بررسی تاثیر بخش فرکانس بالای پالس صاعقه بر روی ولتاژ نقاط مختلف شبکه زمین با در نظر گرفتن ترانسفورماتور قدرت

محمد طالب‌زاده[۱]، علیرضا ستایش‌مهر [۲،۱]* ، حسن براتی[۱]

۱- گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

*۲- استادیار گروه برق، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران، ar.setayeshmehr@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۵

چکیده: در حالت کلی زمین و اتصالات آن با یک امپدانس شامل مقاومت، خازن و سلف مدل می‌شود. مقاومت نقطه اتصال، به دلیل این که از مقاومت ویژه محل اتصال به زمین ناشی می‌شود، در مطالعاتی که در محدوده شبکه هستند به کار گرفته می‌شود. مقادیر ظرفیت خازنی و سلفی نیز برای مطالعاتی که در فرکانس‌های بالا و مرتبط با صاعقه و کلیدزنی بوده، مورد توجه هستند. در این مقاله تاثیر امپدانس زمین و شبکه مش‌بندی بر ولتاژ نقطه زمین پست‌های برق در زمان وقوع صاعقه بررسی شده است. ابتدا مدل الکتریکی خاک تعیین شده و سپس مدل الکتریکی شبکه مش‌بندی شده که توسط سیم‌های مسی به هم متصل شده‌اند، مدل شده است. در نهایت مدل الکتریکی الکترودهای زمین شده در گوشه‌ها و اطراف شبکه زمین نیز مدل می‌شوند. با اعمال ولتاژ به کمک صاعقه تولیدی بر روی خطوط فشار قوی متصل به ترانسفورماتور، مقدار ولتاژ نقطه زمین در نقاط مختلف شبکه مش‌بندی محاسبه و ترسیم شده است. تمامی این مراحل به کمک نرم‌افزار MATLAB/Simulink شبیه‌سازی شده‌اند. نتایج، تغییر سطح ولتاژ نقطه زمین در اثر اعمال ولتاژ صاعقه در نقاط مختلف شبکه مش‌بندی را نشان می‌دهند. مقدار امپدانس اندازه‌گیری شده تا فرکانس‌های متوسط به صورت ثابت و در فرکانس‌های بالا تا ۱ مگاهرتز به صورت افزایشی خواهد بود. تمامی اندازه‌گیری‌ها و محاسبات با در نظر گرفتن ترانسفورماتور قدرت و اتصال آن به شبکه مش‌بندی صورت پذیرفته است. هدف اندازه‌گیری ولتاژ نقاط مختلف شبکه مش‌بندی زمین با در نظر گرفتن ترانسفورماتور قدرت بوده است که در نهایت جهت تنظیم بهتر رله‌های حفاظتی، اندازه‌گیری دقیق مقدار امپدانس زمین انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: امپدانس زمین، پالس ولتاژ، صاعقه، مش‌بندی

۱- مقدمه

سیستم‌های زمین یکی از مهمترین المان‌های مطرح شده در شبکه‌های برق قدرت از جمله پست‌های برق هستند. هدف اصلی زمین در پست های برق قابلیت بهره‌برداری منا سب و حفاظت از تجهیزات و ا شخاص در زمان‌های خطا، صاعقه و کلیدزنی است[۲و۱]. سیستم زمین به مجموعه‌ای از هادی‌ها با ساختارهای متفاوت اطلاق می‌شود که در خاک قرار داده می‌شوند تا حفاظت از تجهیزات، ایمنی انسان در برابر برق گرفتگی، جلوگیری از اضافه ولتاژهای ناخواسته و آسیب دیدن

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022

تجهیزات ولتاژ بالا را بر عهده بگیرد و از طرفی مبنا بودن برای ولتاژ صفر در پدیده‌های گذرا، مانند صاعقه و کلیدزنی بر عهده سیستم زمین است[۴و۳]. برای طراحی سیستم زمین با استفاده از روش اجزاء محدود و تاثیری که رطوبت و دما بر رفتار مقاومت مخصوص زمین داشته و در دو حالت الکترود میله عمودی و الکترود نوع صفحه ای دفن شده در زمین در نظر گرفته شده است عامل بسیار مهمی در فرایند طراحی بوده که با استفاده از روش اجزاء محدود محاسبه می‌شود[۵]. اهمیت مقاومت زمین از آن جهت است که نقش مهمی در حفاظت از سیستم قدرت بر عهده دارد لذا مقدار آن را اندازه‌گیری می‌کنند تا از یک مقدار استاندارد مشخص در هر سیستمی تجاوز ننماید. در روش‌های عملی فعلی با استفاده از شیوه‌های مرسوم مقدار امپدانس DC زمین که همان مقدار اهمی است، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود؛ در حالی که جریان صاعقه با توجه به نوع شکل موج آن، شامل فرکانس‌های مختلفی است که منجر به تحلیل امپدانسی در شبکه زمین می‌شود و اطلاع از مقدار این امپدانس جهت حفاظت شبکه حائز اهمیت فراوان است. برای محاسبه امپدانس زمین روش‌های مختلفی ارائه شده است که آخرین روش‌های مذکور شامل روش مداری، خط انتقال و الکترومغناطیسی است[۶]. در دو روش اول با استفاده از فرض‌های ساده شونده و با تقریب، مسئله حل می شود در حالی که در روش الکترومغناطیسی با روش دقیق، محاسبه انجام می‌شود. لازم به ذکر است روش‌های تحلیلی و حل مستقیم بسیار سخت و زمان‌بر بوده و روش‌های عددی نیز به نوبه خود با مشکلات زیادی روبرو هستند. جهت تحلیل سیستم‌های زمین نیاز به چهار مرحله است: به‌دست آوردن مقاومت اهمی خاک، به‌دست آوردن مقادیر المان‌های الکتریکی مدار معادل شبکه مش‌بندی شده و الکترودهای زمین و در نهایت اعمال پالس ولتاژی[۷]. اندازه‌گیری امپدانس زمین در پست‌های برق تحت فرکانس‌های پایین و بالا انجام می‌گردد. برای این منظور، ابتدا سیستم زمین شبیه‌سازی می‌شود. خاک نیز بر اساس روش ونر و در چهار لایه مدل سازی و به سیستم زمین اضافه شد. این قسمت اساس اندازه‌گیری را تشکیل می‌دهد. سپس، سیستم آماده اندازه‌گیری امپدانس زمین و مقاومت اهمی خاک است. یک جریان الکتریکی گذرا میان الکترود زمین تحت اندازه‌گیری و الکترود زمین کمکی اعمال می‌شود.

یکی از متداول‌ترین سیستم‌های زمین در پست‌های برق، استفاده از شبکه مش‌بندی جهت اتصال زمین است؛ در این نوع سیستم زمین، پارامترهای مختلفی مانند رسانایی زمین، پرمابیلیته زمین، یونیزاسیون خاک، جنس و شعاع هادی‌های مدفون در زمین و بر رفتار دینامیکی آن تاثیر دارند. در مورد اثر پارامترهای مختلف زمین بر رفتار سیستم زمین و درنتیجه اضافه ولتاژ صاعقه به‌طور خلاصه می‌توان اشاره کرد که از بین رسانایی و پرمابیلیته، رسانایی زمین بیشترین اثر را بر پاسخ‌گذرای هادی لخت مدفون در زمین دارد[۸]. ساختار بسیار افزاینده مبتنی بر شبکه شبه امپدانس که دارای ساختاری ساده و در عین حال کاربردی متشکل از دو سلف و خازن می‌باشد، بهره ولتاژ را به مقدار چشم‌گیری افزایش می‌دهد[۹]. اثر افزایش مقاومت اهمی زمین بر شبکه زمین در نهایت موجب افزایش اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه خواهد شد. یکی از موارد مهم حالت‌های گذرا، صاعقه بوده که به‌منظور ارزیابی مناسب اضافه ولتاژ ناشی از آن، فهم مناسب میدان الکترومغناطیسی در طول مسیر موج صاعقه مورد نیاز است[۱۰]. یکی از مهمترین بخش‌ها درمسیر موج صاعقه، سیستم زمین بوده و از این‌رو است که اندازه‌گیری یا محاسبه امپدانس زمین حائز اهمیت فراوان است. از طرف دیگر روش‌های مختلفی برای حل این نوع مسائل الکترومغناطیسی وجود دارند. روابط ماکسول به عنوان مدل اصلی و قانون کلی حاکم بر مسائل الکترومغناطیس است و بسیاری دیگر از روش‌ها از این روابط شروع شده و یا از آنها استخراج شده‌اند. به عنوان مثال به موازات روش‌های متداول حل مسائل الکترومغناطیسی، روش‌های عددی نیز به عنوان ابزاری ارزشمند در حل اینگونه مسائل مورد توجه قرار گرفته و در سال‌های اخیر توسعه یافته و کاربردهای گسترده‌ای نیز پیدا کرده‌اند[۱۱]. روش‌های عددی و تحلیلی هر یک به نوبه خود مشکلاتی به همراه داشته و در برخورد با مسائل عملی محدودیت‌هایی به همراه دارند. از مهم‌ترین مشکلات روش‌های عددی حل مسائل الکترومغناطیسی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد[۱۲]:

زمان‌بر بودن آنالیزهای عددی روابط تحلیلی پیچیده

سخت بودن مدل‌سازی‌ها

عدم توانایی در درک و تفسیر صحیح اطلاعات صرفا با روش‌های حل فیزیکی

از آنجا که سرعت حل این گونه مسائل از اهمیت بالایی برخوردار است، لذا تلاش‌های بسیاری برای یافتن روش‌های بهینه، سریع و دقیق صورت گرفته است. از این‌رو یافتن راه حل‌های جدید همواره مدنظر محققین این عرصه بوده است. در حقیقت در فرکانس‌های پایین امپدانس سیستم زمین عمدتا مقاومتی است اما با افزایش فرکانس رفتار سیستم زمین ممکن است سلفی یا خازنی شود. به عبارت دیگر در فرکانس‌های پایین امپدانس هارمونیکی زمین مستقل از فرکانس و در فرکانس‌های بالا امپدانس زمین هارمونیکی و وابسته به فرکانس است. که این وابستگی در ارزیابی اضافه ولتاژ صاعقه موثر بوده زیرا ممکن است در جریان صاعقه فرکانس‌های بالا هم حضور داشته باشند[۱۳]. هم رسانایی زمین و هم نفوذپذیری نسبی آن هر دو تابع فرکانس هستند. مطابق تحقیقات می توان با استفاده از نتایج آزمایشات خاک و نتایج حاصله از همبستگی آماری سه پارامتر مهم یک رابطه برای رسانایی و نفوذپذیری خاک با دقت خوب ارائه داد. مشاهده می‌شود که امپدانس ورودی سیستم زمین با توجه به شکل موج صاعقه و پارامترهای خاک مانند مقاومت ویژه و یا طول و قطر میله زمین تغییر می‌کند و در نتیجه ولتاژ ناشی از صاعقه در سیستم زمین تغییر می‌نماید[۱۴]. تغییر در هرکدام از متغیرها باعث پیچیدگی بیشتر مسئله و یا حل مجدد آن خواهد شد. برای این منظور، امپدانس ورودی سیستم زمین را در حوزه فرکانس از حدود ۱۰۰ هرتز

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022

تا ۱ مگاهرتز شروع کرده و رفتار سیستم زمین به‌وسیله منحنی‌های ساده فازی استخراج می‌گردد و از آن به عنوان رفتار کل سیستم استفاده می‌شود.

در این مقاله رفتار سیستم زمین در حوزه فرکانس بررسی و مدل‌سازی شده است. ضمن آنکه بدون استفاده از تقریب‌های نادرست و با استفاده از داده اولیه دقیق به‌دست آمده از روش الکترومغناطیسی، اثر پارامترهای مختلف مانند شعاع میله زمین و مقاومت ویژه زمین نیز لحاظ شده است. همچنین با حفظ دقت، زمان شبیه‌سازی نیز کاهش یافته و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار متلب تحلیل‌ها و تفسیرهای مهمی نیز از پارامترهای موثر به‌دست آمده است. نکته حائز اهمیت در این مقاله نسبت به پژوهش‌های گذشته در نظر گرفتن ترانسفورماتور قدرت در تحلیل و محاسبات اختلاف ولتاژها و مقدار امپدانس روی شبکه مش‌بندی زمین بوده است که نتایج به دست آمده می‌توانند به صورت عملیاتی و واقعی مورد تحلیل و استفاده قرار گیرند. جهت عملکرد صحیح رله‌های حفاظتی و اتصال سیستم نول آن‌ها به نقطه صفر واقعی، اندازه‌گیری دقیق مقدار امپدانس زمین در فرکانس‌های مختلف می‌تواند جهت بهبود دقت عملیاتی شدن رله‌های حفاظتی حائز اهمیت باشد.

نوآوری مقاله به صورت خلاصه عبارتند از: الف) مدل کردن الکتریکی شبکه مش‌بندی زمین با درنظر گرفتن تمامی المان‌ها ب) اندازه‌گیری و مقایسه ولتاژهای نقاط مختلف شبکه مش‌بندی زمین در نقاط وسط، گوشه و کناری ج) اندازه‌گیری امپدانس شبکه زمین از فرکانس‌های کم تا فرکانس ۱ مگا هرتز د) تحلیل شبکه مش‌بندی زمین و اندازه‌گیری امپدانس زمین با وجود ترانسفورماتور قدرت ه) اعمال پالس صاعقه به سر اولیه سیم‌پیچ ترانسفورماتور با در نظر گرفتن القای متقابل بین سیم‌پیچ‌ها.

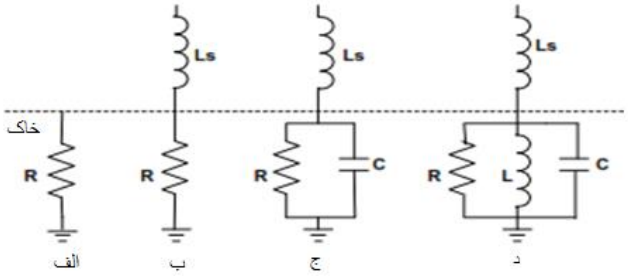
این مقاله در ادامه از بخش‌های زیر تشکیل شده است: در بخش دوم، مدل‌کردن قسمت‌های مختلف شبکه مش‌بندی زمین ارائه می‌گردد. در بخش‌های سوم و چهارم به ترتیب مدل‌سازی شکل موج ضربه ولتاژ استاندارد کامل و مدل‌سازی ترانسفورماتور قدرت بیان می‌شوند. در بخش پنجم با تجمیع مدل‌های قبلی، مدل شبیه‌سازی شده شبکه مش‌بندی زمین پست برق ارائه خواهد شد و درنهایت در بخش ششم به مقایسه نمودارهای مختلف ولتاژهای اندازه‌گیری شده شبکه مش‌بندی زمین پرداخته خواهد شد.

۲- مدل کردن قسمت‌های مختلف شبکه مش‌بندی زمین

با توجه به این که هدف این مقاله بررسی تاثیر پالس صاعقه بر روی ولتاژ نقاط مختلف شبکه زمین با حضور ترانسفورماتور قدرت است. لذا در ابتدا باید به مدل سازی الکتریکی سه عنصر زمین، صاعقه و ترانس پرداخته شود. در این قسمت به مدل الکتریکی قسمت‌های مختلف شبکه مش‌بندی زمین شامل الکترود، سیم و زمین به همراه مطالب تئوری موجود در آن پرداخته می‌شود و در قسمت‌های بعد مدل صاعقه و ترانس ارائه خواهد شد.

۲-۱- مدل الکتریکی الکترود

مدل‌های مختلفی از الکترودها در شکل۱ نشان داده شده است:



شکل (۱) مدل‌های مختلف الکتریکی میله زمین[۱۵]

برای فرکانس‌های پایین تا kHZ، این الکترود می‌تواند مثل شکل ۱-الف در نظر گرفته شود. شکل ۱-ب برای ساختارهای حفاظتی با ارتفاع زیاد که اثر القایی کابل‌های متصل به الکترودها وجود دارد در نظر گرفته می شود. برای فرکانس‌های بالا تا MHZ، با استفاده از یک خازن موازی با مقاومت طبق شکل ۱-ج می‌توان مدل‌سازی نمود. در شکل ۱-د خود القایی الکترود و در نظر گرفتن تمامی موارد محاسباتی مورد توجه قرار می‌گیرد.

در این مقاله الکترودها بر اساس شکل ۱-د مدل‌سازی شدند اما اتصال اندوکتانس سیم‌ها در نظر گرفته نشده است. مقاومت الکترود، ظرفیت خازنی الکترود و اندوکتانس الکترود می‌توانند به وسیله معادله‌های ۱، ۲ و ۳ محاسبه شوند[۱۵]:

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma z}\left[\ln\left(\frac{2z}{r}\right)\right]\Omega \qquad (۱)$$

$$c = \frac{2\pi\varepsilon z}{\ln\left(\frac{2z}{r}\right)}F \qquad (۲)$$

$$L = \frac{\mu z}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{2z}{r}\right)\right]\mathrm{H} \qquad (۳)$$

که در آن R مقاومت الکترود (Ω)، C ظرفیت خازنی الکترود(F)، L اندوکتانس الکترود(H)، σ رسانایی خاک(S/m)، μ ثابت نفوذپذیری مغناطیسی خاک (H/m)، ε نفوذپذیری دی الکتریک خاک (F/m)، r شعاع الکترود (m)، z طول الکترود است.

۲-۲- مدل الکتریکی سیم

برای شبکه مش‌بندی زمین از تعدادی سیم به صورت افقی و متصل به الکترودها استفاده می‌شود و همه سیم‌ها در عمق h(m) از سطح زمین قرار می‌گیرند. جهت مدل کردن الکتریکی سیم‌ها می‌توان از معادله‌های

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022

۴، ۵ و ۶ برای به دست آوردن مقادیر R_C، L_C و C_C استفاده کرد[۱۶].

$$Rc = \frac{1}{2\pi\sigma}\left[\ln\left(\frac{2z}{\sqrt{2hrc}}\right)-1\right]\Omega/m \quad (۴)$$

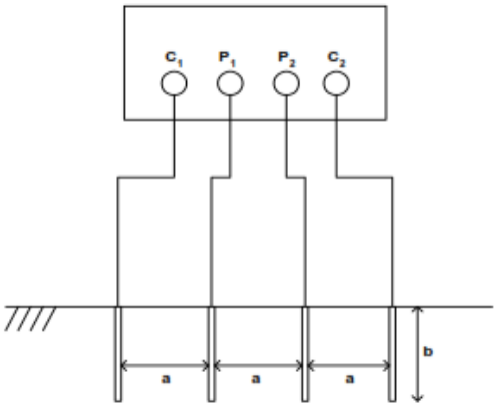
$$Lc = \frac{\mu}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{2h}{rc}\right)\right] \mathrm{H/m} \quad (۵)$$

$$cc = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln\left(\frac{2h}{rc}\right)} F/m \quad (۶)$$

که در آن Rc مقاومت کابل(Ω/m)، Lc اندوکتانس کابل (H/m)، Cc ظرفیت خازنی کابل (F/m)، r_c شعاع کابل (m) و h عمق کابل (m) است.

۳-۲- اتصال شبکه مش‌بندی زمین و خاک

روش ونر یکی از بهترین و مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری مقاومت ویژه خاک مطابق با استاندارد IEEE ۸۱-۲ است. در این روش غالباً از چهار الکترود زمین استفاده می‌شود. الکترودها در چهار نقطه از زمین به عمق b و به فاصله a از هم قرار می‌گیرند جریان اعمالی I میان دو الکترود بیرونی وارد شده و ولتاژ V میان دو الکترود داخلی با استفاده از ولت‌متری با امپدانس بالا، اندازه‌گیری می‌شود. سپس بر اساس معادله V/I مقدار مقاومت بر حسب اهم به دست می‌آید[۱۷-۲۰]. شکل۲ جزئیات روش ونر را نشان می‌دهد:



شکل (۲) روش ونر[۱۷]

مقاومت اهمی خاک را می‌توان از معادله زیر به دست آورد[۱۷]:

$$\rho = k.R \quad (۷)$$

که در آن مقدار K برابر است با:

$$k = \frac{4\pi a}{1+\frac{2a}{\sqrt{a^2+4b^2}}-\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}} \quad (۸)$$

که در آن ρ مقاومت خاک (Ωm)، a فاصله بین میله‌ها (متر)، b عمق میله (متر) و k امپدانس مشخصه مدار تشدید است.

در این مقاله برای مدل‌سازی خاک از موازی کردن مقاومت و خازن بر اساس[۲۱] استفاده شده است. رنج فرکانس بهره‌برداری با در نظر گرفتن اثرات مختلف، قطبیت الکترود و مدار رزونانس الکتریکی انتخاب می‌شود. مقیاس‌های مقاومت R و خازن C نشان می‌دهند اثرات رزونانس الکترونیکی در فرکانس بالاتر از ۲MHz، به سایز الکترود، سیم‌ها و هدایت‌پذیری خاک بستگی دارد. داده‌های مقاومت یک پاسخ نسبتاً ثابتی را با رنج پایین‌تر از ۵۰۰kHz نشان می‌دهند به عبارت دیگر اندازه‌های خازنی تنها برای شارهای با غلظت یونی پایین ثابت بین ۱۰۰kHz و ۲MHz هستند. امپدانس خاک مطابق با معادله (۹) محاسبه می‌شود و مقاومت خاک به همراه خازن آن به ترتیب طبق معادلات (۱۰) و (۱۱) قابل بیان است[۲۱].

$$Z^* = \left[\frac{1}{R_{soil}} + jwC_{soil}\right]^{-1} \Omega \quad (۹)$$

$$R_{soil} = \alpha.\rho_{soil} \quad (۱۰)$$

$$C_{soil} = \beta.\varepsilon_0.k_{soil} \quad (۱۱)$$

که در آن α ضریب مقاومت، β ضریب خازنی، ε_0 ضریب نفوذپذیری خلاء و k_{soil} تراوایی خاک است.

۳-مدل‌سازی شکل موج ضربه ولتاژ استاندارد کامل

تا این جا نحوه مدل‌سازی الکتریکی قسمت‌های مختلف شبکه مش‌بندی زمین بیان گردید. در این قسمت تلاش می‌شود تا شکل موج صاعقه برای اعمال به این شبکه مش‌بندی نیز مدل‌سازی گردد.

جهت اندازه‌گیری امپدانس زمین نیاز است که با اعمال پالس صاعقه در نقاط مختلف شبکه مش‌بندی زمین به مقادیر واقعی دست یافت. در این خصوص باید پالسی با مشخصات صاعقه اعمال شود.

مشخصات اصلی این شکل موج در استاندارد IEC-۶۰۰۶۰-۱ بیان شده است. قله این شکل موج در زمان ۱/۲μs ایجاد شده و دم موج در مدت زمان ۵۰μs به مقدار ۵۰٪ از مقدار قله کاهش می یابد[۲۲]. می‌توان این شکل موج را از جمع دو تابع نمایی، به صورت زیر ایجاد نمود[۲۳]:

$$V = V_0\left[\exp(at)-\exp(-\beta t)\right] \quad (۱۲)$$

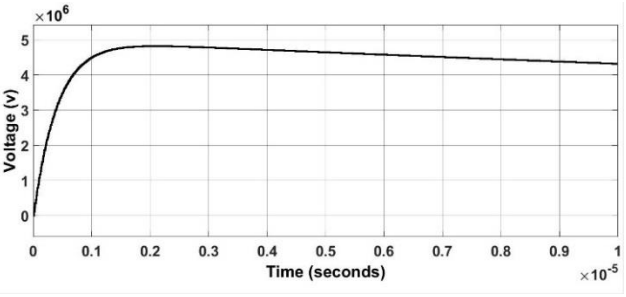
که در آن، ۱۰^۶ * ۰/۰۱۴۶ = α و ۱۰^۶ * ۲/۴۶۷ = β و V_0 = ۵۰۰۰۰۰۰ هستند.

نحوه ایجاد این شکل موج در محیط سیمولینک در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که در معادله ۱۲ نیز مشخص است، مقادیر β و α به صورت اندازه شیب برای تولیدکننده‌های توابع ریاضی شیب تعریف شده‌اند. سپس خروجی این تولیدکننده‌های شیب به بلوک‌های تولید کننده توابع نمایی وارد شده و سپس تابع نمایی β با استفاده از یک تابع بهره با مقدار منفی یک دچار تغییر علامت شده و با تابع نمایی α جمع می‌گردد. برای اعمال این شکل موج ولتاژ ضربه‌ای به

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

مدل شبیه سازی شده ترانسفورماتور، نیاز به استفاده از بلوک کنترل ولتاژ نیز است.

در شکل۳ می‌توان شکل موج ولتاژ ضربه‌ای استاندارد شبیه‌سازی شده در برنامه متلب را مشاهده کرد:



شکل۳: موج ولتاژ ضربه‌ای استاندارد شبیه‌سازی شده با پیک ولتاژی 5MV

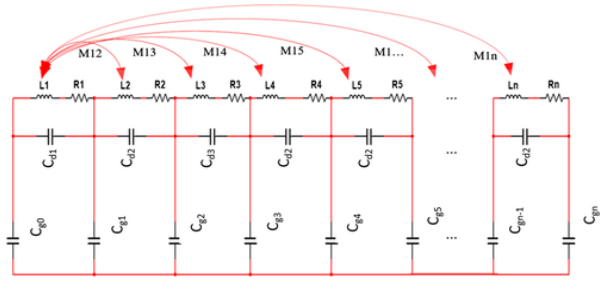
علاوه بر موارد یاد شده پارامترهای دیگری نیز در اندازه اضافه ولتاژ صاعقه بر خط انتقال موثرند که معمولاً وابسته به خود صاعقه هستند که از جمله آنها می‌توان به شکل جریان صاعقه بر حسب زمان، ارتفاع و نوع ابرهای باردار بوجود آورنده صاعقه، ارتفاع نقطه مرکز ابرهای باردار از زمین و ... اشاره نمود که در بسیاری از مراجع به علت پیچیدگی‌های زیاد یا اثر کم، از درنظر گرفتن آنها خودداری می‌شود و در این تحقیق نیز از بیان آنها صرفنظر شده است.

۴-مدل‌سازی ترانسفورماتور قدرت

ساختار اتصال سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور برای مدار معادل سیم‌پیچ‌های یک فاز ترانسفورماتور سه فاز به صورت شکل ۴ است.

برای ایجاد مدل در محیط سیمولینک برنامه متلب، ترانسفورماتور قدرت از ۹ دیسک تشکیل شده است. با این کار هم می‌توان فایل شبیه‌سازی را به صورت مرتب‌تری ایجاد کرد و هم امکان عیب‌یابی ساده‌تر آن فراهم می‌شود.

لازم به ذکر است که با توجه به ساختار مدار معادل، برای ایجاد ۹ دیسک در محیط سیمولینک، نیاز به خازن‌های ما بین سیم‌پیچ‌ها و زمین به صورت ظرفیت خازنی است که این کار موجب می‌شود مدل‌های مربوط به هر حلقه به صورت مجزا ایجاد گشته و سپس این مدل‌ها به صورت سری به یکدیگر متصل شوند. ترانسفورماتور قدرت مورد نظر شامل ۹ دیسک بوده که به صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند. همچنین برای راحتی در انجام شبیه‌سازی، فقط یک فاز از ترانسفورماتور سه فاز مدل سازی می شود که به علت وجود تقارن در سیم‌پیچ‌های سه فاز، بررسی تنها یک فاز از ترانسفورماتور نیز کافی است. پالس صاعقه به دیسک ابتدایی سیم‌پیچ ترانسفورماتور اعمال شده و پس از عبور از تمامی دیسک‌ها، از طریق آخرین دیسک زمین می‌شود.



شکل ۴: ساختار سیم‌پیچ مدل دقیق یک ترانسفورماتور قدرت[۲۳]

در این مدل‌سازی اثر خودالقایی و القای متقابل سیم‌پیچ های ترانسفورماتور نیز مدنظر قرار گرفته است.

برای ایجاد مدلی مناسب از ترانسفورماتور مورد نظر، می‌توان پارامترهای مختلف سیم‌پیچ‌ها را مطابق [۲۵و۲۴] به صورت جدول ۱ در نظر گرفت:

جدول ۱: پارامترهای مختلف سیم‌پیچ‌ها در ترانسفور ماتور قدرت نوعی[۲۵و۲۴]

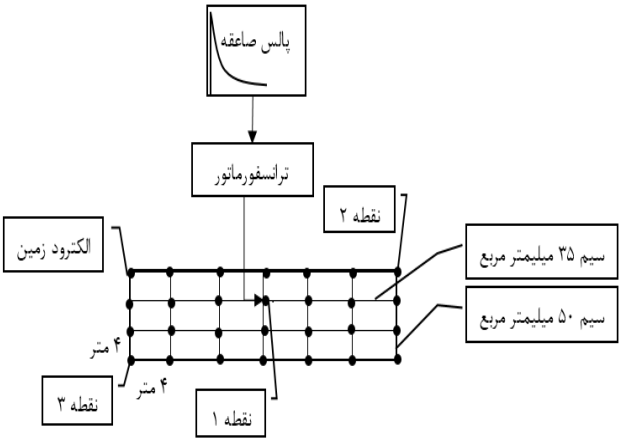
لایه‌های هادی	ظرفیت خازنی(pf)		اندوکتانس	مقاومت
(from-to)	Cs	Cg	(mH)	اهم
L۱-۱	-	۳/۴ * ۱۰^-۴	-	-
L۲-۱	۸/۵ * ۱۰^-۳	۳/۵ * ۱۰^-۴	۱/۱	۴
L۳-۱	۸/۷ * ۱۰^-۳	۳/۷ * ۱۰^-۴	۱/۱	۴
L۴-۱	۹/۰ * ۱۰^-۳	۳/۸ * ۱۰^-۴	۱/۱	۴
L۵-۱	۹/۲ * ۱۰^-۳	۴/۰ * ۱۰^-۴	۱/۱	۴
L۶-۱	۹/۵ * ۱۰^-۳	۴/۲ * ۱۰^-۴	۱/۱	۴
L۷-۱	۹/۷ * ۱۰^-۳	۴/۴ * ۱۰^-۴	۱/۱	۴
L۸-۱	۱/۰ * ۱۰^-۲	۴/۶ * ۱۰^-۴	۱/۱	۴
L۹-۱	۱/۰۲ * ۱۰^-۲	۴/۸ * ۱۰^-۴	۱/۱	۴

با توجه به فاصله سیم‌پیچ‌ها و تقارن دیسک‌ها تمام اندوکتانس‌های خودی دیسک‌ها (Lii = Ljj) با هم برابر و اندوکتانس‌های متقابل بین دیسک‌ها ضریبی از اندوکتانس خودی در نظر گرفته شده‌اند. ضریب مورد اشاره متناسب با فاصله دیسک‌ها از هم دیگر به صورت نمایی کاهش یافته‌اند.

۵-مدل شبیه‌سازی شده شبکه مش‌بندی زمین پست برق

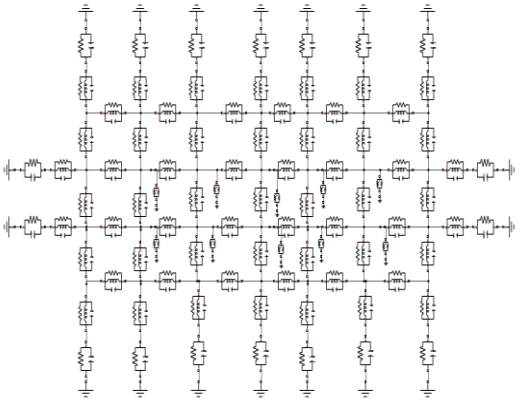
تا این جا مدل خاک، صاعقه و ترانسفورماتور قدرت به صورت تفصیلی در محیط سیمولینک مطلب بیان گردید. در این قسمت با تجمیع مدل‌های ارائه شده، مدل کلی قابل استفاده در این مقاله مطابق شکل ۵ ارائه می‌گردد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل (۵): جزییات مدل خطی شبکه

سیستم زمین و خاک با استفاده از نرم‌افزار سیمولینک متلب شبیه سازی شده‌اند. تجزیه و تحلیل سیستم زمین تا حدودی پیچیده است. شبیه‌سازی روی پروژه سیستم زمین با مشخصات ۲۸ الکترود در فضایی با طول ۲۴ متر و عرض ۱۲ متر با فواصل ۴ متری تو سط یک سیم با سایز ۵۰ میلی‌متر مربع جهت اتصالات بیرونی و کابل ۳۵ میلی‌متر مربع برای دیگر اتصالات مش‌بندی شده‌اند. سیستم زمین در شکل (۶) نمایش داده شده است. ابتدا نیاز است که سیستم زمین به همراه تمامی المان‌های تشکیل دهنده آن مدل‌سازی گردد. جزییات الکترودها، سیم‌ها و اتصال بین شبکه زمین با خاک در شکل ۶ آورده شده است.



شکل (۶): مدل الکتریکی شبکه مش‌بندی زمین با تمامی المان‌ها

مقادیر خازن‌ها، مقاومت‌ها و سلف‌های به کار برده شده در شکل ۶ برای یک شبکه مش‌بندی نوعی و با استفاده از روابط ۱تا۱۱ مطابق جدول ۲ به‌دست می‌آیند:

جدول ۲: مقادیر به دست آمده از محاسبات و المان‌های شبکه مش‌بندی

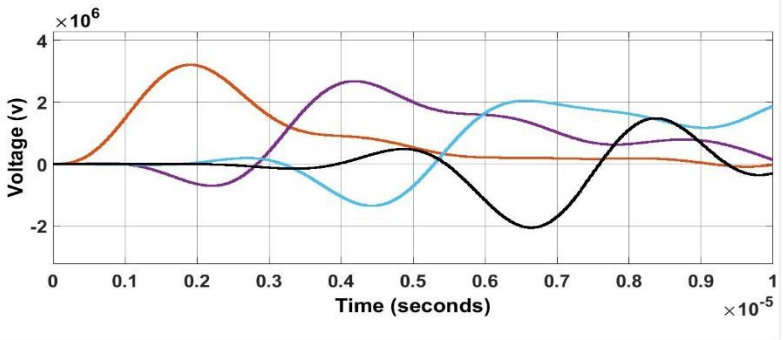
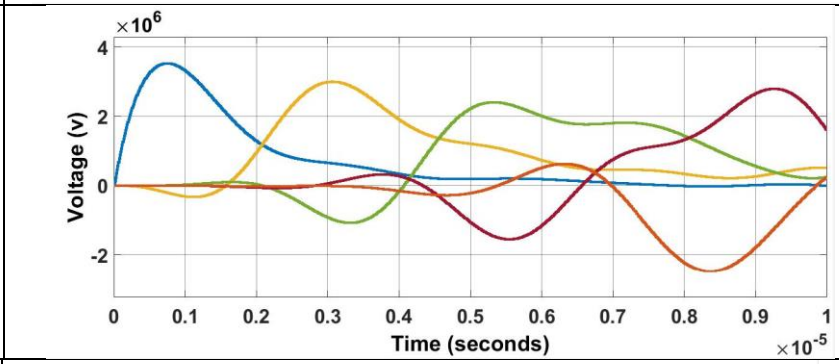
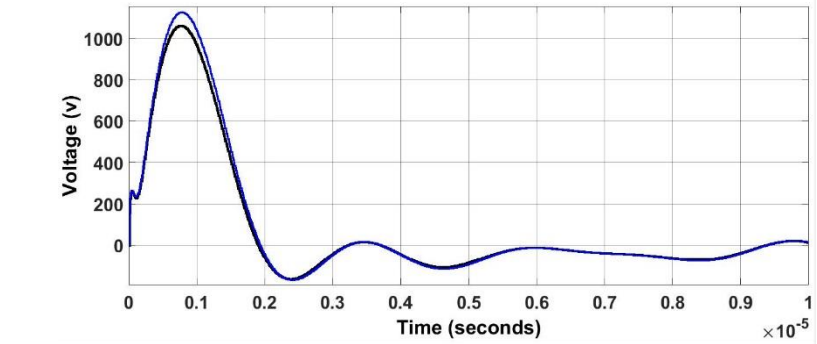
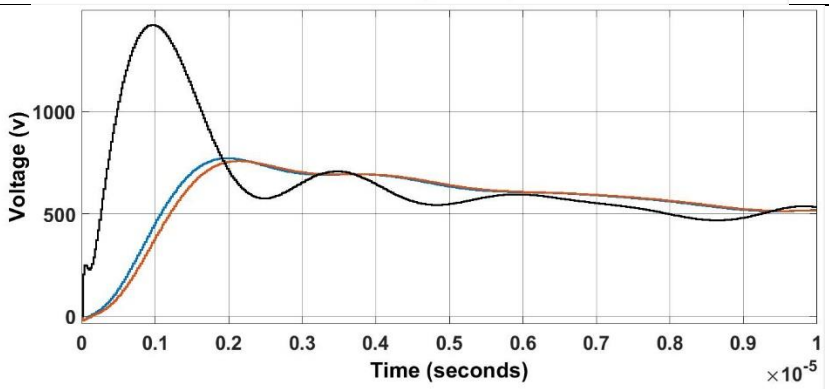
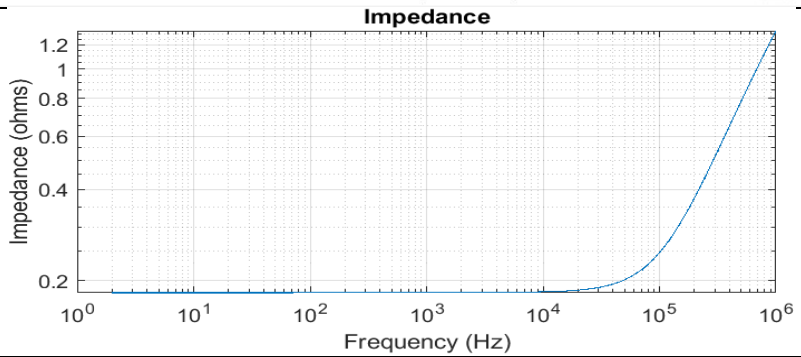
پارامتر	نماد	مقدار
شعاع الکترود	r	۸ mm
طول الکترود	z	۲/۴ m
رسانایی خاک	σ	۱/۷۰ $[(\Omega m)^{-1}]$
ثابت تراوایی مغناطیسی خاک	μ	$۴\pi * ۱۰^{-۷}$ H/m
تراوایی دی الکتریک خاک	ε	$۱/۳۲۸۱ * ۱۰^{-۹}$F/m
عمق کابل	h	۰/۵ m
عمق الکترود	b	۰/۴ m
سایز سیم	r_c	۵۰-۳۵ mm^2
مقاومت الکترود	R	۲/۳۷ Ω
ظرفیت خازنی الکترود	C	$۳/۹۲ * ۱۰^{-۸}$ F
اندوکتانس الکترود	L	$۲۴/۴۸ * ۱۰^{-۸}$ H
مقاومت کابل	$Rc_{۵۰mm^۲}$	۲۱/۷۹ Ω/m
ظرفیت خازنی کابل	$Cc_{۵۰mm^۲}$	$۲/۱۳ * ۱۰^{-۹}$ F/m
اندوکتانس کابل	$Lc_{۵۰mm^۲}$	$۷/۸۲ * ۱۰^{-۷}$ H/m
مقاومت کابل	$Rc_{۳۰mm^۲}$	۱۸/۹۴ Ω/m
ظرفیت خازنی کابل	$Cc_{۳۰mm^۲}$	$۲/۴۵ * ۱۰^{-۹}$ F/m
اندوکتانس کابل	$Lc_{۳۰mm^۲}$	$۶/۸ * ۱۰^{-۷}$ H/m
مقاومت خاک	$R_{خاک}$	۵/۱۳ Ω
ظرفیت خازنی خاک	$c_{خاک}$	۴۰/۱ Pf

با ورود داده‌های جدول ۲ به عنوان المان‌های الکتریکی مربوط به شکل ۶ در محیط سیمولینک متلب، مدل‌سازی شبکه مش‌بندی زمین مورد مطالعه انجام پذیرفته است.

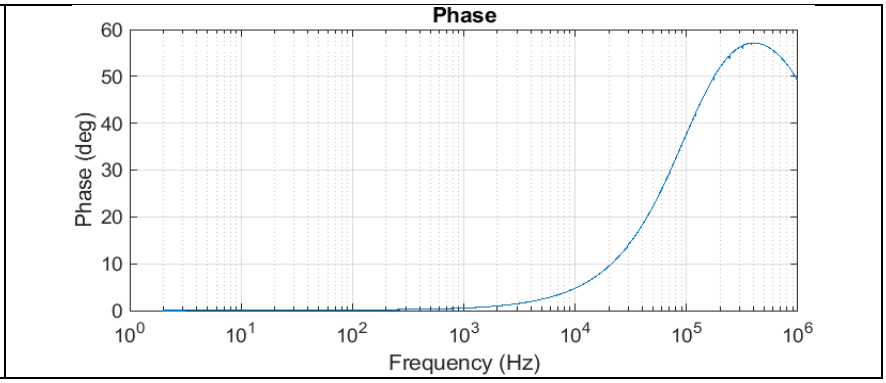
۶-مقایسه نمودارهای مختلف ولتاژهای اندازه‌گیری شده شبکه مش‌بندی زمین

تا این جا نحوه مدل‌سازی شبکه مش‌بندی زمین به همراه صاعقه و ترانس قدرت بیان گردید. در این قسمت به مقایسه ولتاژ سه نقطه ۱، ۲ و ۳ موجود در شکل ۵ پرداخته می‌شود. معمولا ترانس‌ها در مرکز شبکه مش‌بندی وصل می‌شوند لذا نقطه ۱ برای محل اتصال ترانس به شبکه مش‌بندی در نظر گرفته می‌شود. انتظار می‌رود که ولتاژ اندازه‌گیری شده در تمامی نقاط روی شبکه مش‌بندی زمین از جمله ولتاژ نقاط ۱، ۲ و ۳ صفر باشد. این موضوع در شکل ۷ و با حضور پالس صاعقه در فرکانس‌های بالا مورد برر سی قرار می‌گیرد. برای این منظور پالس ولتاژی صاعقه بر روی خطوط تغذیه کننده ترانسفورماتور اعمال می‌شود. این پالس به سیم‌پیچ‌ها و در نهایت به نقطه ۱ شبکه مش‌بندی شده زمین پست برق که قبلاً به صورت شماتیک در شکل(۵) نشان داده شده است وارد می‌شود.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

وضعیت	نمودار
مقایسه نمودار ولتاژهای اندازه‌گیری شده دو سر دیسک‌های زوج ترانسفورماتور نمودار نارنجی: دیسک ۲ نمودار بنفش: دیسک ۴ نمودار آبی: دیسک ۶ نمودار مشکی: دیسک ۸	
مقایسه نمودار ولتاژهای اندازه‌گیری شده دو سر دیسک‌های فرد ترانسفورماتور نمودار آبی: دیسک ۱ نمودار زرد: دیسک ۳ نمودار سبز: دیسک ۵ نمودار قرمز: دیسک ۷ نمودار نارنجی: دیسک ۹	
مقایسه نمودارهای ولتاژهای اندازه‌گیری شده نقاط ۲ و ۳ شکل (۵) نسبت به نقطه ۱ نمودار مشکی: اختلاف ولتاژ بین دو نقطه ۱ و۲ نمودار آبی: اختلاف ولتاژ بین دو نقطه ۱ و۳	
مقایسه نمودارهای ولتاژهای اندازه‌گیری شده نقاط ۱ و ۲ و ۳ شکل (۵) نسبت به زمین نمودار مشکی: نمودار نقطه ۱ نمودار آبی: نمودار نقطه ۲ نمودار قرمز: نمودار نقطه ۳	
نمودار امپدانس اندازه‌گیری شده شبکه مش‌بندی زمین در نقطه ۱ شکل (۵)	

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

	نمودار زاویه فازی امپدانس اندازه‌گیری شده شبکه مش‌بندی زمین در نقطه ۱ شکل (۵)

شکل (۷): مقایسه نمودارهای مختلف اندازه‌گیری شده شبکه مش‌بندی زمین

با مقایسه نمودارهای اندازه‌گیری شده در شکل ۷ مشخص می‌شود که مقدار اختلاف ولتاژ در نقاط مختلف شبکه مش‌بندی زمین تا زمان حدود ۲ میکروثانیه اتفاق می‌افتد و پس از آن تفاوت مقادیر اندازه‌گیری شده به کمترین مقدار خود می‌رسند بطوریکه نمودارهای مقایسه‌ای نشان داده شده در شکل (۷) به صورت نمودارهای روی هم، این موضوع را تصدیق می‌کنند. از طرفی مقدار امپدانس اندازه‌گیری شده تقریبا از فرکانس‌های 10^4 هرتز به بعد به صورت افزایشی بوده که خود دلالت بر اثر برخورد پالس صاعقه با ترانسفورماتور دارد. پیک ولتاژ اندازه‌گیری شده در زمان ۱ میکرو ثانیه حدود ۱۴۰۰ ولت است که در نمودار امپدانس اندازه‌گیری شده دقیقا روی فرکانس ۱ مگا هرتز مقدار امپدانس به حداکثر مقدار خود که ۱/۲ اهم می‌باشد رسیده است. در [۲۰و۶] به دلیل اینکه فقط قسمت اهمی شبکه زمین مدنظر قرار گرفته بود مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده در فرکانس‌های پایین حدود ۰/۲ اهم بوده است. درحالی‌که در این مقاله با توجه به اینکه مدل کامل الکتریکی از شبکه زمین شبیه‌سازی شده، مقدار امپدانس زمین در فرکانس‌های بالا مقدار ۱/۲ اهم ثبت شده است. با مقایسه نمودار ولتاژهای اندازه‌گیری شده دو سر دیسک‌های فرد و زوج ترانسفورماتور می‌توان مشاهده کرد که با افزایش زمان، مقدار ماکزیمم ولتاژ اعمالی از طریق پالس صاعقه به دیسک‌های ترانسفورماتور کاهش یافته و در مرحله نهایی از طریق دیسک آخر به شبکه مش‌بندی زمین وارد و تخلیه می‌گردد. لذا با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که وقوع صاعقه یا کلیدزنی‌های مکرر در شبکه تحت فرکانس‌های بالا می‌تواند نقطه صفر شبکه مش‌بندی را دارای ولتاژ کند که این موضوع در اندازه‌گیری‌ها و عملکرد رله‌های حفاظتی اخلال ایجاد می‌کند. تفاوت مقدار ولتاژ در نقاط مختلف شبکه زمین می‌تواند خطرات ولتاژ گام در محیط پست برق را برای کارکنان و تجهیزات به‌وجود آورد. در مقالات گذشته عمدتا مقاومت اهمی نقطه زمین مد نظر بوده است این در حالی است که در این مقاله اندازه‌گیری امپدانس زمین تا فرکانس ۱MHz مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که در فرکانس‌های بالا، شبکه علاوه بر خاصیت اهمی دارای خاصیت سلفی و خازنی نیز هست. لذا جهت عملکرد مناسب رله‌های حفاظتی، اندازه‌گیری دقیق مقدار امپدانس زمین در تمامی فرکانس‌های اعمالی مورد توجه می‌باشد.

۷-نتیجه‌گیری

استفاده از شبکه مش‌بندی زمین در پست‌های برق در صورتیکه طبق استانداردهای لازم محاسبه و طراحی شوند؛ یعنی در محاسبات المان‌های آن به جای اندازه‌گیری مقاومت زمین، اندازه‌گیری امپدانس زمین مورد توجه قرار بگیرد می‌تواند جهت تنظیم مناسب عملکرد رله‌های حفاظتی مدنظر قرار گرفته و در محاسبات و تنظیمات رله‌ها مورد استفاده قرار گیرد. ولتاژهای صاعقه و کلیدزنی که دارای شکل موج‌های گذرایی تا حدود ۱ مگا هرتز هستند با اعمال بر روی خطوط برق و سپس عبور از سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور وارد شبکه مش‌بندی زمین می‌شوند و هر چه مقدار امپدانس شبکه زمین کمتر باشد مقدار ولتاژ کمتری روی شبکه مش‌بندی اعمال و منجر به کاهش ولتاژهای گام و تماس خواهد شد. عملکرد صحیح رله‌های حفاظتی منوط به اتصال به سیم نول با ولتاژ صفر می‌باشند که باید در محاسبات سیستم‌های شبکه زمین، اعمال پالس‌هایی با فرکانس‌های بالا را نیز مدنظر قرار داد تا به‌توان جهت عملکرد صحیح آنها، تنظیمات اولیه مناسبی انجام داد. توزیع ولتاژ بر روی نقاط مختلف شبکه مش‌بندی زمین در اثر برخورد پالس صاعقه و اندازه‌گیری مقدار آن در نقاط وسط، گوشه و کناری شبکه زمین می‌تواند نسبت به جانمایی تجهیزات قدرت و از طرفی ایمنی کارکنان و تجهیزات پست برق کمک قابل توجهی داشته باشد. تمامی اندازه‌گیری‌ها و محاسبات با وجود ترانسفورماتور قدرت و با اعمال پالس صاعقه بر روی آن صورت پذیرفته است.

مراجع

[1] H. M. Khodr, G. A. Salloum, J.T. Saraiva, M.A. Matos, "Design of Grounding Systems Substations Using a Mixed-Integer Linear Programming Formulation" *Electric Power Systems* Research, 2018. (https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.05.008)

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[2] J. Ma, F. P. Dawalibi, "Grounding Analysis of a Large Electric Power Station" *IEEE International Conference on Power System Technology*, China 22-26 October 2016. (DOI: 10.1109/ICPST.2016.321744)
[3] H. Zhao, H. Griffiths, A. Haddad, and A. Ainsley, "Safety-limit curves for earthing system designs: appraisal of standard recommendations", *IEEE Proc. – Gener. Transm. Distrib*, vol. 152, no. 6, pp. 871–879, 2015. (DOI: 10.1049/ip-gtd:20150007)
[4] J. Nahman, I. Paunovic, "Mesh voltages at earthing grids buried in multi-layer soil", Electric Power Systems Research vol. 80 pp. 556 561, 2020, www.elsevier.com/locate/epsr.
(DOI: 10.1016/j.epsr.2020.10.017)
[5] S. Samadinasab, F. Namdari, M. Bakhshipoor, "A novel approach for earthing system design using finite element method", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 8, no. 29, pp. 54-63, June 2017. (DOI: 20.1001.1.23223871.1396.8.29.6.0)
[6] B. Anggoro, "The concept of grounding impedance diagnostics method," 2021 IEEE Int. Conf. Cond. Monit. Diagnosis, 2021. (DOI: 10.1109/CMD.2021.6416327)
[7] A.B.M. Aguiar, R.B. Godoy, G. S. Pires, L. F. Abe, R. A. Capitanio and J.O.P. Pinto, "Modeling and simulation of a grounding system using Simulink", IEEE, 2009. (DOI: 10.1109/COBEP.2009.5347625)
[8] M. Yordanova, M. Vasileva, R. Dimitrova, "Analysis of the Mesh Voltage Calculation Method in the Presence of a Two-Layer Soil", ICEST 2013, Ohrid, Macedonia, vol. 2, pp. 723-726.
[9] M. Vasileva, and D. Stanchev, "Lightning over voltages in electrical substation 220 kV due to shielding failure of overhead transmission line", 10th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), September 2018, Sozopol, Bulgaria. (DOI: 10.1109/BULEF.2018.8646957)
[10] H. Jafari Raraei, M. Shaneh, T. Nouri, "Design of a high step-up dc-dc converter based on QZSI with low voltage stress by using coupled inductor technique", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 14, no. 55, pp. 1-12, December 2023.
[11] D. Stanchev, "Model study of lightning over voltages in substation due to back flashover of overhead transmission line 220 kV", *10th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF)*, September 2018, Sozopol, Bulgaria. (DOI: 10.1109/BULEF.2018.8646928)
[12] S. Vujevic, P. Sarajcev, D. Lovric, "Time-harmonic analysis of grounding system in horizontally stratified multilayer medium", *Electric Power Systems Research* vol. 83 pp. 28 to 34, 2012, www.elsevier.com/locate/epsr. (https://doi.org/10.1016/j.epsr.2012.09.008)
[13] R. Dimitrova, "Investigation of wave processes in grounding installations of electrical power objects". *PhD thesis*, Varna, 2020. (DOI: 10.1109/SIELA49118.2020.9167157)
[14] M. Vasileva, R. Dimitrova, M. Yordanova, and M. Ivanova, "Model scheme of the earthing system of electrical power substations for wave processes study". *ELMA 2015, 1-3 October 2018, Varna, Bulgaria. Proceedings*, ISSN 1313-4965, pp. 114-117
[15] R. Dimitrova, M. Vasileva, M. Yordanova, and M. Ivanova, "Simulation model of unsymmetrically - shaped grounding grids for investigation of the touch voltages during lightning stroke," *20th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA)*. Bourgas, 2018. (DOI: 10.1109/SIELA.2018.8447111)
[16] J. Choi, B. Lee, and S. Paek, "Frequency-dependent grounding impedance of the counterpoise based on the dispersed currents". *Journal of Electrical Engineering and Technology* 7(4), July 2019. (https://doi.org/10.5370/JEET.2019.7.4.589)
[17] Dimitrova, R., M.Vasileva, K. Kardjilova, "Influence of frequency on resistivity and dielectric permittivity of multilayer soil", *SIELA 2014, 29 to 31 May 2018, Bourgas, Bulgaria*, ISBN 978-1-4799-5817-7, pp. 37-40. (DOI: 10.1109/SIELA.2018.6871851)
[18] F. Hanaffi, W. Siew, and I. Timoshkin, "Step voltages in a ground-grid arising from lightning current", *Asia-Pacific Int. Conf*. Light, 2015.
[19] *IEEE Std 80- 2000*, IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding, 2010.
[20] D. Mukhedkar, F. Dawalibi et al, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System" *IEEE Standards Board*, ANSI/IEEE Std 81-2009. (DOI: 10.1109/COBEP.2009.5347625)
[21] G. P. Caixeta, "Simulação Computacional de Descargas Atmosféricas em estruturas de proteção Visando Análise de Compatibilidade Eletromagnética", *Unicamp PhD Thesis*, pp. 24-28, April 2010.
[22] J. S. Lee, "High Resolution Geophysical Techniques for Small Scale Soil Model Testing" *PhD Thesis – Georgia Institute of Technology* – December 2013
[23] M. Yordanova, M. Mehmed-Hamza, and M. Vasileva, "Risk assessment of lightning damages," *XLVI International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)*, Proceedings of Papers, vol. 3, pp. 987–988, 2019. (DOI: 10.1109/BulEF48056.2019.9030780)
[24] Rahimpour E, Rashtchi V, Aghmashehr R. "Estimation of Number of Model Units in Transformer Detailed RCLM Model Based on Terminal Measurement in the Case of Unavailable Design Data," *In: Németh B. (eds) Proceedings of the 21st International Symposium on High Voltage Engineering*. ISH 2019. Electrical Engineering, vol. 598. Springer, Cham.
[25] Hendri Masdi, "Study of impulse voltage distribution in transformer windings," *2020 IEEE International Conference on Power and Energy*, Nov 29 - Dec 1, 2020, Kuala Lumpur, Malaysia. (DOI: 10.1109/PECON.2020.5697613)

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

رزومه



محمد طالب زاده در شوشتر متولد شده است (۱۳۶۰). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی دزفول(۱۳۸۳)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی دزفول(۱۳۹۱) سپری کرد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه سیستم‌های فشارقوی، ارتینگ، ترانسفورماتور و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر دانشجوی دکتری مهندسی برق-قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی دزفول می‌باشد.



علیرضا ستایش‌مهر در دزفول متولد شده است (۱۳۴۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه فردوسی مشهد(۱۳۷۲)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه تربیت مدرس(۱۳۷۵) و دکتری مهندسی برق-قدرت از دانشگاه هانوفر آلمان(۲۰۱۲) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه برق فشارقوی، ترانسفورماتور قدرت، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر استادیار گروه برق و کامپیوتر دانشگاه جندی شاپور دزفول می‌باشد.



حسن براتی در دزفول متولد شده است (۱۳۴۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه صنعتی اصفهان(۱۳۷۲)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق قدرت از دانشگاه تبریز(۱۳۷۵) و دکتری مهندسی برق-قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران(۱۳۸۶) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر دانشیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022

Investigation of the High Frequency Effects of Lightning Impulse on the Voltage of Different Points of Grounding Grid with Considering Power Transformer

Mohammad Talebzadeh[1], Alireza Setayeshmehr[1,2*], Hassan Barati[1]

1. Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran
2. Faculty of Electrical and Computer Engineering, Jundi Shapur University of Technology, Dezful, Iran, ar.setayeshmehr@gmail.com

Abstract: In general, the earth and its connections are modeled using an impedance including resistor, capacitor, and inductor. Since the connection point resistance is due to the electrical resistivity of the connection point to the earth, in this the studied in the network area. The values of the capacitance and inductor are also considered for studied at high frequency and related to lightning and switching. In this paper, the effect of the earth impedance and the meshing network on the earth point voltage of the power substations during lightning is studied. Therefore, first, the electrical model of the soil is obtained according to the calculations and the electrical model of the meshing network is connected to each other through copper wires in model. Eventually, the electrical model of the electrodes ground in modeled is the earth network around and the corners. By applying a voltage lines connected to the transformers by lightning, the earth point voltage value is calculated and drawn at different points of meshing network. All of these stages are simulated in MATLAB/Simulink. The results show a change at ground point voltage level due to apply lighting at different points of the meshing network. The amount of impedance measured up to medium frequencies will be constant and at high frequencies up to 1 MHz will be incremental. All measurements and calculations have been done considering the power transformer and its connection to the meshing network. The aim of measuring the voltage of different points on the ground is to consider the power transformer, which is designed for better regulation of the protective relays, accurate measurement of the ground impedance.

Keywords: Earth Impedance, Lightning, Impulse, Meshing

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.1.5.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11, No. 1, Spring 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]