آنالیز و بررسی کیفیت توان الکتریکی

درشبکه‌های توزیع چهارسیمه با در نظر گرفتن اتصال زمین چندگانه

قدرت مرادی، جمال صیدی **جواد روحی، سید علی نبوی نیاکی**

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام **دانشگاه مازندران**

واژه‌های کلیدی: اتصال زمین، جریان خطا، کمبود ولتاژ (*Sag*)، بیشبود ولتاژ (*Swell*)

چکیده:

هدف اصلی از اتصال زمین در شبکه‌های توزیع، تثبیت ولتاژ شبکه و آماده‌سازی مسیری آسان برای گذر جریان خطا به زمین می‌باشد. اغلب اثر زمین‌کردن در بررسی سیستم توزیع نادیده گرفته می‌شود یا اهمیت کمی به آن می‌دهند. در این بررسی مشاهده می‌شود هنگام افزایش مقاومت اتصال زمین، ولتاژ نول در ابتدای فیدر اصلی کاهش‌یافته و در انتهای فیدر افزایش می‌یابد و جریان سیم نول در ابتدای فیدر زیاد شده ودر انتهای آن کم می‌شود. جریان نشتی به زمین با افزایش مقاومت اتصال زمین کاهش می‌یابد. با افزایش مقاومت اتصال زمین هنگام خطای تک فاز به زمین موجب زیاد شدن دامنه بیشبود ولتاژ (*Sag*) کم‌شدن دامنه کمبود ولتاژ (*Swell*) می‌گردد. همچنین مقاومت خطای زمین تاثیر زیادی بر پروفیل ولتاژ هنگام خطای تک‌فاز دارد، بطوری که با افزایش مقاومت خطای زمین بیشبود ولتاژ (*Swell*) و کمبود ولتاژ (*Sag*) کمتر خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی اثر اتصال زمین در سیستم‌های توزیع را بخوبی نشان می‌دهد. این مقاله اثر زمین‌کردن بر کیفیت توان در سیستم‌های توزیع سه فاز چهار سیمه که به صورت نامتقارن بارگذاری شده‌اند را بررسی می‌کند. این بررسی شامل اثراتصال زمین سیستم بر روی ولتاژ و جریان نول در عمکرد عادی شبکه و ولتاژ و جریان فازها هنگام خطای تک‌فاز می‌باشد.

۱- مقدمه:

سیستم‌های سه فاز چهار سیمه با اتصال زمین متعدد در شبکه‌های توزیع امروزی بخاطر حساسیت بیشتر حفاظت و رفع خطا نسبت به سیستم‌های سه‌فاز سه‌سیمه بصورت گسترده بکار برده می‌شود [۲،۱]. سیستم‌های چهار سیمه بعلت بارگذاری غیرمتقارن تحت شرایط نامتعادل کار می‌کنند. نامتعادلی برای عملکرد، قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم خطرآفرین است. بنابراین دانستن مشخصات اصلی این شبکه‌ها برای طراحی و راهبری از سیستم ضروری است. اغلب از اثرات نول و اتصال زمین برای ساده‌سازی صرف‌نظر می‌شود، یا تاثیر آنها را فقط در امپدانس فازها در نظر می‌گیرند. تحت این شرایط اثرات سیم نول و اتصال زمین در خصوصیات سیستم منظور نمی‌شود. و در نتیجه ممکن است نتایج تحلیل نادرست باشد. سیم نول و سیستم اتصال زمین، بخش مهمی از

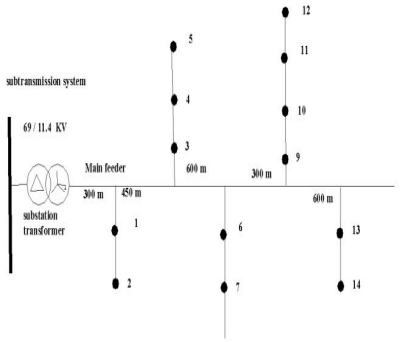
سیستم‌های توزیع چهار سیمه هستند. استفاده از سیستم اتصال زمین نول نه تنها بر عملکرد سیستم تأثیر می‌گذارد، بلکه برای ایمنی تأسیسات وانسانها موثر است. برای مثال جریان سیم نول ممکن است با سیستم‌های مخابرات و وسایل الکتریکی تداخل پیدا کند و تلفات سیستم را افزایش داده و حساسیت رله‌های خطای زمین را کاهش دهد. با این وجود زمین‌کردن سیستم روی جریان خطای زمین و افزایش پتانسیل زمین و جریان نشتی به زمین تاثیر می‌گذارد. این مشکلات برای طراحی و عملکرد سیستم‌ها خیلی مهم هستند. نادیده گرفتن اتصال زمین سیستم و سیم نول باعث می‌شود تا قادر به بررسی دقیق این نوع از سیستم‌های توزیع نباشیم. در این مقاله از نرم افزار MATLAB 6.5 برای شبیه‌سازی استفاده شده است. یک سیستم نمونه برای نشان‌دادن اثر اتصال زمین سیستم‌های سه فاز چهار سیمه با بارگذاری نامتقارن استفاده شده است. اثرات سیم نول و اتصال زمین سیستم برروی ولتاژ وجریان نول و ولتاژ وجریان فیدر هنگام خطای تک فاز موضوعات مهمی هستند که در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. نتایج شبیه‌سازی شامل ولتاژها و جریان‌های فاز و نول افزایش پتانسیل زمین و ولتاژ و جریان خطای زمین است و این اثرات به صورت جزئی مورد بحث قرار می گیرند.

۲- شرح مدل نمونه:

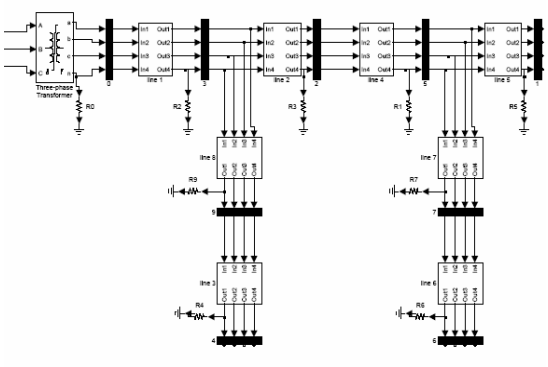
یک سیستم توزیع سه فاز چهار سیمه که در فاصله های منظم زمین شده بعنوان سیستم نمونه در نظر گرفته شده در شکل های (۱)و(۲) آمده است. نقاط نمایش داده شده در شکل، ترانس‌های توزیع و بارها هستند، ۱۴ ترانس توزیع در این سیستم نمونه برای تغذیه مصرف کننده‌ها در طول فیدر توزیع در نظر گرفته شده است. مقادیر نامی ترانس ها و فازهای متصل شده در جدول (۲) آمده است. کلیه ترانس‌ها در بار نامی و در ضریب پس فاز ۰/۸ بارگذاری شده‌اند. جدول (۲) نشان می‌دهد که از ترانس‌های تک فاز بصورت گسترده استفاده شده است که باعث بازگذاری نامتقارن می شود. فیدر اصلی از یک ترانس (KV ۶۹/۱۱/۴ ،MVA ۲۵) تغذیه می‌شود. پارامترهای فیدر اصلی و جانبی در جدول (۱) آمده است. اتصال زمین ترانس پست و نقاط سیم نول به ترتیب با مقاومت های ۱Ω و ۲۵ Ω انجام شده‌اند. این مقادیر، اعداد قابل قبول و توصیه شده‌ای هستند [۴]. نتایج شبیه‌سازی سیستم نمونه، اثرات زمین‌کردن و سیم نول در ولتاژ ها و جریان های سیستم توزیع سه فاز چهار سیمه را نشان می‌دهد. [۳]

۳- اثرات سیم نول:

سیم نول برای فراهم کردن اتصال بارهای تک فاز و اتصال زمین سیستم استفاده می‌شود. در سیستم‌های توزیع سه فاز چهارسیمه جریان‌های سه‌فاز با هم برابر نیستند ودر نتیجه سیم نول جریان دار می شود. هنگام طراحی سیم نول معمولاً جریان سیم نول کمتر از جریان فاز در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نتایج شبیه سازی، ماکزیمم جریان در انتهای فیدر می‌باشد که از پست خیلی دور است. از این رو بعضی مواقع سیم نول برای نصف یا حتی یک سوم جریان بار با توجه به ملاحظات اقتصادی طراحی می‌شود. شکل (۳) جریان سه فاز و نول را در فیدر اصلی نشان می‌دهد. دامنه جریان در هر قسمت فرق می‌کند. بعضی جریان‌های نول از جریان فازها بزرگتر است. این بخاطر اتصال زمین در طول فیدر است. در حقیقت جریان سیم نول به بارگذاری سیستم و عدم تقارن آن بستگی دارد. متعادل نبودن بارگذاری در طول فیدر باعث زیاد شدن جریان نول خواهد شد در صورتیکه بارگذاری در طول فیدر به طور قابل ملاحظه‌ای نامتعادل باشد جریان نول ممکن است از جریان فازها بزرگتر شود. جریان نول بزرگتر ممکن است باعث مشکلاتی در عملکرد سیستم گردد، بنابراین باید همیشه به جریان نول توجه کرد. هنگامیکه جریان از طریق سیم نول جاری می‌شود، در سیم نول باعث ایجاد ولتاژ می‌گردد. در گذشته اغلب سیم‌های نول هنگام بررسی سیستم‌های توزیع چهار سیمه نادیده گرفته می‌شدند و ولتاژهای سیم نول مورد ارزیابی قرار نمی گرفتند. تحت این شرایط ممکن بود ارزیابی درستی از ولتاژهای سیستم نداشته باشیم. شکل (۴) پروفیل ولتاژ سه فاز به زمین را در طول فیدر اصلی نمایش می‌دهد. این شکل بیان می‌کند که ولتاژ سه فاز در طول فیدر مشابه هستند، با این وجود نتایج شبیه سازی که در شکل (۴) آمده است، شرایط عملکرد واقعی سیستم را به طور کامل نمایش نمی‌دهد. در حقیقت بارها و وسایل الکتریکی تک فاز همیشه



شکل (۲) مدل تک خطی سیستم

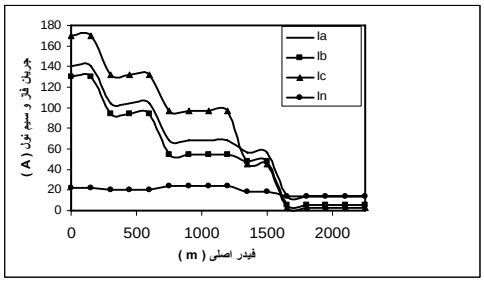


شکل(۱) مدل سیستم و نحوه اتصال زمین

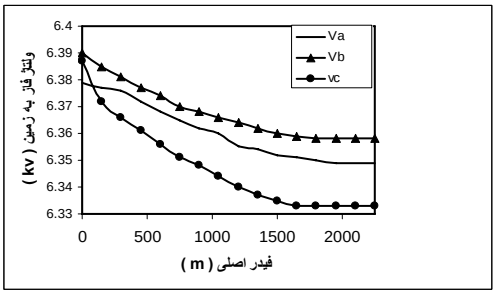
بین فاز و نول متصل می‌شوند نه بین فاز و زمین. از این رو باید ولتاژ نول را در هر زمان در نظر گرفته شود. شکل (۵) ولتاژ سیم نول را در طول فیدر اصلی نشان می‌دهد. این شکل این واقعیت را بیان می‌کند که ولتاژ سیم نول صفر نیست و کاملاً متفاوت از جریان نول است. شکل(۶) ولتاژ فاز به نول را در طول فیدر اصلی نمایش می‌دهد. این شکل بیان می‌کند که ولتاژهای سه فاز نسبت به نول مخصوصاً در انتهای فیدر متفاوت هستند. نتایج ثابت می‌کنند که اثرات ولتاژ های نول قابل صرف نظر نیستند. چندین روش برای ارزیابی نامتعادلی ولتاژ وجود دارد. نرخ نامتعادلی ولتاژ*(UVR)* با معادلات (۱) و(۲) که به ترتیب در *IEEE.std.449* و *IEC-1000-2-1* تعریف شده، محاسبه شده است. شکل (۷) و (۸) نامتعادلی ولتاژ که با معادلات (۱) و (۲) در طول فیدر اصلی حساب شده را نشان می‌دهد. تفاوت زیادی بین دو نامتعادلی ولتاژ محاسبه شده برای فاز به نول و فاز به ارت وجود دارد. این شکل‌ها بیان می‌کنند که اثرات نول باید هنگام تحلیل سیستم‌های توزیع در نظر گرفته شوند. مسئله انحراف پتانسیل در خطوط توزیع خیلی مهم هستند. در این نمونه انحراف پتانسیل در سیستم توزیع زیاد بوده که ممکن است باعث شوک شود. شکل (۹) نحوه اتصال بارها را نشان می‌دهد این نوع سیستم بخاطر ملاحظات اقتصادی متداول است. چون سیم وسط یا یک ترمینال از ثانویه ترانس توزیع به نول اولیه وصل می‌شود ولتاژ نول ممکن است روی ولتاژ ثانویه تأثیر بگذارد.

۴ – اثر زمین‌کردن:

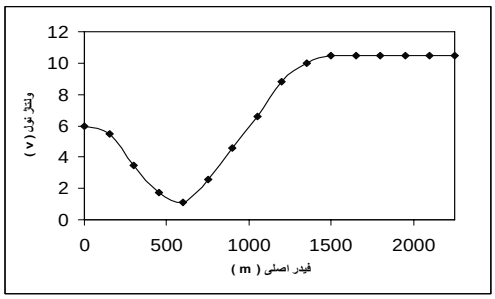
هدف از زمین‌کردن سیم نول در سیستم‌های توزیع، تثبیت ولتاژ شبکه و آماده‌سازی مسیری برای جریان خطای زمین می‌باشد [۵]. اتصال زمین چندگانه سیم نول به طور قابل توجهی قابلیت اطمینان زمین سیستم را بالاتر خواهد برد.اتصال زمین مستقیم معمولاً بخاطر مسائل اقتصادی در سیستم توزیع اعمال می‌شود. در گذشته برای ساده‌سازی شبیه‌سازی از اتصال زمین سیستم صرف‌نظر می‌کردند. شکل‌های (۱۰) و (۱۱) پروفیل ولتاژ و جریان نول را بر حسب مقاومت اتصال زمین در طول فیدر اصلی نمایش می‌دهند. این شکل‌ها نشان می‌دهند که مقاومت اتصال زمین بر روی جریان و ولتاژ نول تأثیر می‌گذارد. شکل (۱۰) نشان می‌دهد که جریان نول با افزایش مقاومت اتصال زمین در انتهای فیدر افزایش می‌یابد. از طرف دیگر در قسمت اول نمودار با افزایش مقاومت، ولتاژ نول کاهش پیدا می‌کند. شکل (۱۱) نشان می‌دهد که مقاومت اتصال زمین کمتر، جریان نول کمتر را ایجاد کرده است. اما بعضی مواقع جریان‌های نول در بعضی قسمت‌ها هنگام افزایش مقاومت اتصال زمین کاهش پیدا می‌کند. مهندسین برق درگذشته هنگام بررسی جریان‌ها و ولتاژهای نول فقط به بارهای نامتقارن، اتصالات سیم پیچ‌های ترانس‌ها و هارمونیک‌ها می‌پرداختند. در حالی که برای برسی دقیق باید آنها تأثیرات اتصال زمین سیستم را در نظر بگیرند. برای سیستم‌های توزیع با اتصال زمین چندگانه، جریان از طریق سیم اتصال زمین به زمین وارد می‌شود. که این جریان، جریان نشتی زمین نامیده می‌شود. جریان‌های نشتی زمین در سیستم توزیع با اتصال زمین چندگانه از طریق زمین جاری



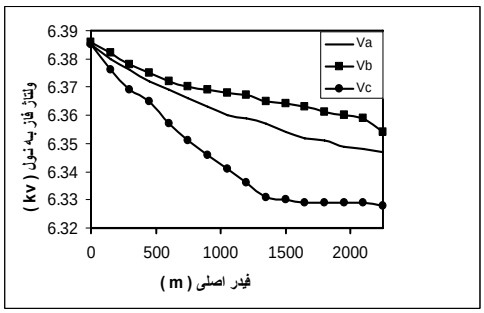
شکل (۳). جریان سه فاز وسیم نول در فیدر اصلی



شکل (۴). ولتاژبه زمین سه فاز در فیدر اصلی



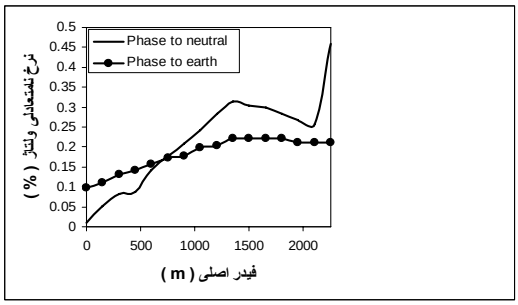
شکل (۵). ولتاژ نول در فیدر اصلی



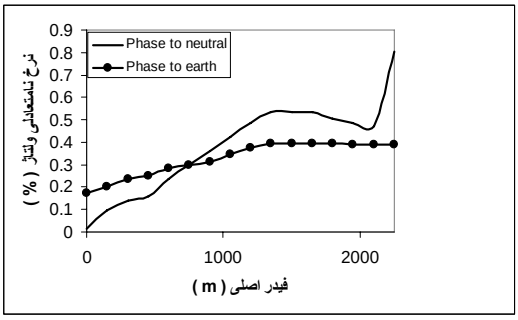
شکل(۶) ولتاژ نسبت به نول سه فاز در فیدراصلی

جدول (۱) پارامترهای فیدر اصلی و جانبی

هادی / امپدانس	فیدر اصلی		خطوط جانبی	
	نول	فاز	نول	فاز
مقاومت($\frac{\Omega}{KM}$)	۰/۲۰۹	۰/۱۳۱	۰/۹۴۵	۰/۹۴۵
راکتانس($\frac{\Omega}{KM}$)	۰/۳۲۸	۰/۳۶۴	۰/۳۵۵	۰/۳۵۵



شکل (۷). نامتعادل ولتاژ که با معادله (۱)



شکل (۸). نامتعادل ولتاژ که با معادله (۲)

جدول (۲) مقادیر نامی ترانسها

ردیف	ظرفیت (kVA)	ولتاژ ثانویه(V)	فاز
۱	۵۰۰	۲۲۰	A,B,C
۲	۵۰	۱۱۰	B
۳	۵۰	۱۱۰	B
۴	۵۰	۱۱۰	B
۵	۵۰۰	۲۲۰	A,B,C
۶	۱۰۰،۱۰۰	۲۲۰،۱۱۰	B,C
۷	۱۰۰،۱۰۰	۲۲۰	A,C
۸	۱۰۰	۱۱۰	C
۹	۵۰۰	۲۲۰	A,B,C
۱۰	۱۰۰،۱۰۰	۱۱۰،۱۱۰	A,C
۱۱	۵۰	۱۱۰	C
۱۲	۵۰	۱۱۰	B
۱۳	۱۶۷،۱۰۰	۲۲۰،۱۱۰	A,B
۱۴	۵۰	۱۱۰	C

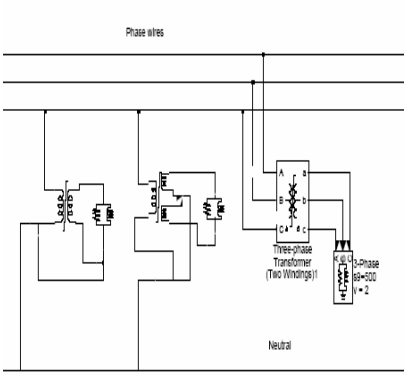
$$UVR\% = \frac{Max\{||Va| - Vavg|, ||Vb| - Vavg|, ||Vc| - Vavg|\}}{Vavg} \times 100 \quad (۱)$$

$$UVR\% = \frac{Max\{|Va| - |Vb|, |Vb| - |Vc||, ||Vc| - |Va|\}}{Vavg} \times 100 \quad (۲)$$

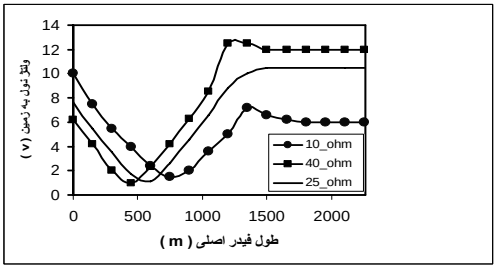
.

شده سپس به سیم زمین ترانس اصلی در پست برمی‌گردد. شکل (۱۲) پروفیل جریان نشتی به زمین برحسب مقاومت اتصال زمین را نشان می‌دهد دامنه جریان به طور قابل ملاحظه‌ای هنگام کاهش مقاومت زمین افزایش می‌یابد. در حقیقت جریان نشتی زمین نسبت معکوس با مقاومت اتصال زمین دارد. این جریان‌ها نه فقط با خطوط ارتباطی تلفن وتلویزیون تداخل پیدا می‌کنند. بلکه سلامتی انسان را هم به خطر می‌اندازد. جریان نشتی بزرگتر باعث خطرات بیشتر خواهد شد. در صورت صرفنظرکردن از زمین‌کردن در تحلیل و کار با سیستم‌های قدرت این مسائل مورد توجه قرار نمی‌گیرند. بنابراین باید اثرات اتصال زمین سیستم هنگام طراحی ونصب درنظر گرفته شود و سپس نقاط اتصال زمین سیستم به دقت انتخاب گردد. اتصال زمین سیستم همچنین بر جریان خطای زمین و افزایش پتانسیل زمین[1] *(GPR)* تأثیر دارد. شکل (۱۳) نرخ کاهش جریان خطای زمین[2] *(CDR)* بر حسب مقاومت زمین، هنگامی که یک خطای تک فاز به زمین در ۱/۵ کیلومتری پست در فیدر اصلی در فاز B اتفاق بیافتد را نشان می‌دهد. نرخ کاهش جریان خطای زمین بیان می‌کند که نه فقط مقاومت خطای زمین بلکه مقاومت اتصال زمین در طول سیم نول نیز بردامنه جریان خطای زمین تأثیر دارد. هنگامی که مقاومت اتصال زمین سیم نول افزایش می‌یابد جریان خطای زمین بخصوص در مورد خطای زمین شده با امپدانس کم کاهش پیدا می‌کند. در گذشته فقط روی مقاومت خطای زمین هنگام بررسی خطای زمین تمرکز داشتند و مقاومت اتصال زمین معمولاً مورد توجه قرار نمی‌گرفت. این کار ممکن است نتایج نادرستی در بررسی‌ها بدهد. با این وجود تعداد نقاط اتصال زمین نیز بر جریان خطای زمین تأثیر دارند. شکل (۱۴) نرخ افزایش جریان خطای زمین بر حسب تعداد نقاط اتصال زمین در سیستم را نشان می‌دهد. نرخ افزایش جریان[3] *(CIR)* بوسیله معادله(۴) بیان می‌شود این شکل نشان می‌دهد که نقاط اتصال زمین بیشتر، بخصوص برای خطا با امپدانس اتصال زمین کم باعث جریان خطای زمین بزرگتر خواهند شد. همینطور هنگامی که یک سیستم توزیع از نقطه نظر *GPR* مورد بررسی قرار می‌گیرد، معمولاً روی مقاومت خطا تمرکز می شود [۶]. شکل (۱۵) *GPR* را در طرف ثانویه پست بر حسب مقاومت خطای زمین هنگامی که خطای تک‌فاز به زمین مانند قبل اتفاق بیافتد را نشان می‌دهد. این شکل به طور آشکار بیان می‌کند که مقاومت اتصال زمین روی *GPR* تأثیر دارد. شکل (۱۶) مقدارکمبود ولتاژ و بیشبود ولتاژ در طرف ثانویه ترانس پست بر حسب مقاومت اتصال زمین را نشان می‌دهد. شکل (۱۷) نرخ افزایش *GPR* در طرف ثانویه ترانس پست را بر حسب مقاومت اتصال زمین نشان می‌دهد. ولتاژ فاز به زمین هنگامیکه اتصال زمین با مقاومت ۱۵Ω صورت گرفته ولتاژ مبنا است. نرخ افزایش ولتاژ[4] *(VIR)* بوسیله معادله (۵) بیان شده است. این شکل نشان می‌دهد که مقاومت اتصال زمین در طول فیدر روی *GPR* تأثیر دارد که هنگام کاهش مقاومت اتصال زمین *GPR* در فاز A و B کاهش و در فاز C افزایش پیدا می‌کند و از طرف دیگرهنگام افزایش مقاومت اتصال زمین *GPR* درفاز A و B افزایش و در C کاهش می‌یابد. البته درصد اضافه ولتاژ هر باس رامی‌توان نیز بر حسب مولفه‌های توالی شبکه بدست آورد. کمیته‌ای از *IEEE* شکل (۱۸) را که درصد اضافه ولتاژ (*Swell*) را در فازهای بدون خطا برای یک خط نسبت به خطای زمین در همان محل به عنوان تابعی از مقاومت توالی صفر (R_0) و راکتانس توالی صفر (X_0) و راکتانس توالی مثبت (X_1) بدست آورده‌اند را نشان می‌دهد

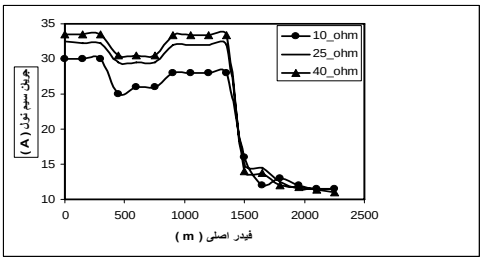
[1] : ground potential rise
[2] : current decadence rate
[3] : current increment rate
[4] : voltage increment rate



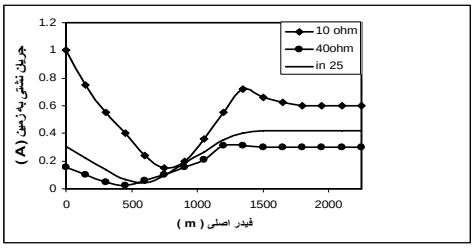
شکل(۹) نحوهٔ اتصال بارها تک فاز و سه فازبه سیستم



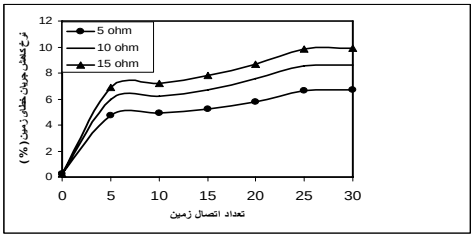
شکل (۱۰) ولتاژ نول را بر حسب مقاومت اتصال



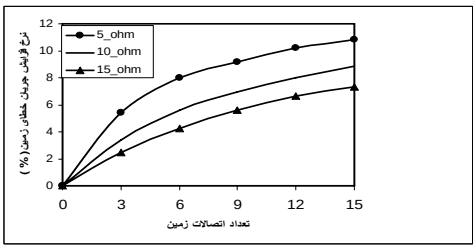
شکل (۱۱)جریان نول را برحسب مقاومت اتصال زمین



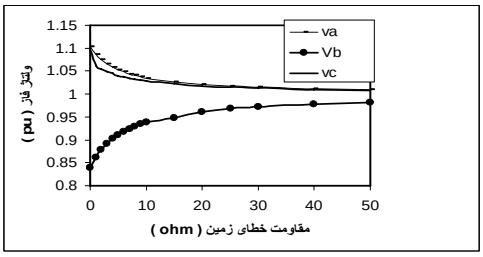
شکل (۱۲) جریان نشتی به زمین برجسب مقاومت اتصال زمین



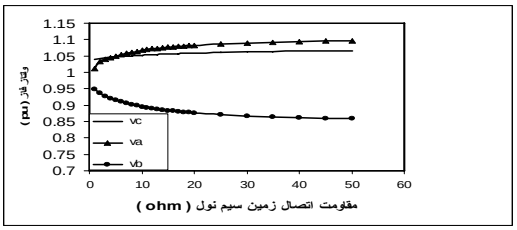
شکل (۱۳) نرخ کاهش جریان خطای زمین بر حسب مقاومت زمین



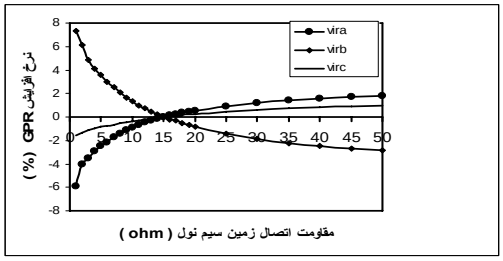
شکل (۱۴). نرخ افزایش جریان خطای زمین بر حسب تعداد نقاط اتصال زمین



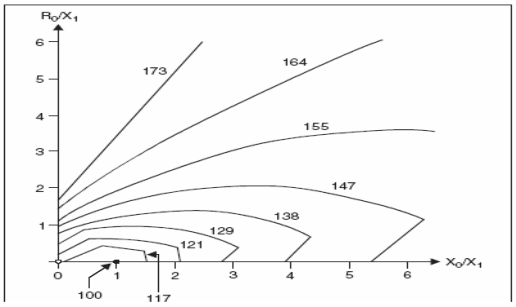
شکل (۱۵) ***GPR*** را در طرف ثانویه پست بر حسب مقاومت خطای زمین



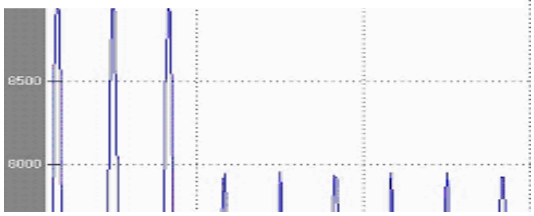
شکل(۱۶). کمبود ولتاژ و بیشبود ولتاژ در طرف ثانویه ترانس پست را بر حسب مقاومت اتصال زمین



شکل(۱۷). نرخ افزایش ***GPR*** در طرف ثانویه ترانس پست بر حسب مقاومت اتصال زمین

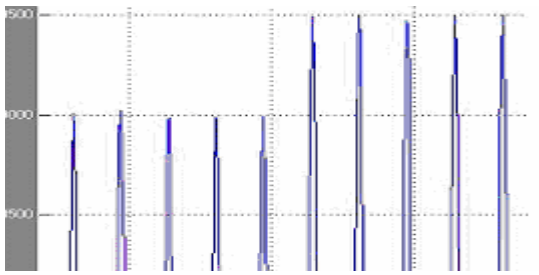


شکل(۱۸) درصد بیشبود ولتاژ(**Swell**) بر حسب مولفه‌های توالی

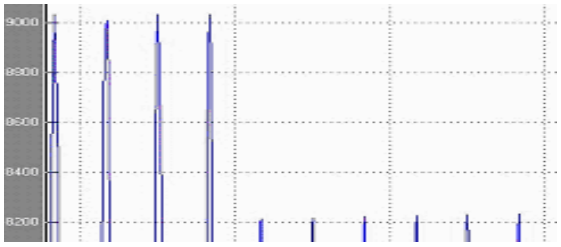


شکل (۱۹) کمبود ولتاژ (**Sag**)برای مقاومت اتصال زمین ۱۵ اهم

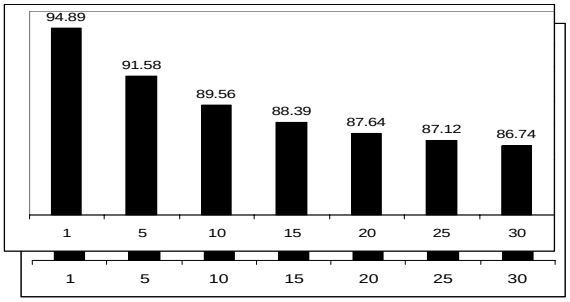
شکل(۲۱) درصدکمبود ولتاژ (**Sag**)در طرف ثانویه ترانس پست برحسب مقاومت اتصال زمین بر حسب اهم



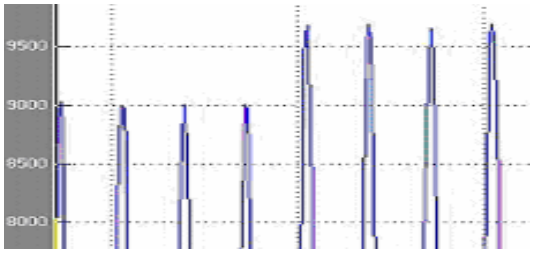
شکل(۲۲) بیشبود ولتاژ(**Swell**) برای مقاومت اتصال زمین ۱۵ اهم فاز **a**



شکل (۲۰) کمبود ولتاژ (**Sag**)برای مقاومت اتصال زمین ۵ اهم



شکل (۲۴) درصدبیشبود ولتاژ (**Swell**)در طرف ثانویه ترانس پست برحسب مقاومت اتصال زمین بر حسب اهم برای فاز ***a***



شکل (۲۳) بیشبود ولتاژ(**Swell**) برای مقاومت اتصال زمین ۱۵ اهم در فاز **c**

[۷]. درشکل های (۱۹) و (۲۰) دامنه کمبود ولتاژ (*sag*) را با مقاومت اتصال زمین ۱۵ و ۵ اهم بترتیب نشان می دهد. هرچند ما می دانیم عوامل زیادی در بهبود این پدیده مانند امپدانس ترانس، امپدانش خط، امدانس ترانس های پست و فاصله از محل خطا هم موثر هستند. وقتی مقامت زمین کاهش پیدا می کند دامنه کمبود ولتاژ (*Sag*) بیشتر خواهد شد و تاسیسات این خطا را کمتر حس خواهند کرد .که این نتیجه نیز در شکل (۲۱) آمده است.شکل های (۲۲) و (۲۳) بیشبود ولتاژ (*Swell*) را هنگام خطای تک فاز در دو فاز های ***a*** و ***c*** که با مقاومت ۱۵ اهم زمین شده اند را بترتیب نشان می دهد. مشاهده می شود که این دو شکل با هم متفاوت هستند. تفاوت در این دو شکل به خاطر عدم تقارن سیستم است. از

شکل(۲۴) می‌توان دریافت که با کم شدن مقاومت اتصال زمین بیشبود ولتاژ *(Swell)* کمتری در هنگام خطا در تاسیسات وتجهیزات الکتریکی خواهیم داشت.

$$CDR\% = \frac{|IGRo| - |IGRN|}{|IGRo|} \times 100 \qquad (۳)$$

IGRo : جریان خطای زمین هنگامی که امپدانس اتصال زمین صفر است است

IGRN : جریان خطای زمین هنگامی که امپدانس اتصال زمین صفر نباشد

IGN0 : جریان خطای زمین هنگامی که اتصال زمین وجود ندارد.

IGNN : جریان خطای زمین هنگامی که امپدانس اتصال زمین صفر نیست

$$CIR\% = \frac{|IGNN| - |IGNo|}{|IGNo|} \times 100 \qquad (۴)$$

$$VIR\% = \frac{|V_{line}| - |V_{base}|}{|V_{base}|} \times 100 \qquad (۵)$$

Vline ولتاژ خط

Vbase ولتاژ خط وقتی که امپدانس لتصال زمین ۲۵ اهم

۵- نتیجه‌گیری:

هدف اصلی از اتصال زمین سیستم در شبکه‌های توزیع، تثبیت ولتاژ شبکه و آماده سازی مسیری برای گذر جریان خطا به زمین است. اثر زمین کردن بر شاخص های بیشبود ولتاژ وکمبود ولتاژ وجریان اتصال کوتاه تک فاز در سیستم توزیع سه فازه چهار سیمه در این مقاله بررسی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهند که هنگام افزایش مقاومت اتصال زمین ولتاژ نول در ابتدای فیدر اصلی کاهش و در انتهای فیدر افزایش می‌یابد. جریان سیم نول و در ابتدای فیدر اصلی افزایش یافته در انتهای فیدر کاهش می یابد. همچنین جریان نشتی به زمین با افزایش مقاومت زمین کاهش می یابد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با افزایش مقاومت سیستم اتصال زمین هنگام خطای تک فاز به زمین باعث افزایش دامنه بیشبود ولتاژ و کاهش کمبود ولتاژبرای ولتاژ شبکه خواهد شد. همچنین مقاومت خطای زمین تاثیر زیادی بر کمبود ولتاژ و دامنه بیشبود ولتاژ ولتاژ شبکه خواهد داشت، بطوری که با افزایش مقاومت خطای زمین مقدار کمبود ولتاژ و بیشبود ولتاژ کمتر خواهد شد .

۶-مراجع:

[۱] راجر سی دوگان، مارک اف مک گراناهان، کیفیت توان سیستم های الکتریکی، دکتر جواد روحی، دکتر سید علی نبوی نیاکی، دکتر عبدالرضا شیخ الاسلامی، دانشگاه مازندران

[2] J.J.Burke,Power Distribution Engineering-fandamentals and application. Newyork marcel dekker, 1994 ,pp. 16-17

[3] Tasi-hsiang chen , Wen-Chen Yang , Analysis of multi-Grounded Four-Wire Distribution System Considering the neutral Grounding,IEEE Transactions on Power delivery , Vol .16 , No 4

[4] IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System , IEEE Std. 142-1991

[5] J. C.Das And R.H Osman ," Grounding of AC and DC Low-Voltage and medium-voltage derive system , " IEEE Tran . Industry Application , vol 34,no.1 , pp.205-216 1998

[6] IEEE Recommended practice for Determining the Electrical Power Station Ground Potential Rise And Induced Voltage From a Power Fault , ANSI/ IEEE Std.367-1987 ,

[7] A.P. Sakis Meliopoulos , Impact of Grounding System Desing On Power Quality, IEEE Power Engineering Review2002