بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

۱۳۷۸ /۷/ ۱۲

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده برق

طراحی شبکه زمین در پستهای فشار قوی

مجید نجاتی

4 ۱۷۸/۲

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق

استاد راهنما : دکتر سید محمد شهرتاش

زمستان ۱۳۷۵

تقدیم به :

ساحت مقدس بقیة الله الاعظم امام عصر

حضرت مهدی (عج)

گر دست دهد خاک کف پای نگارم

بر لوح بصر خط غباری بنگارم

پروانهٔ او گر رسدم در طلب جان

چون شمع همان دم بدمی جان بسپارم

طراحی شبکه زمین در پستهای فشار قوی

چکیده :

در پستهای فشار قوی به منظور ایجاد ایمنی برای افراد داخل و اطراف پست و همچنین حفاظت تجهیزات در شرایط غیر عادی مثل اتصال کوتاه یا برخورد صاعقه به خطوط و یا پست بایستی از سیستم زمین استفاده شود و قسمتهای لازم پست به نحو مؤثری به این سیستم متصل گردد.

بدین منظور در اکثر موارد لازم است شبکه‌ای متشکل از هادی‌های افقی به هم متصل شده و همچنین میله‌های عمودی را در زیر زمین پست به وجود آورده و بدنه فلزی تمام تجهیزات و نقاط نوترال را به نحو مؤثری به آنها متصل نمائیم تا مقادیر ولتاژهای گام و تماسی در محدوده پست و اطراف آن در حدود قابل قبولی کنترل گردد.

روش طراحی شبکه‌های زمین معمولاً با استفاده از فرمولهای تقریبی IEEE 80 انجام می‌گیرد ، با توجه به اینکه در ابداع فرمولهای استاندارد فوق‌الذکر در شبکه‌های زمین محدودیتهائی از نظر ابعاد شبکه ، عمق شبکه و فواصل هادی‌ها وجود دارد و با توجه به تنوع شکل شبکه‌های زمین لزوم بررسی و محاسبه دقیق شبکه‌های زمین بر اساس اصول الکترومغناطیسی و در نظر گرفتن لایه بندی خاک (بصورت دو لایه یا چند لایه) ، بدون استفاده از فرضیات و محدودیتهای موجود در استاندارد فوق احساس می‌گردد تا نتایج دقیق تری جهت طراحی داشته باشیم

در این پروژه مبانی طراحی شبکه‌های زمین در پستهای فشار قوی و روشهای معمول و ارائه شده در استاندارد IEEE 80 سال ۱۹۸۶ ، روش ممان جهت پارامترهای شبکه مدفون در خاک تک لایه (یکنواخت) ، بررسی پارامترهای شبکه زمین در خاک دو لایه و چند لایه ، نحوه مدل‌سازی مقاومت پا به منظور محاسبه ولتاژهای مجاز تماس و گام ، تأثیر سیستمهای زمین اطراف بر نحوه توزیع جریان بررسی گردیده و برنامه کامپیوتری که طی این پروژه به منظور طراحی شبکه‌های زمین نوشته شده (GridPro) معرفی می‌شود . همچنین در این پروژه شبکه زمین چندین پست نمونه بصورت مرحله ای طراحی گردیده و پیشنهاداتی جهت اصلاح و بهبود شبکه زمین در این پستها ، از طریق تغییر پارامترهای مؤثر در آن ارائه گردیده است .

بسم الله الرحمن الرحیم

اِقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّکَ الَّذی خَلَقَ

تقدیر و تشکر:

ضمن سپاس بیکران از خداوند متعال، بر خود لازم میدانم که از استاد گرامی جناب آقای سیّد محمّد شهرتاش که با ارائه راهنمایی‌های مدبرانه و دلسوزانه خود نظارت و سرپرستی این پروژه را به عهده داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از اعضای هیأت داوری بخاطر زحمتهای بی شائبه و حضور در جلسهٔ دفاعیه صمیمانه تشکر نموده و سپاس خود را به حضورشان تقدیم میدارم.

والسلام

زمستان ۱۳۷۵

فهرست مطالب

فصل اول

۱-مقدمه ..... ب

فصل دوم

۲-مبانی طراحی شبکه‌های زمین در پستهای فشار قوی ۲
۱-۲- ایمنی در شبکه‌های زمین ۲
۱-۱-۲- محدوده جریان قابل تحمل ۶
۲-۱-۲- تأثیر فرکانس ۶
۳-۱-۲- تأثیر مقدار و زمان خطا ۶
۴-۱-۲- اهمیت قطع بسیار سریع خطا ۷
۲-۲- محاسبه جریان اتصال کوتاه و حداکثر جریان شبکه زمین ۷
۳-۲- انتخاب هادی زمین و اتصالات ۱۲
۴-۲- مشخصات خاک ۱۴
۵-۲- مدل‌سازی مقاومت پا ۱۵
۱-۵-۲- معادله ساده تجربی ۱۹

فصل سوم

۳- طراحی شبکه زمین خاک تک لایه (یکنواخت) ۲۴
۱-۳- روش قدم به قدم طراحی شبکه زمین توسط روش استاندارد IEEE 80 ..... ۲۴
۱-۱-۳- پارامترهای مورد استفاده در طراحی ۲۵

۲-۱-۳- روند طراحی ۲۷
۳-۱-۳- اصلاح و بهبود طرح اولیه ۳۷
۴-۱-۳- انجام طراحی بوسیله نرم افزار ۳۷
۲-۳- روش دقیق ممان جهت طراحی شبکه زمین ۳۹

فصل چهارم

۴- شبکه‌های زمین مدفون در خاک دو لایه ۴۵
۱-۴- مقاومت شبکه زمین پستهای فشار قوی ۴۵
۱-۱-۴- فرمول شوارتز ۴۶
۲-۱-۴- چند فرمول ارائه شده دیگر جهت محاسبه مقاومت شبکه زمین ۵۰
۱-۲-۱-۴- مقاومت ناشی از شبکه روی سطح بالائی خاک دو لایه ۵۲
۲-۲-۱-۴- مقاومت شبکه مدفون در لایه اول ۵۳
۳-۲-۱-۴- نتیجه گیری ۵۹
۳-۱-۴- تعیین مقاومت میله‌های عمودی ۶۰
۲-۴- پتانسیل ۶۵
۱-۲-۴- محاسبه پتانسیل زمین ناشی از منبع الکترود نقطه‌ای ۶۶
۲-۲-۴- محاسبه پتانسیل برای الکترود افقی بلند (حالت عملی) ۶۸
۱-۲-۲-۴- روش جمع زنی ۶۸
۲-۲-۲-۴- روش انتگرالی ۷۰
۳-۲-۴- هادی خطی افقی ۷۱
۴-۲-۴- هادی خطی غیر افقی ۷۵
۵-۲-۴- مثال ۷۶

۳-۴- ولتاژهای تماس و گام ماکزیمم ۸۰
۱-۳-۴- آنالیز ولتاژهای حلقه و گام ۸۰
۲-۳-۴- شبکه‌های افقی ۸۱
۳-۳-۴- شبکه‌های ترکیبی ۸۷
۴-۳-۴- شبکه‌های مستطیل شکل ۹۲
۵-۳-۴- مثال ۹۳

فصل پنجم

۵- شبکه‌های زمین مدفون در خاک چند لایه ۹۵
۱-۵- مقاومت ظاهری منبع نقطه‌ای ۹۶
۲-۵- روش مستقیم ۹۸
۳-۵- مدل جهت تست نتایج ۹۹
۴-۵- مقاومت مخصوص معادل ۱۰۱
۱-۴-۵- مقاومت زمین ۱۰۱
۲-۴-۵- ولتاژ حلقه ۱۰۳
۳-۴-۵- ولتاژ گام ۱۰۵
۴-۴-۵- مثال ۱۰۶
۱-۴-۴-۵- نتایج محاسبات ۱۱۰
۵-۵- آنالیز سیستم زمین در خاک چند لایه با لایه بندی نیمه کروی ۱۱۰
۱-۵-۵- پتانسیل ناشی از پخش جریان توسط المان هادی ۱۱۲
۲-۵-۵- راه حل جهت حالت خاک نیمه کروی ۱۱۲
۳-۵-۵- توزیع جریان ۱۱۳

۴-۵-۵- کمیت‌های الکتریکی دیگر ۱۱۳
۵-۵-۵- میله‌های زمین + مثال ۱۱۳
۶-۵-۵- شبکه‌های زمین + مثال ۱۱۹

فصل ششم

۶- مقایسه نتایج ۱۲۵
۱-۶- طراحی شبکه زمین در خاک تک لایه ۱۲۵
۱-۱-۶- روش استاندارد IEEE 80 سال ۱۹۸۶ ..... ۱۲۸
۲-۱-۶- روش ممان ۱۳۲
۳-۱-۶- مقایسه نتایج ۱۳۶
۲-۶- طراحی شبکه زمین در خاک دو لایه ۱۳۷
۱-۲-۶- مقاومت شبکه زمین + مقایسه نتایج ۱۳۷
۲-۲-۶- ولتاژهای حلقه و گام + مقایسه نتایج ۱۴۳
۳-۲-۶- پتانسیل + مقایسه نتایج ۱۴۶
۳-۶- طراحی شبکه زمین در خاک چند لایه ۱۴۹
۱-۳-۶- مثال اول + مقایسه نتایج ۱۴۹
۲-۳-۶- مثال دوم + مقایسه نتایج ۱۵۱
۳-۳-۶- مثال سوم + مقایسه نتایج ۱۵۲

فصل هفتم

۷- نتایج و پیشنهادات ۱۵۵

ضمایم

ضمیمه A – بهبود فرمول تعیین مقاومت شبکه زمین مدفون در خاک تک لایه (یکنواخت) ۱۵۹
ضمیمه B – مقاومت مجانب قیاسی شبکه قرار داده شده روی سطح خاک دو لایه ۱۶۱
ضمیمه C – جوش های احتراقی جهت اتصال هادی‌های زمین ۱۶۶
ضمیمه D – محاسبه پتانسیل در خاک نیمه کروی ۱۸۱
ضمیمه E – مثالی جهت محاسبه بیشترین جریان شبکه زمین ۱۸۶
ضمیمه F – روش تصویر جهت محاسبه پتانسیل در خاکهای دو لایه ۱۹۸

مراجع ۲۰۲

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

بروز اتصال کوتاه در سیستمهای قدرت به علت وجود اضافه ولتاژهای موقت و گذرا و همچنین آسیب دیدن برخی تجهیزات پیش آمدی عادی است . به هنگام بروز خطای فاز به زمین ، ولتاژ فازهای سالم نسبت به زمین و بدنه تجهیزات به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد . زمین کردن مؤثر نقاط نوترال در سیستم قدرت باعث کاهش این اضافه ولتاژها می‌شود .

در اثر بروز خطای اتصال کوتاه فاز یا فازها به زمین ، جریان زیادی به زمین داخل می‌گردد و باعث به وجود آمدن گرادیان پتانسیل سطحی بزرگی در محوطه پست می‌گردد و ممکن است کارکنان را در معرض شوک ناشی از ولتاژ گام و یا تماس قرار دهد .

وجود یک شبکه زمین با فاصله مناسب بین هادی‌های آن باعث کاهش گرادیان پتانسیل سطحی خواهد شد. از مهم‌ترین پارامترهایی که در طراحی مد نظر است می‌توان به ولتاژ حلقه (مش) ، ولتاژ گام ، ولتاژ تماس و مقاومت شبکه زمین اشاره نمود که با طراحی شبکه زمین مناسب این پارامترها تا حد مجاز پایین می‌آیند .

از سالها پیش تعیین دقیق ولتاژهای تماس و گام تحت بررسیهای محققین قرار داشته است و روشهای مختلفی جهت محاسبه ارائه گردیده است . طراحی شبکه‌های زمین در حال حاضر عمدتاً بر اساس توصیه‌ها و فرمولهای استاندارد IEEE 80 صورت می‌پذیرد . استاندارد مذکور ولتاژهای تماس و گام را جهت شبکه‌های زمین مربعی مدفون در خاک تک لایه (یکنواخت) با محدودیتهائی در تعداد هادی‌ها ، عمق شبکه ، متقارن بودن شبکه و ... و همچنین با فرضیات متعددی مانند بینهایت فرض کردن طول هادی‌ها در یک جهت ، نادیده گرفتن هادی‌های جهت دیگر ، یکنواخت فرض کردن جریان نشتی به زمین در کلیه هادی‌ها و ... بدست آورده است . این محدودیتها و فرضیات باعث می‌گردند که از طرفی دقت محاسبات به اندازه کافی نباشد و از طرف دیگر دامنه کاربرد این فرمولها در طراحی شبکه‌های زمین بسیار محدود می‌گردد .

این پروژه سعی دارد روشهای دیگری را ارائه دهد که در مقالات مختلف و معتبر از آنها برای طراحی شبکه زمین و بدست آوردن پارامترهای مهم جهت طراحی استفاده شده است . روشها بر پایه اصول تئوری تصویر [۱۰ ، ۴۰ ، ۴۲ و ...] ،مقاومت مخصوص معادل [۵۰] ، اصول الکترومغناطیسی [۵ ، ۶ ، ۷۰ و ...] و حل معادلات دیفرانسیل حاکم

بر شبکه [۵۸، ۶۱ و ...] ارائه شده اند که بررسی خاکهای دو یا چند لایه را نیز شامل می‌گردد . از آن جهت که برای طراحی ، نیاز به در نظر گرفتن حالات مختلف بوده و معادلات حاکم بر این حالات نیز تکرار می‌گردند نیاز به کامپیوتر و برنامه کامپیوتری احساس می‌گردد که این کار بسیار وقت گیر و تکراری را با سرعت بسیار بالائی انجام دهد . این پروژه اصول مهم در طراحی شبکه زمین را با در نظر گرفتن خاک بصورت یکنواخت ، دو لایه و چند لایه برای استفاده قرار می‌دهد و علاوه بر آن ، توسط نرم افزار تهیه شده می‌تواند با توجه به پارامترهای پست فشار قوی مورد نظر از قبیل مقاومت مخصوص یا مقاومت مخصوص‌های لایه‌های خاک (در صورت چند لایه بودن خاک)، بیشترین جریان خطا، دمای محیط و ... با درصد کمی خطا اعداد و ارقامی را به طراح دهد که شبکه زمین طراحی شده برای پست را با اطمینان خاطر جهت اجرا در پست تحویل دهد . در برنامه کامپیوتری مذکور ، از روش تئوری تصویر ، روش ممان ، اصول الکترومغناطیسی و مقاومت مخصوص معادل به علت عمومی بودن و یا سهولت بکار برده شده است .

در فصل دوم این پایان نامه، مبانی طراحی شبکه زمین در پستهای فشار قوی مورد بحث قرار خواهد گرفت و در آن اشاره خواهد شد که اصولاً چرا نیاز به شبکه زمین است و چه محدودیت یا محدودیتهایی از نظر بکار بردن آن در پست فشار قوی خواهیم داشت .

در فصل سوم ، طراحی شبکه زمین توسط روشهای استاندارد IEEE 80 و روش دقیق ممان بررسی می‌گردد. این روشها جهت طراحی شبکه زمین در خاکهای تک لایه (یکنواخت) مورد استفاده قرار می‌گردند .

فصل چهارم اختصاص به شبکه‌های زمین مدفون در خاک دو لایه دارد و شبکه‌های زمین مدفون در خاک چند لایه نیز در فصل پنجم مورد بررسی قرار خواهد گرفت .

فصل ششم نیز نتایج حاصله از روشهای بکار برده شده در پروژه (برنامه کامپیوتری پروژه(GridPro)) با نتایج قید شده در مقالات معتبر مقایسه گردیده است و در فصل هفتم نیز جمع بندی نتایج پروژه و پیشنهاداتی جهت تحقیقات و پروژه های آتی ارائه شده است.

فصل دوم

مبانی طراحی شبکه زمین
در
پستهای فشار قوی

۲- مبانی طراحی شبکهٔ زمین در پستهای فشار قوی

در این فصل مبانی طراحی شبکه‌های زمین و پارامترهای اساسی و مهم در ایمنی شبکه‌های زمین از جمله ولتاژهای تماس و گام ، میزان جریان اتصال کوتاه ، مشخصات خاک و زمین پست و ... مورد بحث و بررسی قرار گرفته و حدود ایمنی که باید توسط شبکه‌های زمین رعایت شود تعیین می‌گردد. در این فصل محاسبه ماکزیمم جریانی که وارد شبکه زمین شده و باعث ایجاد ولتاژهای گام و تماس میشود مورد بحث قرار میگیرد و نیز مدلسازی پا صورت خواهد گرفت زیرا که در فصل سوم جهت محاسبه مقادیر ولتاژ گام و تماس مجاز نیاز به مقدار مقاومت پا میباشد. به این جهت مقاومت پا در این بخش مدل میگردد.

۲-۱- ایمنی در شبکه‌های زمین

یکی از مواردی که سیستم زمین می‌باید آنرا تأمین کند ایمنی کارکنان و تجهیزات پستهای فشار قوی می‌باشد. سیستم زمین باید به گونه‌ای طرح شود تا اولاً با ایجاد مسیر مناسب برای ورود جریان به زمین چه در حالت عادی و چه در شرایط خطا ، مانع گذشتن از حدود مجاز عملکرد تجهیزات شود ثانیاً تضمین کند که اشخاص در محوطه و مجاورت پست حتی اگر با تجهیزات زمین شده اتصال داشته باشند در معرض شوک الکتریکی خطرناک واقع نمی‌شوند.

شخصی که در محوطه پست و یا در مجاورت آن قرار دارد و با تجهیزات فلزی ارتباط برقرار می‌کند در معرض سه نوع شوک الکتریکی قرار دارد. علت شوک ، اعمال ولتاژهای تماس ، گام و ولتاژ انتقالی بر بدن است. شبکه زمین، سیستم زمین، مقاومت شبکه زمین، افزایش پتانسیل سطحی، ولتاژ گام یا قدم، ولتاژ تماس، ولتاژ حلقه (مش)، ولتاژ انتقالی و میله عمودی پارامترهایی هستند که در موضوع طراحی شبکه زمین در پستهای فشار قوی سر و کار بسیاری با آنها خواهیم داشت [۱].امّا اگر بخواهیم تعریفی برای شروع کار از آنها داشته باشیم بدین صورت بیان می‌گردند که : شبکه زمین[۱] : شبکه‌ای از هادی‌های افقی و بدون عایق که در خاک دفن شده‌اند تا بدین وسیله زمین مشترکی برای وسایل و تجهیزات فراهم آورد.

۱- Grounding Grid