکه زمین: (D)

الف-۳- تعداد هادی‌های موازی در طول و عرض: (n)

چنانچه بهناچار یکی از شرایط فوق نقض شود از دقت محاسبات کاسته می‌شود. مطابق بخش (2-5-16) از استاندارد IEEE80-2000 عمق دفن شبکه زمین در محدوده ذکر شده در استاندارد IEEE80-86 کماکان جزء محدودیتها است. به طور کلی به دلیل وجود محدودیتها و همچنین پارامترهای غیرقابل محاسبه، استانداردها و از جمله استاندارد IEEE80 ، با درنظر گرفتن حداکثر ملاحظات و بالاتر از حد طراحی (overdesign) روابط وضوابط خود را رایه می‌کند.

#### (2) میله‌های زمین

تعداد و محل نصب میله‌های زمین (Rod) برای کاهش ولتاژهای گام و تماس در محاسبه و طراحی شبکه‌های زمین از اهمیتویژه‌ای برخوردار است. ولی استانداردهای IEEE در این مورد دارای محدودیت بوده و نه تنها تاثیر میله‌های زمین با یک ضریب تقریبی (تصحیح) در محاسبات مربوط دخالت داده‌می‌شود بلکه تاثیر محل نصب میله‌های زمین در این استانداردها به هیچ صورت در نظر گرفته نمی‌شود.

#### (3) لزوم طراحی شبکه زمین با اشکال مختلف

با توجه به اشکال متفاوت و نامتقارن سطح پست، برای رسیدن به یک شبکه زمین ایمن لازم است که محاسبات شبکه زمین با ابعاد و شکل‌های متفاوت و نامتقارن انجام پذیرد در حالی که استانداردهای موجود اشکال خاصی از شبکه زمین (مربع، مستطیل و L شکل) (استاندارد IEEE 80-2000) را محاسبه و طراحی می‌کند.

#### (4) لزوم تحلیل شبکه زمین در خاک دولایه

بطور کلی در عمل نمی‌توان خاک را یکنواخت (تک لایه) در نظر گرفت، بلکه حداقل باید آنرا دو لایه فرض کرده و تجزیه و تحلیل رفتار شبکه زمین را در آن انجام داد. با بکارگیری پرایب (پرایب تصحیح) استاندارد و روش استاندارد IEEE 80 می‌توان طراحی شبکه زمین در خاک دو لایه (بخش 3-12) استاندارد IEEE 80-86 و بخش 14-3 استاندارد IEEE 80-2000 را بطور تقریبی انجام داد، ولی برای ارایه روش دقیق، باید از معادلات الکترومغناطیسی و بحث تئوری تصویر استفاده کرد.

## (5) پروفیل ولتاژ در سطح پست

برای دسترسی آسانتر به طرح مطلوب و ایمن سیستم زمین، محاسبه و رسم پروفیل ولتاژ (شکل) در سطح پست ضروری است که این ویژگی تنها می‌تواند با استفاده از روش‌های دقیقالکترومغناطیسی بدست آید.

## (6) در نظر گرفتن چاه زمین بهمراه شبکه زمین

گاهی ممکن است بدلیل محدودیتهای فضای سطح پست، امکان دستیابی به طرح و هادیهای شبکه زمین وجود نداشته (Rod) شبکه زمین ایمن، با افزایش میله‌های زمین در این حالت می‌توان از وجود چاه زمین در کنار شبکه زمین برای دسترسی به باشد قادر به بررسی شبکه IEEE سیستم زمین استفاده کرد. لازم بذکر است که استانداردهای زمین به همراه چاه زمین نیستند، در حالیکه این نوع طرح سیستم زمین می‌تواند توسط روش مبتنی بر معادلات الکترومغناطیسی (روش دقیق) پیاده‌سازی شود.

## (7) طراحی پستهای کوچک

در مناطق متراکم شهری، ابعاد شبکه (GIS) با توجه به محدودیت سطوح برخی از پستها زمین نمی‌تواند از یکمیزان خاصی تجاوز کند لذا با توجه به بالا بودن جریان اتصال کوتاه و از یک تعداد بخصوصی (Rod) همچنین با توجه به اینکه افزایش تعداد میله‌های زمین نمی‌تواند کاهش قابل ملاحظه‌ای در ولتاژهای تماس و گام ایجاد کند، با روش‌های معمول طراح پست ممکن استنتتواند به شبکه زمین اینمی دسترسی پیدا کند. استانداردهای موجود در این موارد هیچراحت و روش تحلیلی در اختیار طراحان قرار نمی‌دهند. یکی از روش‌های مناسب در این حالت طراحی شبکه زمین در دو عمق متفاوت است که محاسبات در این نوع طراحی (نصب دو شبکه زمین در عمقهای متفاوت) نیاز به یک روش تحلیلی مبتنی بر معادلات الکترومغناطیسیداشته که استانداردهای ارایه شده نمی‌تواند جوابگو باشند.

## (8) طراحی شبکه زمین در نیروگاههای آبی

باتوجه به لایه‌بندی عمودی و افقی محیط در برگیرنده شبکه زمین در نیروگاههای آبی (بتندر سد و آب در دریاچه پشت سد)، مساله طراحی شبکه زمین متفاوت با روش‌هایی است که توسط استانداردها ارایه شده است. در این حالت برای دسترسی به شبکه زمین باید از روش‌های تحلیلی مبتنی بر معادلات الکترومغناطیسی استفاده شود در حالی که در اینباره، استانداردهای موجود راه حلی را پیشنهاد نکرده‌اند.

### ب- تحلیل شبکه زمین در حالت گذرا

علاوه بر مشکلات مربوط به حالت ماندگار در طراحی شبکه زمین این، تجزیه و تحلیل رفتار گذراشی شبکه زمین در برابر امواج گذرای جریان ناشی از برخورد صاعقه و ایجاد اتصال کوتاه بهزمن از اهمیت بالایی برخوردار بوده و از مسائلی است که هیچ استانداردی در این باره ارایه نشده است.

برخورد صاعقه به یک خط انتقال سیستم قدرت و یا پستهای الکتریکیو همچنین ایجاد اتصال کوتاه تکفار و یا دو فاز بهم و به زمین، باعث جاری شدن جریانهای بزرگی در پست و تجهیزات آن می‌شود. قبل از آنکه این جریان وارد شبکه زمینشده و در خاک توزیع شود میدانهای الکترومغناطیسی که در اثر عبور این جریانها تولیدمی‌شود منجر به القاء ولتاژ و جریان بزرگی می‌شود که ممکن است به تجهیزات الکترونیکی و میکروپروسسوری حساس آسیب جدی وارد کند و همچنین ممکن است باعث ایجاد خطراتی برای کارکنانی که در مجاورت تجهیزات پست کار می‌کنند، شود.

یکی از مشکلات دیگر میدانهای ناخواسته، ایجاد خطای اندازه‌گیری در تجهیزات اندازه‌گیری (پستهای) است. همچنین با توجه به وجود طیف فرکانسی بالا در شکل موجهای جریان ناشی از صاعقه و اتصال کوتاه در شبکه قدرت اثرات امواج ضربه فرکانس بالا را می‌توان در دسته‌های زیربیان کرد:

الف) ایمنی افراد

بدن انسان می‌تواند جریانهای الکتریکی بالاتری را در فرکانسهای بالا تحمل کند. بنابراین ولتاژهای گام و تماس‌مجاز وابسته به فرکانسهای بالای شکل موج جریان ضربه‌ای مربوطه بوده و می‌تواند مقادیر بالاتری داشته باشد. از طرفی حداقل ولتاژهای گذرا نیز در محوطه پست بالا بوده و در نتیجه (TGPR) و افزایش پتانسیل‌زمین گذرا (TV) چنانچه از سیستم زمین‌مناسبی استفاده نشود ایمنی افراد را به مخاطره می‌اندازد. شکل زیرنمونه‌ای از ولتاژ‌گذراهای ایجاد شده با تزریق جریان صاعقه را نشان می‌دهد:

ب) سطح عایقی

جاری شدن جریان فرکانس بالایناشی از برخورد صاعقه یا ایجاد اتصال کوتاه از طریق نقطه خنثای شبکه باعث ایجادافزایش ولتاژ گذرای بالایی می‌شود. این مساله می‌تواند در تعیین سطح عایقی مناسبکابلهای و تجهیزات الکتریکی موثر باشد و با طراحی شبکه زمین مناسب و محاسبه حداکثرافرایش ولتاژ می‌توان سطح عایقی مناسب را محاسبه کرد.

#### ج) اعوجاج در امواج ولتاژ و جریان

ایجاد حالتگذرا در شبکه قدرت باعث ظاهر شدن هارمونیکهای بالا در شکل موج ولتاژ و جریان فازهای شبکه شده و در نتیجه بر عملکرد رله‌های حفاظتی دیجیتال تاثیر منفی می‌گذارد. لذا بانصب مناسب شبکه زمین مناسب و تحلیل رفتار گذرای آن می‌توان راهکارهای مناسبی در جهتبهبود عملکرد رله‌های حفاظتی اتخاذ کرد.

#### د) تغییر در میدانهای الکترومغناطیسی

میدانهای الکترومغناطیسی در فضای پست وابسته به فرکانس بالای جریان عبوری از شبکه زمین است. میدانهای الکترومغناطیسی نامطلوب القاء شده بوسیله جریانهای ناشی از صاعقه و اتصال کوتاه باعث ایجاد خطاهای اندازه‌گیری و یا خسارت تجهیزات الکتریکی حساس می‌شود. بنابراین سیستم زمین به ترتیبی باید طراحی شود که مقادیر میدانهای الکترومغناطیسی از حدود قابل قبول تجاوز نکند. با توجه به مطالبارایه شده، برای محاسبه میدانهای الکترومغناطیسی در محیط و فضای پست، باید رفتار سیستم زمین در برابر جریانهای فرکانس بالا (گذرا) تعیین شود.



### منابع و مراجع

- 1- تجهیزات نیروگاه ، مسعود سلطانی
- 2- آیین نامه های مربوط به سیستم زمین وزارت کار و امور اجتماعی
- 3- طراحی پست های فشار قوی ، فرخ فتاحی