

بهینه سازی طراحی سیستم زمین یک پست فشارقوی در کشور گرجستان با شبیه سازی در نرم افزار CYMGRD

محمد پرهام فر

پژوهشگر، مشاور و کارآفرین در صنعت برق و انرژی های تجدیدپذیر

عزت الله پرتوی شال

مشاور و طراح سیستم های اتصال به زمین و حفاظت در برابر صاعقه

میلاذ طاهری

مدرس دانشگاه ملی و مهارت استان اصفهان - آموزش شده ملی و مهارت پسران شماره ۲ اصفهان (سروش)

مدرس مؤسسه آموزش عالی صفاهان

هانی پیلهور

مشاور در صنعت برق

چکیده

سیستم های اتصال به زمین الکتریکی نقش بسیار مهمی در ایمن سازی افراد و تجهیزات در برابر آسیب های برق گرفتگی دارد و عملکرد تجهیزات و حفاظت های آنها در زمان بروز خطا در پست های فشارقوی و همچنین در سیستم های توزیع را ایفا می کند. در طراحی یک سیستم اتصال به زمین الکتریکی ابتدا باید، مقاومت کل زمین و چیدمان الکترودهای میله ای زمین و ابعاد مش تعیین شود و همچنین باید سیستم اتصال به زمین به نحوی طراحی گردد که مطابق با استانداردهای بین المللی باشد. در این مقاله برای خطاهای تک فاز به زمین و دوفاز به زمین که در یک پلنت ایجاد می شود و می تواند باعث مشکلات افزایش پتانسیل زمین و در نتیجه ولتاژهای خطرناک تماس و گام گردد طرح هایی ارائه شده است که مطابق با استاندارد IEEE 80 می باشد و می تواند باعث اصلاح شبکه زمین گردد و همچنین چیدمان الکترودهای میله ای زمین به گونه ای طراحی شده است که می تواند ولتاژهای تماس و گام را در محدوده مجاز قرار دهد و قابلیت اطمینان شبکه زمین را افزایش دهد. این طرح در کشور گرجستان مورد اصلاح و بهره برداری رسیده است و با استفاده از نرم افزار CYMGrd شبیه سازی شده است.

کلیدواژه ها: سیستم حفاظت زمین، ولتاژهای تماس و گام، افزایش پتانسیل زمین، خطای LG یا LLG، اندازه گیری مقاومت خاک

مقدمه

طرح‌های حفاظتی برای شبکه‌های توزیع از اهمیت بالایی برخوردار هستند و همچنان تجهیزات شبکه توزیع قیمت بسیار بالایی دارند و باعث سرمایه‌گذاری کلانی می‌شوند. طرح‌های حفاظتی ایجاد شده باید بازدهی این سرمایه‌گذاری‌های کلان را افزایش دهد و قابلیت اطمینان شبکه را بالا ببرد (Richards et al, 2002). سیستم اتصال به زمین (ارتینگ) در شبکه‌های توزیع برای ایجاد برقراری ایمنی در برابر برق‌گرفتگی و کاهش آسیب به تجهیزات برقی و الکترونیکی می‌باشد. همچنان سیستم ارت یک مسیر از پیش تعیین شده می‌باشد که می‌تواند جریان‌های ناشی از تجهیزات برقی معیوب، آذرخش، هارمونیک‌های گذرا، نویز با فرکانس‌های بالا یا برگرداندن بار الکتریکی به ژنراتورها و یا ریزشک‌های هوشمند را نیز حفاظت کند (Kamel and Kermanshahi, 2010). پس سیستم ارت، استفاده از زمین برای برگشت جریان‌های خطا یا بار الکتریکی در فرکانس‌های ۵۰ هرتز و ۶۰ هرتز می‌باشد که به نول ترانسفورماتورها و ژنراتورها وصل می‌باشد (Saini and Kapoor, 2012). اتصال سیستم ارت به زمین مرجع یکی از اهداف مهم در حداقل کردن ولتاژهای گذرا می‌باشد. نحوه اتصال سیستم ارت به زمین مرجع با فروبردن الکترودها به چندین نقطه از زمین ایجاد می‌شود که اگر نصب الکترودها به زمین به‌صورت صحیح انجام شود عامل مهمی از سیستم اتصال به زمین محسوب می‌شود (Scaddan, 2005). خاک در سیستم‌های ارتینگ نقش بسیار مهمی دارد به طور معمول مواد خاک از جنس‌های مختلفی تشکیل شده است و همچنین لایه‌های خاک به طور موازی ساخته شده‌اند. هر لایه از خاک می‌تواند مقاومت الکتریکی کمی را در برابر جریان‌های زمین داشته باشد. مقاومت الکتریکی بین لایه‌های خاک نقش متفاوتی دارد (IEEE 80, 2000). سیستم ارتینگ در بسیاری از کشورهای جهان بسیار اهمیت دارد و برای حفاظت از تأسیسات خانگی و صنعتی امر بسیار مهمی تلقی می‌شود. اخیراً تحقیقات زیادی در این باره ایجاد شده است. برخی از این تحقیقات عبارتند از: "جیائولونگ" و "یونفنگ" روشی ارائه می‌دهند که با استفاده از دکل‌های خطوط انتقال نیز می‌توان مقاومت زمین را بهبود بخشید (Wang et al, 2018). رایزر، والنث جونپور و کوئیلو طرحی ارائه دادند که می‌توان در مناطق شهری، مقاومت زمین و ولتاژ تماس و گام را اندازه‌گیری کرد (Raizer et al, 2017). طلا، فرحت و عثمان برای محاسبه مقاومت زمین توربین‌های بادی یک مدل ریاضی جدید برای انواع خاک ارائه کردند (Talaat et al, 2016). ایلن و همکاران یک روش برای سیستم ارت نیروگاه طراحی کردند (Ilenin et al, 2018). والنث و همکاران چندین روش در پست‌های توزیع برای یافتن امیداندن سیستم ارت ارائه دادند (Valente et al, 2015). سونارتو و همکاران باتوجه به دستورالعمل‌های عمومی تأسیسات برق، اقداماتی ارائه می‌دهد برای به حداقل رساندن خطر تماس غیرمستقیم که با استفاده از سیستم ارت انجام می‌پذیرد (Sunarto et al, 2022). یوسف الشاوش و همکاران به بررسی بسیاری از فرمول‌های طراحی سیستم ارتینگ در استانداردهای بین‌المللی ارتینگ می‌پردازد که باعث محاسبه مقاومت الکتریکی مربوطه که برای محدوده خاصی از مقاومت ویژه خاک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Al-Shawesh et al, 2021). ایزاک ک. نتی و همکاران ارزیابی اثر سیستم‌های ارت در شهرداری سان یانی، کشور جمهوری غنا را می‌پردازند (Kofi Nti et al, 2020). بیل کارمن روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای عملکرد سیستم ارت و پارامترهای تداخل (القاء در مدارهای مخابراتی) را بررسی می‌کند (Carman et al, 1994). رشاد محمد کامل و همکاران برای حفاظت از ریزشک‌ها در برابر انواع خطا در سه سیستم زمین TT، TN و IT می‌پردازد که بهترین حالت ممکن سیستم ارت TN اتصال به شبکه اصلی می‌باشد (Mohammedeen et al, 2011). آنجلو کامپوچیا و همکاران روشی برای طراحی سیستم‌های ارت در خاک‌های دولایه ارائه می‌دهند (Campoccia et al, 2007). لای لای وینا و خین توزار سو در مورد سیستم اتصال زمین حفاظت در برابر صاعقه را باتوجه به نوع خاک برای یک ساختمان یازده طبقه را بررسی می‌کند (Win and Soe, 2016). نورعلیا فرینا محمد نصیر و همکاران به ساختار خاک به‌ویژه مقاومت خاک در لایه سطحی به‌شدت بر امیداندن سیستم ارت و افزایش پتانسیل زمین^۱ (GPR) اثر می‌گذارد پرداخته‌اند (Mohamad Nasir et al, 2021). سیو چون لیم و همکاران به عملکرد سیستم ارت می‌پردازد و روش‌های مختلف الکترودگذاری و استفاده از مواد بنتونیت علاوه بر کاهش مقاومت فرکانس پایین و رسانایی بیشتر و همچنین استفاده الکترودهای مسی و فولادی در شرایط مختلف خاک را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهند (Lim et al, 2013). در این مقاله هنگامی که در یک پلنت از سیستم ارت، خطاهای تک‌فاز به زمین^۲ (LG) و دوفاز به زمین^۳ (LLG) رخ می‌دهد این خطاها می‌توانند در سیستم پایین‌دست و

¹ Ground Potential Rise

² Single Line-to-Ground Fault

³ Double Line-to-Ground Fault

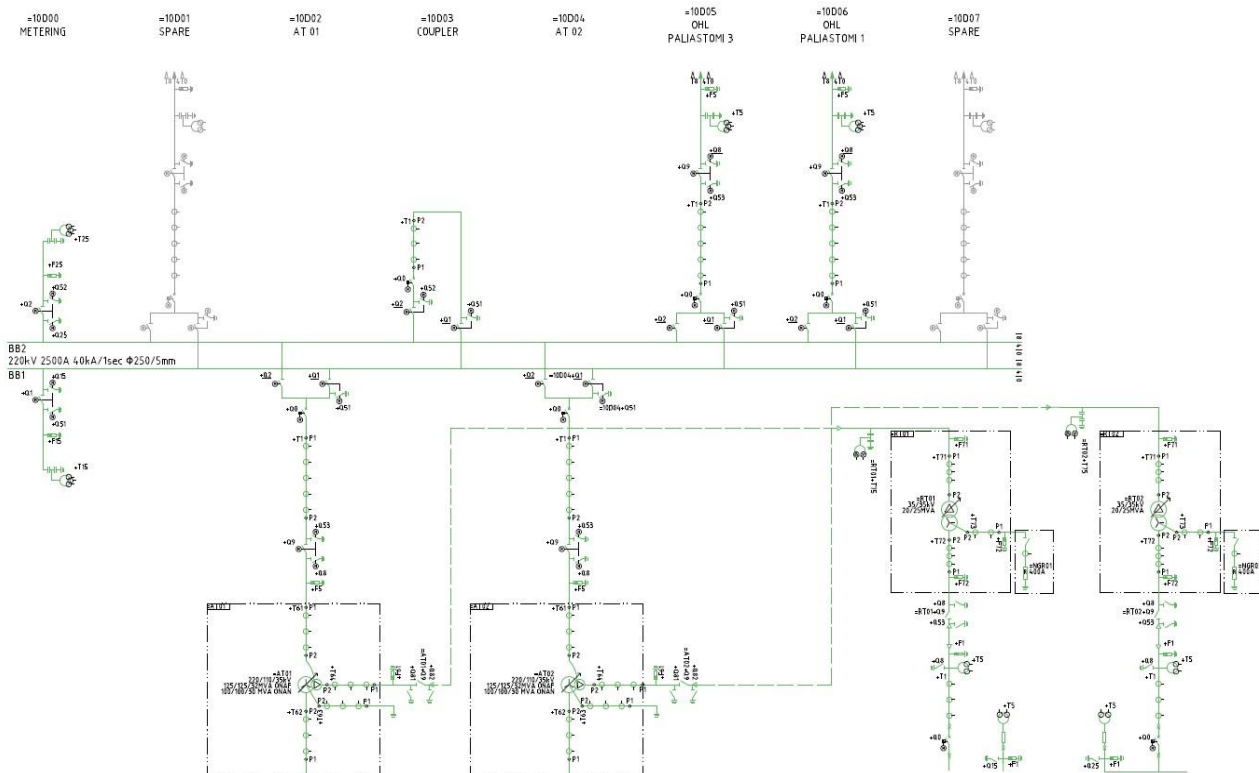
بالادست باعث تزریق خطا شوند که در سیستم بالادست یعنی سمت فشارقوی، باعث افزایش پتانسیل زمین و ولتاژهای خطرناک گام و تماس می شود که به مقدار کل جریان خطایی که ایجاد می شود ضریب جدایی گفته می شود. ضریب جدایی به معنای توانایی سیستم قدرت در جدا کردن خطا از جریان نامتعادل است. با توجه با آن که ضریب جدایی را نیز در اختیار نداریم، می توانیم با استفاده از استاندارد IEEE 80 مشکلات ایجاد شده در بالا را با استفاده از روش های داده شده و شبیه سازی شده نیز رفع کرد و همچنین می توان با استفاده از راهکارهای ارائه شده در چیدمان گذاری الکترودها نیز ولتاژهای خطرناک، تماس و گام را در محدوده مجاز قرارداد تا قابلیت اطمینان شبکه زمین افزایش یابد (IEEE 80, 2000). شبیه سازی ها با استفاده از نرم افزار CYMGrd انجام می شود.

بیان مسأله

همان طور که ذکر گردید در این پروژه هنگامی که خطاهای تک فاز به زمین یا دوفاز به زمین در سیستم ارت رخ می دهد باعث ایجاد خطا در منابع بالادست و پایین دست می شود. این خطاها در منبع بالادست باعث ایجاد مشکلاتی از جمله افزایش پتانسیل زمین و ولتاژهای خطرناک گام و تماس می شود. پروژه ای که در کشور گرجستان برای یک پست برق فشارقوی طراحی شده بود دارای ولتاژ گام و تماسی نامناسب بود و سعی شد با راه کارهایی که ارائه می شود این مقادیر بهینه شود.

مطالعه مدل پست شبکه زمین

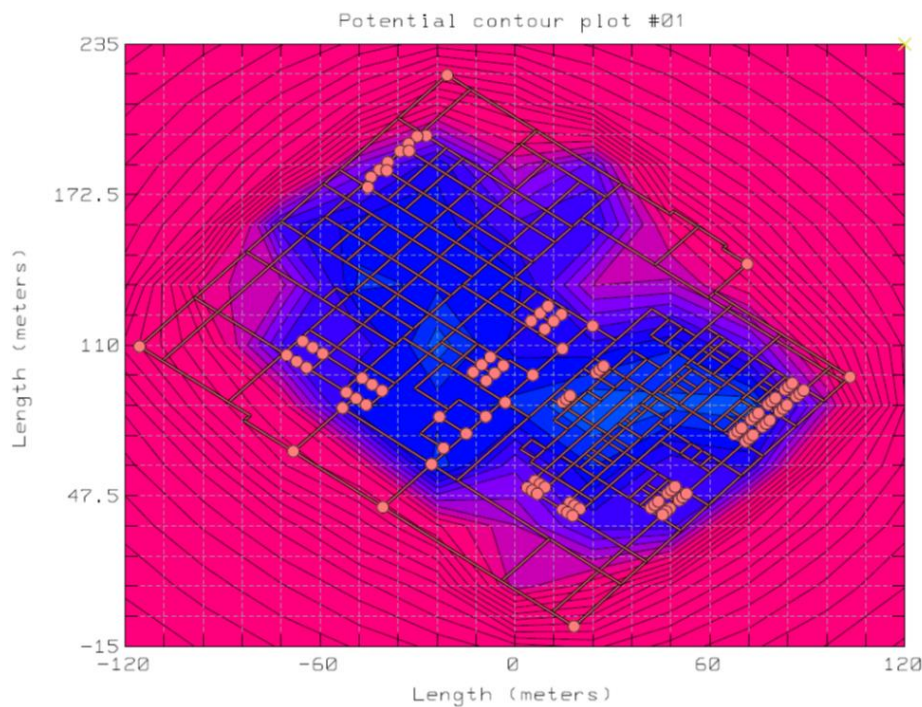
پست شبکه زمین مورد مطالعه در این مقاله در جهت بررسی صحت عملکرد روش پیشنهادی می باشد که شمای تک خطی آن در شکل (۱) نشان داده شده است. این شبکه زمین در کشور گرجستان در یکی از پروژه های دولتی مورد بهره برداری قرار گرفته است. مشخصات این شبکه، پست فشار متوسط ۲۲۰/۱۱۰ کیلوولت در شهرهای لاجانوری و اوزورگتی می باشد و همچنین پست های فشارقوی ۵۰۰ کیلوولت و ۴۰۰ کیلوولت جریان متناوب در پست مبدل آخال تسیکه نیز می باشد. شبیه سازی سیستم زمین با استفاده از نرم افزار CYMGrd انجام می شود.



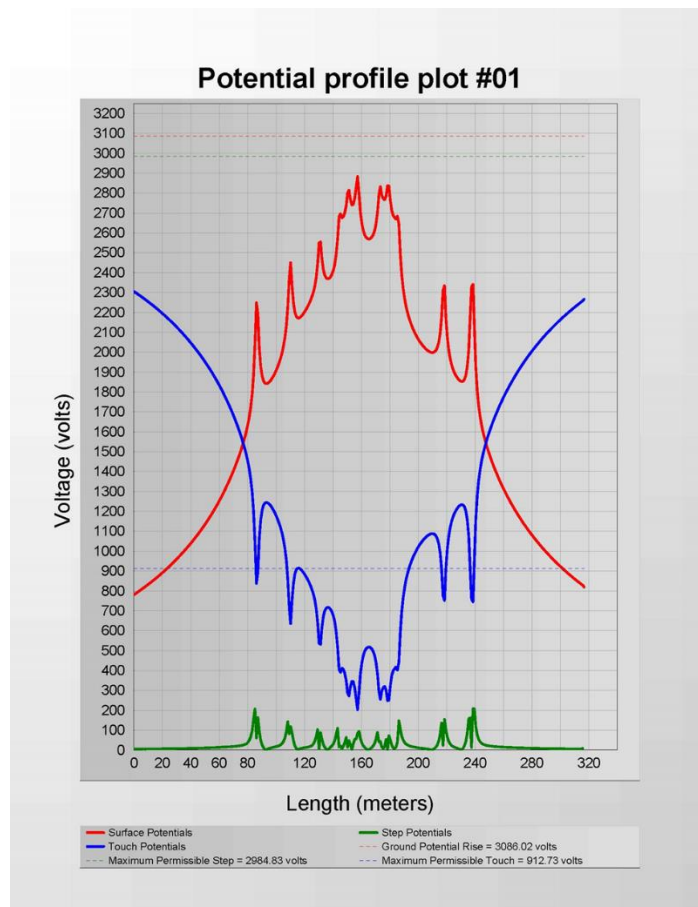
شکل (۱) شمای تک خطی پست شبکه زمین

اطلاعات اخذ شده از جانب کارفرما

در این پروژه با توجه خطاهای تک فاز به زمین یا دوفاز به زمین که در سیستم ارت رخ می دهد، سبب ایجاد ولتاژهای خطرناک گام و تماس برای منابع بالادست می شود و همچنین امکان ایجاد ولتاژ تماس دست برای افراد غیرمسئول بسیار زیاد است، و باعث برق گرفتگی می شود با در نظر گرفتن، نظرات کارفرما اصلاحات لازم برای ولتاژ گام و تماس در محدوده فنس انجام گرفت. شکل های (۲) و (۳)، مقادیر ولتاژهای گام و تماس پلنت را قبل انجام اصلاحات نشان می دهد. این الزام کارفرما کار اصلاح طراحی را محدود و سخت کرد. در اولین مرحله در طراحی شبکه زمین، اصلاح مقادیر به دست آمده از اندازه گیری مقاومت خاک می باشد. بر اساس استاندارد IEEE 81، مقاومت خاک می باید دارای یک الگوی مشخص باشد (IEEE Std 81, 2012). به همین دلیل، اعداد به دست آمده از آزمایش خاک می باید بر اساس این الگوها راستی آزمایی شوند. برای این کار دو روش دستی و نرم افزار وجود دارد. روش دستی آن در استاندارد IEEE 81 آمده است، که این روش بسیار سخت و زمان بر می باشد. لذا از روش نرم افزار استفاده می کنیم که نرم افزارهای زیادی نیز برای این کار وجود دارند. اما نرم افزار CYMGrd دارای توانایی انجام این تحلیل می باشد. این نرم افزار الگوی مربوط به نتایج آزمایش خاک را محاسبه کرده، به وسیله درون یابی برای هر یک از اعداد، یک عدد جدید به دست آورده، و در پایان مقدار خطای هر عدد را نیز به دست می دهد.



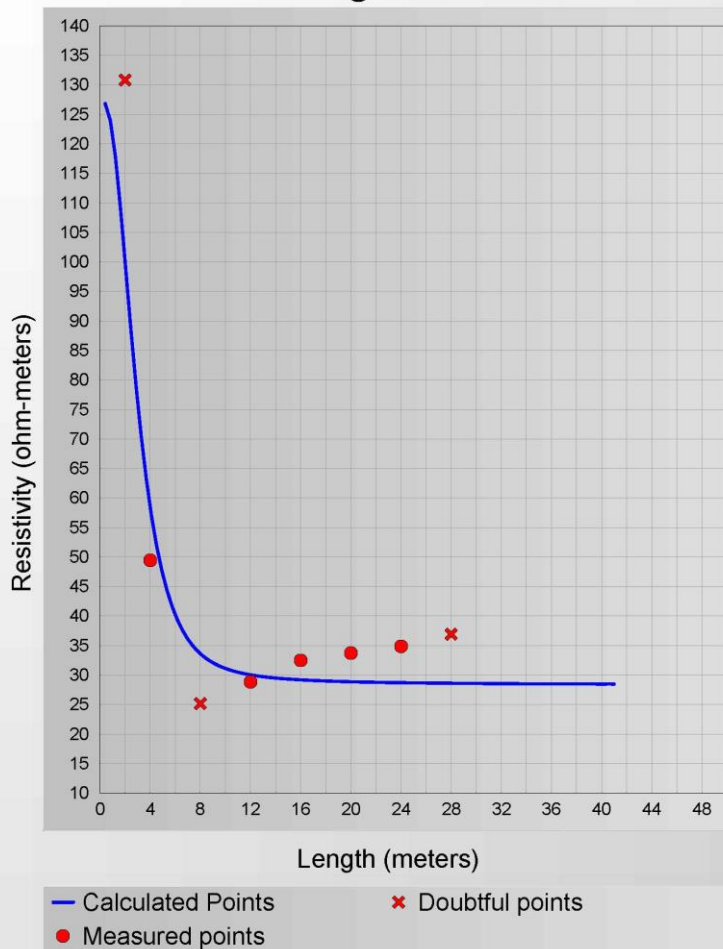
شکل های (۲) مقادیر ولتاژ سطح



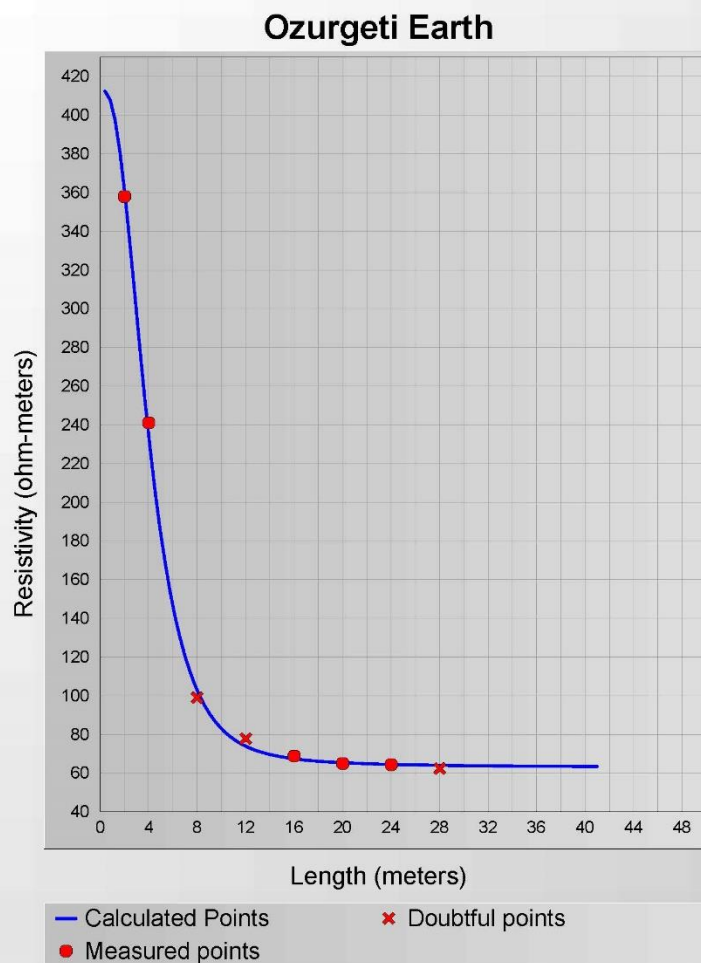
شکل‌های (۳) مقادیر ولتاژهای گام و تماس پلنت

آنچه در بالا گفته شد برای کلیه نقاط آزمایش انجام شد است که منحنی و گزارش هر هشت نقطه به پیوست است. شکل‌های زیر منحنی‌های یکی از پرخطرترین و کم خطرترین نقاط آزمایش را نشان می‌دهند. به این منحنی‌ها در نرم‌افزار CYMGrd، مدل خاک و به گزارش مربوطه تجزیه و تحلیل خاک گفته می‌شود. شکل‌های (۴) و (۵) مدل خاک می‌باشند.

Ozurgeti Earth



شکل (۴) مدل خاک برای پرخطاترین



شکل (۵) مدل خاک برای کم خطا ترین

جدول (۱) اندازه مقاومت خاک را قبل و بعد از تحلیل با نرم افزار CYMGrd را نشان می دهد، که این اطلاعات از طرف کارفرما برای مقاومت الکتریکی در هشت نقطه از شبکه زمین در سیستم زمین می باشد. همان طور که در مقدار میانگین به دست آمده در پایین جدول دیده می شود، این کار باعث شد که مقدار مقاومت خاک کل نسبت به اطلاعات دریافت شده از کارفرما کاهش یابد (نقاط زرد، تغییرات انجام شده با نرم افزار CYMGrd را نشان می دهد). به طور کلی دو روش برای استفاده از این اعداد وجود دارد. روش نخست که سخت گیرانه است از بزرگترین عدد به دست آمده از آزمایش استفاده می کند. روش دوم بر اساس این منطق که خطاهای تکفاز به زمین و دوفاز به زمین، خطاهای با فرکانس ۵۰ هرتز هستند و بنابراین در شبکه زمین پخش می شوند و همه خاک پلنت مانند یک بستر برای این شبکه می باشد، در این پروژه برای اصلاح شبکه زمین از میانگین اعداد استفاده می شود. جدول (۲) اندازه مقادیر قدیمی و درصد خطا برای مقاومت خاک با نرم افزار CYMGrd را نشان می دهد.

جدول (۱) اندازه مقاومت خاک را قبل و بعد از تحلیل با نرم افزار CYMGrd

نقطه	عمق (متر) فاصله الکترودها	مقاومت الکتریکی (اهم - متر)	مقاومت ویژه محاسبه شده توسط CYMGrd (اهم - متر)
مدل ۱	۲	۱۳۰.۷۹	۱۰۰.۲۵

۵۸.۵۴	۴۹.۴۱	۴	
۳۳.۶۱	۲۵.۱۴	۸	
۳۰.۰۲	۲۸.۸۲	۱۲	
۲۹.۱۸	۳۲.۴۶	۱۶	
۲۸.۸۵	۳۳.۶۹	۲۰	
۲۸.۶۹	۳۴.۸۶	۲۴	
۲۸.۶	۳۶.۸۹	۲۸	
۱۱۵.۰۷	۱۴۵.۷۳	۲	مدل ۲
۶۳.۶۵	۵۳.۸۰	۴	
۳۳.۸۳	۲۷.۵۷	۸	
۲۹.۸۴	۳۰.۱۲	۱۲	
۲۸.۹۶	۳۰.۴۱	۱۶	
۲۸.۶۲	۳۵.۰۴	۲۰	
۲۸.۴۷	۳۵.۷۷	۲۴	
۲۸.۳۶	۲۷.۳۶	۲۸	
۵۹.۲۴	۱۰۱.۲۶	۲	مدل ۳
۵۴.۷۹	۴۱.۷۳	۴	
۵۱.۰۹	۴۶.۶۴	۸	
۵۰.۰۷	۵۶.۵۷	۱۲	
۴۹.۶۹	۴۸.۰۵	۱۶	
۴۹.۵۱	۵۴.۲۳	۲۰	
۴۹.۴۲	۵۵.۰۱	۲۴	
۴۹.۳۶	۵۱.۲۶	۲۸	
۸۸.۷۶	۱۰۷.۳۱	۲	مدل ۴
۶۳.۳۷	۵۴.۷۲	۴	
۴۶.۱۵	۳۶.۰۰	۸	
۴۲.۸۸	۳۹.۷۹	۱۲	
۴۱.۹۳	۴۴.۳۹	۱۶	
۴۱.۵۴	۴۸.۲۹	۲۰	
۴۱.۳۳	۵۱.۲۷	۲۴	
۴۱.۲۲	۵۱.۱۶	۲۸	
۳۴.۲۱	۴۲.۸۸	۲	مدل ۵
۳۲.۵۳	۲۷.۵۸	۴	
۳۱.۰۹	۲۷.۱۵	۸	
۳۰.۶۷	۲۶.۸۷	۱۲	
۳۰.۵۲	۳۰.۱۴	۱۶	
۳۰.۴۴	۳۳.۵۰	۲۰	
۳۰.۴	۳۶.۳۵	۲۴	
۳۰.۳۸	۳۸.۸۵	۲۸	
۳۴.۰۹	۴۷.۲۱	۲	مدل ۶
۳۳.۱۷	۲۷.۲۱	۴	
۳۲.۳۶	۲۶.۹۹	۸	
۳۲.۱۲	۳۰.۴۵	۱۲	
۳۲.۰۲	۳۳.۳۴	۱۶	
۳۱.۹۸	۳۴.۷۶	۲۰	

۳۱.۹۵	۳۶.۹۲	۲۴	
۳۱.۹۴	۳۸.۰۲	۲۸	
۳۶۱.۸۶	۳۵۷.۹۰	۲	مدل ۷
۲۳۴.۶۳	۲۴۰.۹۵	۴	
۱۰۲.۷۴	۹۸.۸۴	۸	
۷۳.۸۹	۷۷.۶۶	۱۲	
۶۷.۳۴	۶۸.۶۹	۱۶	
۶۵.۳۵	۶۴.۸۸	۲۰	
۶۴.۴۶	۶۴.۳۱	۲۴	
۶۴.۰۳	۶۲.۲۷	۲۸	
۳۴۰.۴۱	۳۱۶.۷۴	۲	مدل ۸
۳۰۲.۵۷	۳۴۲.۵۷	۴	
۱۹۱.۸۹	۱۹۵.۶۵	۸	
۱۱۷.۴۵	۱۰۸.۲۱	۱۲	
۸۱.۶۱	۸۳.۱۴	۱۶	
۶۵.۷۳	۷۲.۱۸	۲۰	
۵۸.۶۵	۵۹.۷۴	۲۴	
۵۵.۳	۵۲.۰۶	۲۸	
۱۴۱.۷۳۶۳	۱۵۶.۲۲۷۵	۲	میانگین
۱۰۵.۴۰۶۳	۱۰۴.۷۴۶۳	۴	
۶۵.۳۴۵	۶۰.۴۹۷۵	۸	
۵۰.۸۶۷۵	۴۹.۸۱۱۳	۱۲	
۴۵.۱۵۶۳	۴۶.۳۲۷۵	۱۶	
۴۲.۷۵۲۵	۴۷.۰۷۱۳	۲۰	
۴۱.۶۷۱۳	۴۶.۷۷۸۸	۲۴	
۴۱.۱۴۸۸	۴۴.۷۳۳۸	۲۸	

جدول (۲) اندازه مقادیر قدیمی و درصد خطا برای مقاومت خاک با نرم افزار CYMGrd

مقادیر قدیمی	درصد خطا	مقاومت ویژه محاسبه شده توسط CYMGrd (اهم - متر)	
۱۵۶.۲۲۷۵	-۲.۴۹	۱۳۸.۲۱	میانگین
۱۰۴.۷۴۶	۳.۴۴	۱۰۹.۰۳	
۶۰.۴۹۷۵	-۰.۶۲	۶۴.۹۴	
۴۶.۰۴۶ (مقدار نادرست)	-۲.۳۵	۴۹.۶۷	
۴۶.۳۲۷۵	-۰.۸۸	۴۴.۷۶	
۴۷.۰۷۱۲۵	۰.۳۹	۴۲.۹۲	
۴۶.۷۷۸۷۵	۱.۰۰	۴۲.۰۹	
۴۴.۷۳۳۷۵	۱.۲۲	۴۱.۶۵	

وجه به این نکته ضروری است، زمانی که یک خطای LG یا LLG رخ می دهد، هم منبع بالادست در تزریق جریان این خطاها نقش دارند و هم منبع پایین دست در این خطا اثر دارد. چون مدار جریان خطای ناشی از منبع پایین دست از راه سیم های زمین بسته می شود، این منبع بالادست است که باعث ایجاد GPR و ولتاژهای گام و تماس می شود. به مقدار جریانی که از بالادست تزریق می شود ارتباط از راه

دور^۴ و به آنچه از پایین دست تزریق می شود ارتباط محلی^۵ گفته می شود. بر اساس استاندارد IEEE 80 سخت گیرانه ترین حالت برای GPR این است که ارتباط از راه دور برابر ۱۰۰ درصد فرض شود. پارامتر دیگری هم وجود دارد که در مقدار جریان خطایی که باعث ایجاد GPR می شود اثر دارد. همچنین وقتی یک خطای LG یا LLG در داخل یک پلنت رخ می دهد، بخشی از جریان منبع بالادست خطا از راه ژرفای زمین به زمین دور می رود و بخشی از آن از راه دکل های فشارقوی و سیم های گارد خطوط انتقال عبور می کند. بخش نخست این جریان است که باعث مشکلات GPR و در نتیجه ولتاژهای خطرناک گام و تماس می گردد و بخش دوم اثری در این ولتاژها نداشته است و می تواند از محاسبه حذف شود. به نسبت این بخش نخست به مقدار کل جریان خطا ضریب جدایی^۶ گفته می شود. با توجه به آنچه در بالا گفته شد، بدیهی است برای محاسبه مقدار دقیق ضریب جدایی به اطلاعاتی همچون امپدانس خطوط انتقال و خطوط توزیع پلنت، مقدار امپدانس محلی دکل های انتقال و توزیع پلنت، و ... نیاز است.

طرح پیشنهادی حفاظت زمین

استاندارد IEEE 80 یک روش ساده هم برای محاسبه این پارامتر در Annex C خود پیشنهاد داده است که مشکل عدم وجود داده های بالا را به صورت زیر رفع می کند. باتوجه به آنکه اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه ضریب جدایی در اختیار گروه طراحی قرار نگرفت، در این پروژه نیز به شرح زیر از همین روش استفاده شد:

۱- از نظر ارتباط از راه دور جریان های خطا به چهار دسته A و B و C و D تقسیم می شوند. مطابق پیشنهاد IEEE 80 دسته A در این پروژه انتخاب شد، یعنی ارتباط از راه دور برابر ۱۰۰ درصد که سخت گیرانه ترین حالت است.

۲- امپدانس محلی دکل های خطوط انتقال و توزیع دارای یک گروه ۱۵ اهم و ۲۵ اهم و یک گروه ۱۰۰ اهم و ۲۰۰ اهم می باشند. گروه نخست به واقعیت نزدیک تر است و از این گروه در این کار استفاده شد. به آگاهی می رساند که حالت دوم سخت گیرانه تر بود ولی به علت غیر معمول بودن مورد استفاده قرار نگرفت.

۳- این پلنت دارای ۲ خط انتقال اصلی و ۲ خط انتقال یدکی و ۶ خط توزیع اصلی و ۱ خط توزیع یدکی می باشد. هرچه تعداد خطوط انتقال و توزیع کمتر باشد مقدار ضریب جدایی بیشتر (سختگیرانه تر) است. به همین دلیل در این پلنت فرض شد خطوط یدکی در مدار نباشند.

شکل (۶) Figure C3 از Annex C استاندارد IEEE 80 را نشان می دهد که اطلاعات بالا در آن وارد شده است. پارامتر مقاومت زمین در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

⁴ Remote contribution

⁵ Local Contribution

⁶ Split Factor

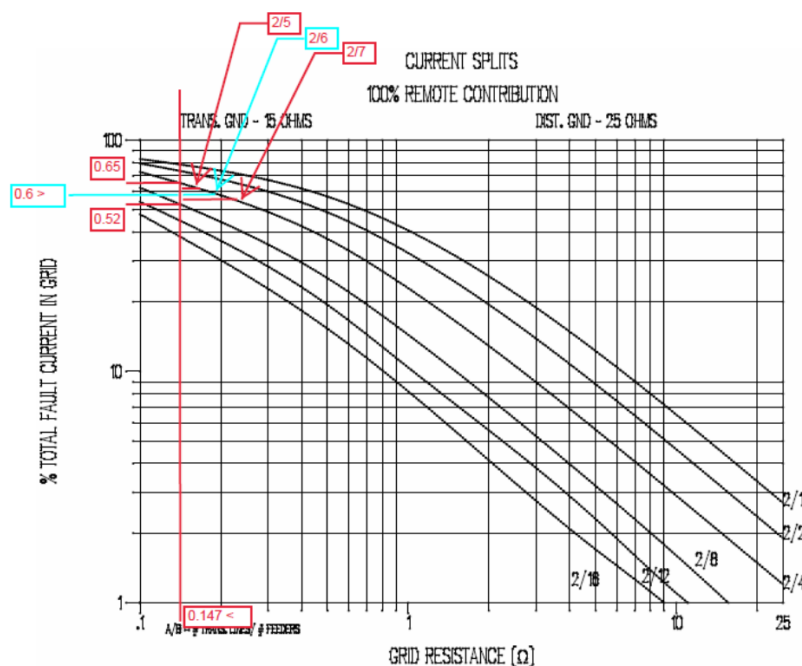


Figure C.3—Curves to approximate split factor S_f

شکل (۶) Figure C3 از Annex C استاندارد IEEE 80

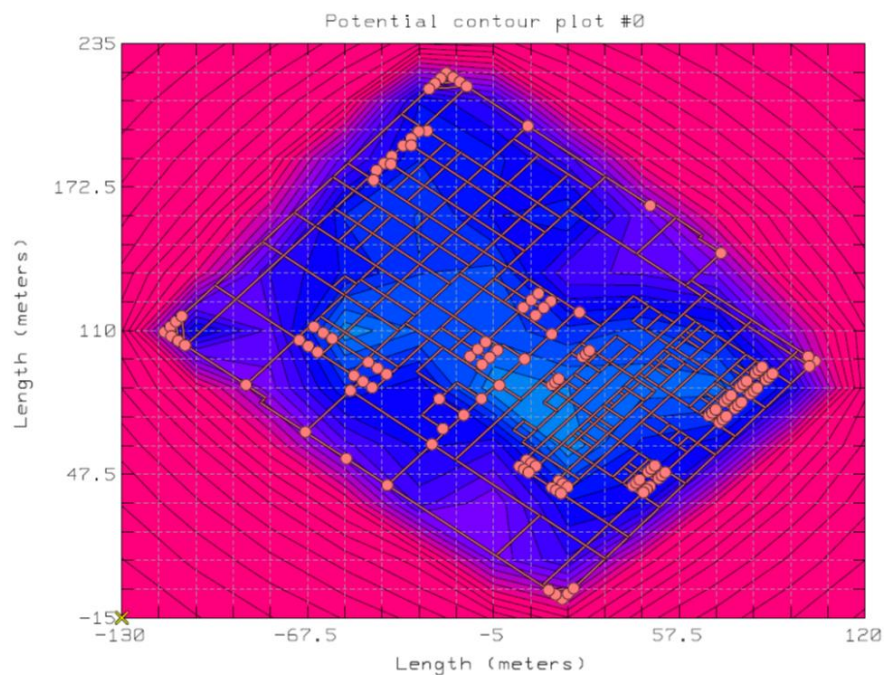
نتایج شبیه سازی طرح سیستم اتصال به زمین

باتوجه به اعلام کارفرما مبنی بر استفاده از مواد کاهنده بنتونیت در منطقه فنس پروژه و باتوجه به اینکه که نرم افزار CYMGrd فقط می تواند مواد کاهنده امیدانس زمین میله ها را شبیه سازی نماید و قادر به شبیه سازی اثر مواد کاهنده نمی باشد لذا این مورد می تواند یکی دیگر از حاشیه های امنیت این طراحی باشد.

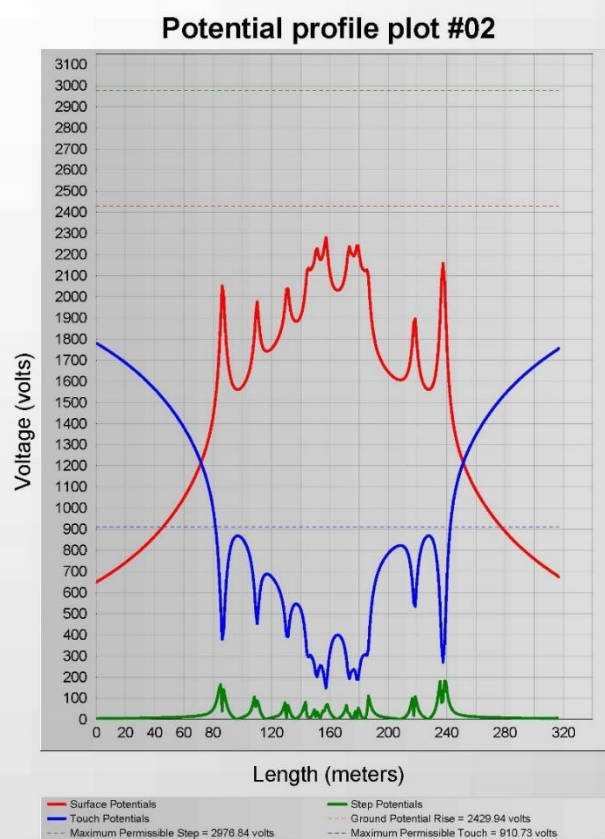
قبل از اعلام استفاده از بنتونیت از طرف کارفرما، از روش میله های سه گانه در این پلنت استفاده شده بود. چون میله های سه گانه به اندازه حدود ۴ متر از فنس به سمت داخل حوضچه ارت می آیند، و این موضوع بنتونیت نمی تواند در مورد آن ها انجام گیرد، روش کار به استفاده از میله های روی فنس تغییر یافت.

برای شبیه سازی اثر بنتونیت فرض شد که مقاومت خاک به وسیله این موارد به ۲.۵ اهم متر کاهش می یابد که عدد قابل قبولی است که از یک شرکت استخراج شده است. همچنین فرض شد که ۵۰ سانتی متر در دور هر میله بنتونیت ریخته شود که این عدد هم بر اساس جزییات نصب های رایج عدد معقولی است.

میله های عمودی تنها در ناحیه فنس اضافه شد که مقادیر ولتاژهای تماس و گام در محدوده خطرناک بود. همچنین، باتوجه به اهمیت این میله های جدید، به منظور افزایش قابلیت اطمینان طرح و نیز کاهش بیشتر مقدار مقاومت، این میله ها به وسیله سیم های وتری هم به هم متصل شدند. با اقداماتی که در بالا تشریح شد مقادیر ولتاژهای تماس و گام در ناحیه فنس در محدوده مجاز قرار گرفت. شکل های (۷) و (۸) تغییرات ایجاد شده در حوضچه ارت و ولتاژ گام و تماس در محدوده مجاز را نشان می دهد:



شکل (۷) میله گذاری جدید در پلنت



شکل (۸) ولتاژ گام و تماس در محدوده مجاز

نتیجه گیری

در این مقاله مشکلات ایجاد شده در منابع بالادست، سمت فشارقوی شبکه در زمانی که خطاهای تک فاز به زمین یا دوفاز به زمین در یک پلنت رخ می‌داد و باعث ایجاد ولتاژهای خطرناک گام و تماس و همچنین افزایش پتانسیل زمین می‌شد که با استفاده از استاندارد IEEE 80 و روش‌های ایجاد شده شناسایی و رفع گردید و همچنین راهکارهایی مانند چیدمان الکترودهای میله‌ای زمین به صورت سیم‌های وتری بررسی شد. ولتاژهای تماس و گام را در محدوده مجاز قرار گرفت که باعث افزایش قابلیت اطمینان و نیز کاهش بیشتر مقدار مقاومت زمین گردید. لازم به ذکر است هدف از تهیه این مقاله بیان روش بهبود سیستم زمین در پروژه‌های مشابه می‌باشد که مشاوران و طراحان می‌توانند با مطالعه این مقاله فرایند طراحی خود را بهبود بخشند.

منابع

- Simon Richards and Steve Potts and Graham Elliott and Michael Bergstrom and Michael Bamber. (2002). Network protection & automation guide.
- Rashad M. Kamel, and Bahman Kermanshahi. (2010). Design and implementation of models for analyzing the dynamic performance of distributed generators in the micro grid part I: Micro turbine and solid oxide fuel cell.
- Manish Kumar Saini, and Rajiv Kapoor. (2012). Classification of power quality events—a review. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 43(1), 11-19.
- Brian Scaddan. (2011). Electrical installation work. Routledge.
- Electrical Construction Standard Formulation Technical Committee. (2000). IEEE Std. 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding, The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Inc., New York.
- Jiaolong Wang and Yun Feng Ni and Zhizhong Li and Pan Zhang. (2018, October). An improved method for measuring grounding resistance of transport tower. In 2018 International Conference on Sensor Networks and Signal Processing (SNSP) (pp. 49-54). IEEE.
- Raizer Adroaldo and Valente Wilson and Coelho Vilson Luiz. (2017). Development of a new methodology for measurements of earth resistance, touch and step voltages within urban substations. Electric Power Systems Research, 153, 111-118.
- M. Talaat and M.A. Farahat and Mohamed Osman. (2016). Assessment of earthing system location for wind turbines using finite element method. Renewable Energy, 93, 412-423.
- Stanislav Ilenin and Zsolt Čonka and Michal Ivančák and Michal Kolcun and Gyorgy Morva. (2018, November). New way in design of a power station earthing system. In 2018 International IEEE Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE) (pp. 000163-000168). IEEE.
- Wilson Valente and Vilson Luiz Coelho and Adroaldo Raizer and Carlos I. Cardoso. (2015, September). Ground impedance assessment employing earth measurements, numerical simulations, and analytical techniques. In 2015 International Symposium on Lightning Protection (XIII SIPDA) (pp. 122-128). IEEE.
- Sunarto and Sudrajat and Yudi Prana Hikmat. (2022). Analysis of Earth Resistance Effect on The TT-Grounding System Against Electric Shock. Eksergi: Jurnal Teknik Energi, 18(3), 190-195.
- Yousef Al-Shawesh1 and Siow Chun Lim and Mutaz Nujaim. (2021, April). Analysis of the design calculations for electrical earthing systems. In IREE (Vol. 16, No. 2, p. 104).
- Isaac Kofi Nti and Albert Yaw Appiah and Owusu Nyarko-Boateng. (2020). Assessment and prediction of earthing resistance in domestic installation. Engineering Reports, 2(1), e12090.
- Darren John Woodhouse and William Carman and P W Y Poon. (1994). Measuring the Performance of Earthing Systems in Cable Fed Systems in Highly Urbanised Environments. In 10th CEPSE Conference (Vol. 3, pp. 101-112).
- Rashad Mohammedeen Kamel and Aymen Chaouachi and Ken Nagasaka. (2011). Comparison the performances of three earthing systems for micro-grid protection during the grid connected mode. Smart Grid and Renewable Energy, 2011.
- Angelo Campoccia and Eleonora Riva Sanseverino and Gaetano Zizzo. (2007, October). Earthing system's design in presence of non-uniform soil. In 2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation (pp. 1-6). IEEE.
- Lai Lai Win and Khin Thuzar Soe. (2016). Design consideration of electrical earthing system for high-rise building. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS), 26(2), 270-282.
- Nur Alia Farina Mohamad Nasir and Mohd Zainal Abidin Ab Kadir and Miszaina Osman and Muhamad Safwan Abd Rahman and Ungku Anisa Ungku Amirulddin and Mohd Solehin Mohd Nasir and Nur Hazirah Zaini and Nik Hakimi Nik Ali. (2021). Impact of Earthing System Designs and Soil Characteristics on Tower Footing Impedance and Ground Potential Rise: A Modelling Approach for Sustainable Power Operation. Sustainability, 13(15), 8370.



Siow Chun Lim and Chandima Gomes and Mohd Zainal Abidin Ab Kadir. (2013). Electrical earthing in troubled environment. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 47, 117-128.

IEEE Standards Association. IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System—Redline. IEEE Std 81–2012 (Revision of IEEE Std 81–1983)—Redline 2012; 2012.

Optimization of the Grounding System Design for a High Voltage Substation in Georgia Using CYMGRD Software Simulation

Mohammad Parhamfar

Researcher, consultant, and entrepreneur in the power and renewable energy industry

Ezzatollah Partovi Shal

Consultant and designer of grounding systems and lightning protection

Milad Taheri

Instructor at National and Skills University of Isfahan - National and Skills College for Boys No. 2 of Isfahan (Soroush)

Instructor at Safahan Higher Education Institute

Hani Pilevar

Consultant in the Power Industry

Abstract

Electrical grounding systems play a crucial role in protecting individuals and equipment from electric shock hazards and ensuring the performance and protection of equipment during faults in high voltage substations and distribution systems. In designing an electrical grounding system, the total ground resistance, the arrangement of ground rod electrodes, and the dimensions of the mesh must first be determined. Additionally, the grounding system must be designed to comply with international standards. This paper presents designs for single-phase-to-ground and two-phase-to-ground faults that occur in a plant and can cause ground potential rise issues, resulting in dangerous touch and step voltages. These designs comply with IEEE 80 standards and can improve the grounding network. The arrangement of ground rod electrodes is designed to keep touch and step voltages within permissible limits and enhance the reliability of the grounding network. This design has been implemented and utilized in Georgia and has been simulated using CYMGRD software.

Keywords: Grounding Protection System, Touch and Step Voltages, Ground Potential Rise, LG or LLG Fault, Soil Resistivity Measurement