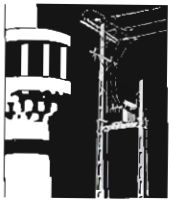


پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

خطاهای امپدانس بالا
در شبکه توزیع بررسی روشهای تشخیص
و آزمایش روی شبکه توزیع

مهدی معلم ـ فروزان قاسمی
دانشکده برق و کامپیوتر
دانشگاه صنعتی اصفهان

مصطفی صالحی ـ سعید بهرام‌پور
شرکت هدایت
برق منطقه‌ای اصفهان

چکیده:

خطاهای امپدانس بالا خطاهائی در شبکه توزیع هستند که جریان خطا به قدری کم است که با حفاظتهای معمول مانند رله‌های معمول و فیوزهای عادی قابل تشخیص و قطع نیستند بعلاوه بعلت آنکه این نوع خطاها در شبکه‌های توزیع از طریق پارگی سیم و اتصال تک فاز به زمین نسبتاً معمول هستند از مشکلات مهم شبکه‌های توزیع می‌باشند و از دیرباز مورد مطالعه و بررسی بوده است.

شرکتهای توزیع همواره به دنبال روشهای اقتصادی و قابل اعتمادی بوده‌اند که بتوانند اینگونه خطاها را شناسائی و بر طرف نمایند و چون مشکل این گونه خطاها در رابطه با مسائل ایمنی می‌باشد و کمتر حفاظت تجهیزات مطرح می‌باشد توجیه اقتصادی و قابلیت اعتماد در روشهای پیشنهادی از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد. گر چه با توجه به تحقیقات انجام شده در جهان روشهای مختلفی برای تشخیص اینگونه خطاهاارائه شده است که از رله‌های الکترومکانیکی نسبتی تا رله‌های میکروپروسسوری جدید را در برمی‌گیرد لیکن روشهای مطمئنی که جنبه اقتصادی را در حد شبکه گسترده توزیع در بربگیرد هنوز ارائه نگشته است. همچنین با توجه به بافت و استانداردهای محلی برای شبکه‌های توزیع باید تحقیقات و مطالعات جنبه محلی نیز داشته باشد تا بتواند راه حل عملی را ارائه نماید.

مقاله حاضر نتایج یک پروژه تحقیقاتی است که با همکاری برق منطقه‌ای اصفهان و دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفته است که راه حل اقتصادی، مطمئن و عملی را در این زمینه ارائه می‌نماید.

۱ـ شرح مقاله :

یک خطای امپدانس بالا موقعی در شبکه اتفاق می‌افتد که یک فاز در شبکه توزیع مستقیماً یا توسط یک شیئی به زمین اتصال پیدا کند مثل پارگی فاز، اتصال فاز به شاخه درخت یا اتصال از طریق مقره آلوده یا شکسته، در اکثر موارد شدت جریان به حدی کم است که به هیچوجه از جریان عادی شبکه فراتر نمی‌باشد و به همین علت تا مدت زیادی می‌توانند بدون تشخیص اتصال برقرار باشد و خطر زیادی را برای عموم ایجاد نماید که حوادثی که در چند سال اخیر به وقوع پیوسته و باعث کشته شدن چندین نفر در سطح اصفهان شده است دلیلی آشکار بر این مدعا است.

در تشخیص خطای امپدانس بالا هدف متفاوت از تشخیص خطاهای جریان زیاد می‌باشد زیرا در خطاهای جریان زیاد و تشخیص و رفع آن هدف جلوگیری از خسارتهای مکانیکی و حرارتی اینگونه خطاها به شبکه و تجهیزات آن می‌باشد ولی در مورد خطاهای امپدانس بالا، به علت جریان کم خسارتی متوجه شبکه و تجهیزات آن نمی‌گردد بلکه ضایعات آن در محل خطا از طریق تهدید جان انسانها و یا آتش‌سوزی می‌باشد و لذا هدف از تشخیص و رفع این خطاها بالا بردن سطح ایمنی شبکه می‌باشد اما از طرف دیگر بالا بردن سطح ایمنی نباید با مسائل اقتصادی و قابلیت اعتماد یا تداوم برق‌رسانی به مشترکین در تضاد قرار گیرد و نکته مهم در روشهای پیشنهادی برای رسیدن به هدف تشخیص و رفع خطای امپدانس بالا برقراری توازن بین سه مسئله فوق می‌باشد یعنی بالا بردن ایمنی، اقتصادی بودن و حفظ قابلیت اعتماد شبکه توزیع.

۲ ـ تاریخچه تشخیص خطای امپدانس بالا در شبکه توزیع :

خطاهای جریان زیاد در شبکه توزیع KV ۲۰ و فشار ضعیف معمولاً توسط کلیدهای اتوماتیک (مجهز به رله جریان زیاد و واحد تریپ) و یا فیوزهای کات‌اوت انجام می‌گیرد. این وسائل معمولاً دارای مشخصه‌های معکوس می‌باشند که هر چه جریان بالاتر باشد مدت زمان قطع کمتر می‌شود و باید بتوانند بطور دائمی جریان نرمال شبکه و همچنین اضافه جریانهای لحظه‌ای مربوط به جریانهای هجومی ترانسها و راه‌اندازی موتورها و بارها را تحمل نمایند. حداقل تنظیم برای قطع طولانی فیوزها یا کلیدهای اتوماتیک ۱۲۵ تا ۲۰۰ درصد ماکزیمم بار آن می‌باشد که از یک طرف اطمینان برای عملکرد صحیح شبکه را تأمین می‌کند و از طرف دیگر تعداد قطعی‌های بی‌دلیل شبکه را به مینیمم می‌رساند ضمناً رله‌های خطای زمین

می‌توانند در صورت نصب شدن جریانهای خطای کمتری را نسبت به کلیدهای اتوماتیک و فیوزها تشخیص و قطع نمایند اما تنظیم رله‌های زمین نیز باید بالاتر از مقدار عدم تعادل مجاز شبکه باشد که ممکن است تا ۵۰ درصد بار ماکزیمم فیدر نیز برسد.

در مطالعات اولیه برای تشخیص خطای امپدانس بالا سعی در انتخاب رله‌های حساس‌تر برای سیم زمین شده است که به ویژه در بارهای کم حساسیت بیشتری را نشان می‌دهد که می‌تواند موقعیت یک اتصال زمین ناشی از پارگی فاز را نشان دهد. رله‌های دیگری براساس درصد تغییرات زمانی با فیدر ساخته شده‌اند و مبانی آنها بر این اساس است که یک بار عادی تغییرات زمانی کمی را دارد و یک خطا دارای تغییرات جریان آنی و زیاد می‌باشد. روش دیگر در این تحقیقات براساس درصد جریان خطا به جریان نرمال خط در سیمهای فاز ـ زمین و سیم نول می‌باشد و اساس بر این است که یک جریان خطا حالت بالانس عادی شبکه را از نظر جریان در فاز و نول بهم می‌زند. روشهای این دسته گر چه بر مبنای حفاظتهای موجود می‌باشد لیکن درصد اطمینان شناسائی یک خطای امپدانس بالا در آنها کم می‌باشد و معمولاً زیر ۵۰ درصد است.

محققین دیگر نسبت به اثرات یک خطای اتصال زمین مطالعه بیشتری کرده‌اند و در حقیقت عامل شناسائی یک خطای امپدانس بالا را نه جریان ناشی از آن بلکه عواملی نظیر هارمونیکهای ناشی از خطا و امپدانسهای مربوطه قرار داده‌اند. اساس این مطالعات بر این واقعیت است که هارمونیکهای ناشی از خطاها به طور کلی از نظر مرتبه و مقدار متفاوت از هارمونیکهای ناشی از بارهای عادی شبکه می‌باشند و بخصوص وجود هارمونیکهای زوج می‌توانند نشانگر این نوع خطاها باشند پس با شناسائی درصد و نوع هارمونیکها می‌توان خطای امپدانس بالا را با اطمینان زیاد مشخص نمود. دستگاههایی که برای شناسائی این اثرات بکار می‌روند می‌توانند هوشمند باشند که با داشتن الگوهای ناشی از این گونه خطاها و مقایسه آنها با وضعیت موجود تصمیم‌گیری نمایند. دستگاههائی براساس روشهای شناسائی الگوها ـ یا شناسائی هارمونیکهای مرتبه بالا (چند کیلوهرتز) که فقط در اثر جرقه‌های الکتریکی ناشی از خطا پیش می‌آید ساخته و ارائه شده‌اند.

روشهای ارائه شده و دستگاههای ساخته شده نیز معایبی دارند که باید بسیار حساس باشند و سیستمهای میکروپروسسوری برای حفظ الگوها و مقایسه در آنها موجود باشد که از نظر اقتصادی کاربرد آنها بطور وسیع در شبکه توزیع مشکل ایجاد می‌نماید.

روشهای قابل اعتمادتر و پیچیده‌تری برای تشخیص اتصال تک فاز به زمین وجود دارد لیکن هزینه این روشها ممکن است عامل مهمی جهت استفاده نکردن از آنها باشد از جمله این

روشها مشابه روش تشخیص فالت در کابلها است که به صورت اکتیو می‌باشد یعنی با ارسال موجی با فرکانس بالا و در امتداد فیدر و با توجه به تغییر فاز موج برگشتی می‌توان نه تنها به اتصال تک فاز به زمین پی برد بلکه می‌توان محل خطا را نیز تعیین نمود.

روشهای دیگر تشخیص خطای اتصال تک فاز به زمین تغییر در طراحی سیستم است طوری که افتادن یک فاز سبب اتصال به یک هادی با مقاومت زمین همراه باشد و جریان خطای زیادی را تولید نماید. شاید بدین صورت که اگر سیم فاز بخواهد به زمین اتصال پیدا کند حتماً قبل از آن روی سیم نول بیفتد که ایجاد جریان زیاد می‌نماید. البته ایجاد چنین تغییراتی در یک سیستم بزرگ معمولاً گران قیمت خواهد بود.

روشهای ارائه شده در طول زمان و توسط محققین مختلف هیچکدام راه حل قطعی و دقیقی را برای تمام رنج جریانهای خطا بدست نمی‌دهد اما ترکیبی از چند راه حل می‌تواند یک روش منطقی با دقت مناسب را ارائه کند. روشهای پردازش سیگنال به همراه کنترلهای فازی و آماری و استفاده از برنامه‌های هوشمند می‌تواند در آینده کاربردهای عملی اقتصادی را برای این مشکل شبکه‌های توزیع ارائه نماید لیکن تا آن موقع باید با مطالعه شرایط موجود و امکانات موجود بهترین ترکیب را برای کاهش ضایعات ناشی از این نوع خطا بوجود آورد.

۳ ـ توازن بین ایمنی و قابلیت اعتماد :

چنانچه برای تشخیص و بر طرف کردن خطای تک فاز از سیستمهائی استفاده شود که قابلیت اعتماد بالائی نداشته باشند ممکن است در اثر اتفاقات دیگر به غیر از خطای تک فاز باعث قطعی فیدر شوند که به خاطر آنکه برای تعیین محل خطا باید یک گروه تمامی طول فیدر را طی نماید این قطعی به طول می‌انجامد و در اثر تکرار باعث اعتراض و نارضایتی مردم و مصرف‌کنندگان متصل به آن فیدر خواهد شد و در مواردی ممکن است ضایعات ناشی از قطع یک فیدر خاص بیش از ضایعات مربوط به خطای تک فاز احتمالی باشد. یا به عبارت دیگر برای افزایش ایمنی سیستم از یک طرف با گذاشتن سیستم نامطمئنی در واقع ایمنی سیستم را از جهت دیگر کاهش داده باشیم بنابراین مطالعات در این زمینه باید طوری جوانب را بسنجد و پیشنهادات در این زمینه به گونه‌ای باشد که بتواند با درصد اطمینان بالا روشهای مناسب را پیشنهاد نماید.

بنابراین برای تصمیم‌گیری در مورد قطع یک فیدر با پیش‌بینی خطای تک فاز به زمین باید موارد متعددی از جمله احتمال خطر برای مردم ـ احتمال آتش‌سوزی ـ احتمال ضررهای ناشی از خاموشی روی فیدر و عوامل دیگر را مقایسه و سپس اقدام نمود. یک دستگاه

تشخیص خطا معمولاً خود می‌تواند دارای دو نوع خطا باشد یکی خطای نشان ندادن یک اتصال تک فاز به زمین و دیگر خطای تشخیص غلط یک خطا یا نشان دادن اتصال تک فاز موقعی که وجود ندارد تنظیم دستگاه برای دقت در مورد کاهش خطای اول باعث افزایش احتمال خطای دوم خواهد شد یعنی احتمال خطای تک فاز کمتر باعث احتمال خاموشی بیشتر می‌شود و بالعکس و این مسئله است که بررسی ارائه شده فوق را ایجاب می‌نماید.

۴ ـ خلاصه کارهای انجام شده :

۱ ـ ۴ ـ آمار اتفاقات اتصال تک فاز در شبکه اصفهان :

تاریخ اتفاق	شرح اتفاق	مدت زمان تشخیص	حفاظت عمل نموده یا نه	ضایعات و خسارات
۶۷/۱/۱۶	بر اثر برخورد کامیون با سیم فاز شبکه فشار ضعیف، سیم پاره شده و به داخل جوی آب می‌افتد.	۱۲ ساعت	خیر	دختر بچه ۶ ساله‌ای در حال شستشوی دستهای خود در جوی آب دچار برق‌گرفتگی شده و جان خود را از دست می‌دهد.
۶۹/۱/۱۴	به علت نامشخصی یکی از سیمهای شبکه فشار ضعیف پاره شده و روی زمین می‌افتد	۲۰ ساعت	خیر	پس از بارش باران، جوانی در حین عبور از کنار سیم پاره شده به علت تماس با سیم دچار برق‌گرفتگی شده و جان خود را از دست می‌دهد.
۷۲/۸/۲۵	سیم فاز پائینی شبکه فشار ضعیف پاره شده و روی سیم مخابرات می‌افتد.	۳ ساعت	خیر	ـــــ
۷۲/۸/۷	بر اثر برخورد بیل لودر با شبکه فشار ضعیف، یکی از فازها پاره شده و روی زمین می‌افتد.	۸ ساعت	خیر	ـــــ
۷۲/۹/۸	بر اثر افتادن سیم فاز پائینی در داخل جوی آب، آب به جوش آمده.	۸ ساعت	خیر	ـــــ

۲ ـ ۴ ـ نتایج اطلاعات جمع‌آوری شده سیستم زمین شبکه توزیع :

با توجه به اهمیت نقش سیستم زمین در میزان جریان خطا و تشخیص خطای امپدانس بالا طی یک دوره دو ماهه تیمی متشکل از مهندسین برق منطقه‌ای و دانشجویان اقدام به جمع‌آوری اطلاعات و اندازه‌گیری روی سیستم زمین نمودند که بخشی از این اطلاعات به صورت جمع‌بندی شده در زیر می‌آید لازم به ذکر است که اندازه‌گیری در محل ترانس و در طول فیدرهای فشار ضعیف انجام شده است و در محل ترانس دو زمین وجود دارد که یکی بدنه تابلو را زمین می‌کند و دیگر برقگیرها و بدنه ترانس و نقطه ستاره را باید زمین کند و این دو زمین به فاصله چند متر از یکدیگر می‌باشند.

نوع اتصال زمین معمولاً میله‌های آهنی ۱/۵ متری با پوشش مسی یا صفحات مسی ۵۰×۵۰ سانتیمتری می‌باشد که باید طبق استاندارد در عمق مناسب با خاکه زغال و نمک و اتصالات با مشخصات داده شده انجام گردد و مقاومت آنها بطور ایزوله کمتر از ۱۰ اهم باشد سیم ارتباطی بین میله و شبکه یا تابلو باید از نوع افشان مسی با پوشش مناسب جهت رعایت ایمنی باشد ـ طی ۱۶ مورد اندازه‌گیری خلاصه نتایج استخراج شده از فرمهای جمع‌آوری اطلاعات به شرح زیر می‌باشد.

۱ ـ ۲ ـ ۴ ـ مشخصات شبکه‌های مورد بررسی :

نوع سیم زمین	حفاظ سیم زمین	نوع زمین	مقاومت متوسط	اتصال تابلو به زمین
۶ مورد مسی ۲۵	۲ مورد ندارد	صفحه مسی ۵۰×۵۰	اهم ۵۰/۵	۱۲ مورد دارد
۶ مورد مسی ۳۵	۶ مورد پلیکا	میله ۱/۵ متری	ماکزیمم ۱۵۰	۴ مورد ندارد
۳ مورد مسی ۳۵	۸ مورد فلزی		مینیمم ۶/۷	
۲ مورد کابل مسی ۳۵				

۲ ـ ۲ ـ ۴ ـ خلاصه نتایج اندازه‌گیری مقاومت زمین شبکه‌های مورد بررسی :

ـ مقاومت الکترود زمین بطور ایزوله

۲ مورد $R < 10$

۳ مورد $10 < R < 20$

۶ مورد $20 < R < 50$ $\quad Rave = 50.6$

۵ مورد $R > 50$

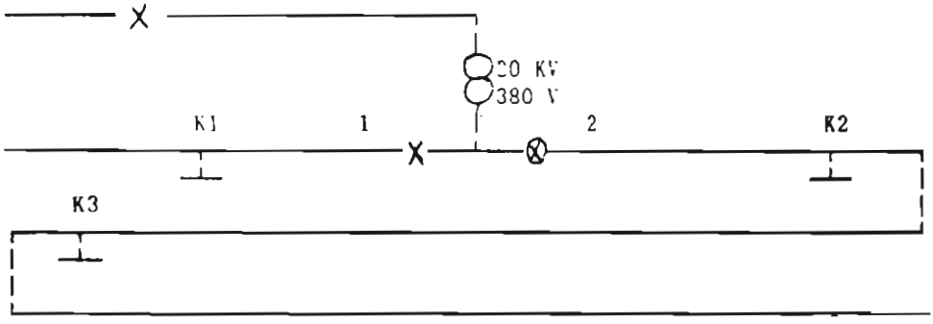
نکته قابل توجه در این بررسی عدم اجرای استانداردها، رعایت نکردن فواصل میله‌های زمین ـ شرایط زمین کردن در شبکه می‌باشد و به ویژه در اثر فرسودگی و خوردگی امکان

بلااستفاده شدن تعداد زیادی از میله‌های زمین وجود دارد که باز به علت انجام نشدن سرویسهای دوره‌ای این مسئله بلاتشخیص باقی می‌ماند.

۳ ـ ۴ ـ گزارش تست اتصال کوتاه و نتایج آن روی شبکه آزمایشی :

در روز پنجشنبه مورخ ۷۳/۸/۵ مقدمات انجام شده یک آزمایش اتصال کوتاه در محل مجتمع آموزشی بختیار دشت متعلق به برق منطقه‌ای اصفهان فراهم آمد.

دیاگرام تک خط سیستم مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



« شکل ۱ »

فیدر شماره ۱ مورد مطالعه قرار گرفت. فیدر شماره ۲ در تمام مراحل تست از سیستم جدا بوده است، قابل ذکر است که سیم نول ترانس در هر دو فیدر به هم وصل بوده و در امتداد هر دو فیدر کشیده شده است.

سیم نول در نقاط K1 , K2 , K3 روی شکل ۱ زمین شده بود. با استفاده از میله زمین و خاک، زغال و نمک با توجه به استانداردهای برق منطقه‌ای سعی در ایجاد اتصال زمین مناسب بوده است.

همچنین در نقطه زمین K1 به فاصله ۱ متر از میله زمین یک صفحه مسی به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتیمتر در عمق ۱/۵ متری سطح زمین با استفاده از خاک، نمک و زغال قرار داده شده و سیم متصل به آن بیرون آورده شده بود.

ترانس از نوع ترانس توزیع معمولی با قدرت 100 KAV و سیم مقطع سیم فاز شبکه 5×16 و سیم ارت 25 می‌باشد.

برقگیر ترانس توسط یک میله زمین و بدنه ترانس و تابلو توسط یک میله دیگر زمین شده بودند. در اینجا نیز از خاک، زغال و نمک و با توجه به دستورالعمل اجرایی استفاده شده بود. سیم نول در اولین پایه بعد از ترانس در هر دو فیدر زمین شده بود. جهت اتصال کوتاه یک سیم به یکی از فازها که در اینجا فاز a فرض شده است متصل شد که در این گزارش سیم اتصال کوتاه نامیده می‌شود. محل اتصال سیم اتصال کوتاه به فاز در نزدیکی اولین دکل بود.

جهت اندازه‌گیری از ولت‌متر و آمپرمتر چنگکی استفاده شد. همچنین جهت بررسی وضعیت تقریبی شکل موج و زاویه بین فازها یک دستگاه اسیلوسکوپ مورد استفاده قرارگرفت. تغذیه اسیلوسکوپ از فاز b گرفته شد و فاز b به عنوان مرجع اندازه‌گیری زاویه مورد استفاده قرار گرفت.

« انجام آزمایش: »

مرحله ۱:

قبل از اعمال اتصال کوتاه اندازه‌گیری جهت مشخص نمودن وضعیت سیگنالها قبل از وقوع خطا انجام گرفت.

اندازه‌گیری ولتاژ نسبت به نول و در محل تابلو انجام گرفت. نتایج در زیر آمده است.

|Van| = 230 V	|Vbn| = 230 v	|Vvn| = 230	
|Ian| = 0	|Ibn| = 0	|Icn| = 0	|Ien| = 0

مرحله ۲:

سیم اتصال کوتاه روی زمین قرار داده شد که با یک میله عایق در داخل سطح زمین فشار داده شد. وضعیت درحد دقت وسایل اندازه‌گیری کاملاً مانند حالت قبل از خطا بود و هیچگونه تغییری نکرد. جریان در هر سه فاز صفر اندازه‌گیری شد و ولتاژها مانند قبل باقی ماندند.

مشخص می‌شود که امپدانس محل اتصال کوتاه به اندازه‌ای بزرگ است که جریان اتصال کوتاه قابل اندازه‌گیری توسط آمپرمتر چنگکی نبوده است.

مرحله ۳ :

سیم اتصال کوتاه به سیم متصل به صفحه مسی وصل گردید. نتایج زیر بدست آمد.

نقطه e، سیم زمین بدنه تابلو می‌باشد که جریانی از آن نمی‌گذرد.

$|Vae| = 142\ V$

$|Vbe| = 290\ V$

$|Vce| = 290\ V$

$|Vne| = 80\ V$

جریان در فاز a $|Ia| = 23\ A$

جریان در سیم نول ترانسفورمر $|In| = 23\ A$

جریان در سیم اتصال کوتاه $|If| = 23\ A$

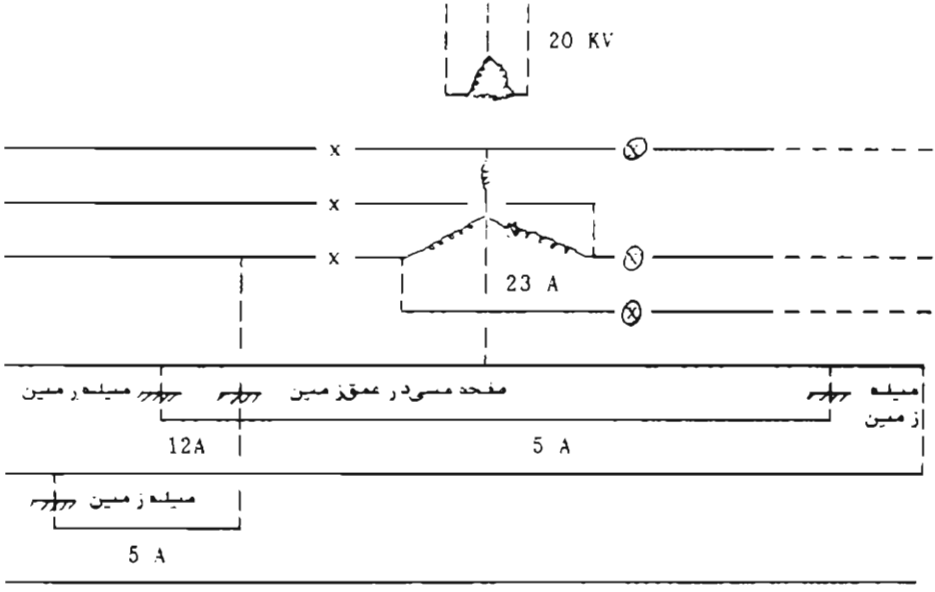
جریان در سیم میله زمین در نقطه K1 $|Ik1| = 23\ A$

جریان در سیم میله زمین در نقطه K2 $|Ik2| = 5\ A$

جریان در سیم میله زمین در نقطه K3 $|Ik3| = 5\ A$

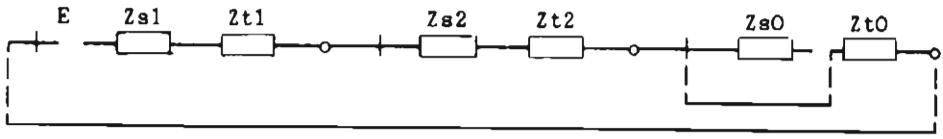
بررسی نتایج مرحله ۳ :

شکل ۲ مدار هنگام انجام تست را نشان می‌دهد.



«شکل ۲»

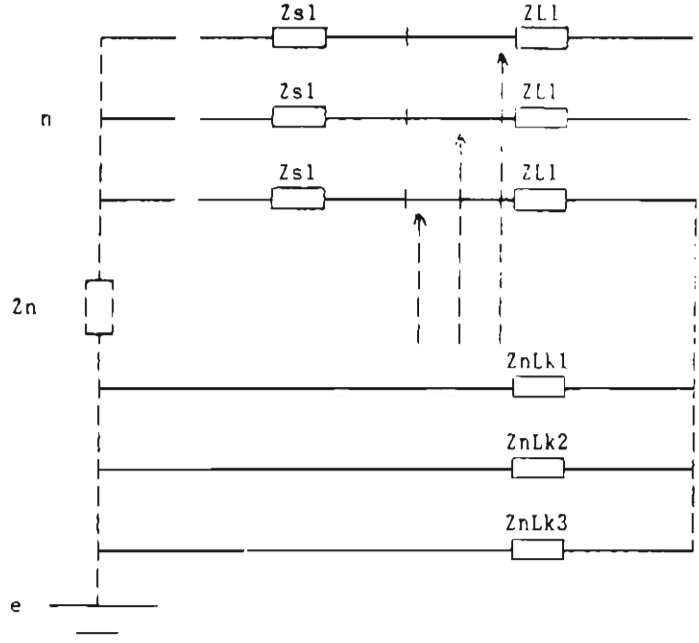
مدار مولفه‌های متقارن از دید ترمینال خروجی ترانسفورمر در شکل ۳ نشان داده می‌شود.



« شکل ۳ »

بنابراین مجموعه ترانس و امپدانس سیستم 20 KV را می‌توان به صورت یک امپدانس مدل نمود.

شکل ۴ مدار معادل شبکه را با فرض یک مدل منبع برای ترانس و شبکه پست آن نشان می‌دهد.



« شکل ۴ »

به دلیل وجود حالت عدم تقارن به علت خطای تکفاز نقطه n در مدار معادل دارای ولتاژ خواهد شد (80 V) ولتاژ فاز a نسبت به e افت شدید پیدا خواهد نمود.

80 ولت تغییرات ولتاژ در ولتاژ فاز نسبت به زمین صفر در اثر جریان 23 A روی Zn و Zsl می‌باشد. همچنین اگر به علت کوتاهی مسافت بین ترمینال ترانس و محل اتصال کوتاه ZL1 کوچک فرض شود، افت ولتاژ 142 ولت بر روی ZnLK1 در اثر 12 آمپر و یا روی ZnkL3 یا

ZnkL2 در اثر 5 آمپر می‌باشد.

قابل ذکر است که فاصله محل خطا تا نقاط زمین سیم نول در میزان خطا تأثیر مهمی ندارد زیرا امپدانس اتصال میله زمین با جرم زمین عایق تعیین‌کننده می‌باشد و به علت کوتاهی فاصله محلهای زمین شده تا محل خطا اثر امپدانس جرم زمین قابل صرفنظر کردن می‌باشد.

به علت عدم امکان اندازه‌گیری زاویه سیگنالها، امکان انجام محاسبات دقیق برای بدست آوردن اطلاعات بیشتر از تست نمی‌باشد و اما می‌توان اندازه امپدانسهای مختلف در محدوده دقت اندازه‌گیری را محاسبه نمود.

$$|Zn| = \frac{|Vne|}{|In|} = \frac{80}{23} = 3.48$$

$$|ZnLK1| = \frac{|Vae|}{|Ik1|} = 11.8$$

$$|ZnLK2| = \frac{|Vae|}{|Ik2|} = 28.4$$

$$|ZnLK3| = \frac{|vae|}{|Ik3|} = 28.4$$

امپدانس مسیر زمین بین نقطه اتصال کوتاه و نول ترانس از رابطه زیر بدست می‌آید.

اگر سیم نول در سه نقطه زمین شده باشد.

$$\frac{1}{|Z|} = \frac{1}{11.8} + \frac{1}{22.4} + \frac{1}{28.4}$$

$$Z = 6.44$$

اگر سیم نول در دو نقطه زمین شده باشد (اتصال K3 قطع باشد)

$$\frac{1}{|Z|} = \frac{1}{11.8} + \frac{1}{28.4}$$

$$Z = 8.33$$

قابل ذکر است که اندازه‌گیریهای امپدانس زمین در محل قبلاً انجام گرفته بود که نتایج زیر بدست آمد.

$Ze = 20$ نول در یک نقطه زمین شده باشد.

$Ze = 9$ نول در دو نقطه زمین شده باشد.

$Ze = 7$ نول در سه نقطه زمین شده باشد.

مقایسه این مقادیر با نتایج بدست آمده از تست اتصال کوتاه نشان می‌دهد که یک هماهنگی بین این نتایج وجود دارد.

علت مساوی نبودن مجموع جریانها در شاخه‌های زمین با جریان سیم نول می‌توان به همفاز نبودن جریانها نسبت داد.

« نتیجه تست: »

تست اتصال کوتاه روی یک شبکه نمونه انجام گرفت، در شرایط اتصال کوتاه فاز به زمین جریان خطا بسیار کم بوده است بطوری که در حد دقت اندازه‌گیری وسایل بکار رفته هیچگونه تفاوتی با حالت قبل از وقوع خطا مشاهده نشد. قابل ذکر است که سیم نول در سه نقطه با توجه به دستورالعمل اجرایی زمین کردن شرکت برق منطقه‌ای با استفاده از خاک، زغال و نمک زمین شده بود. امپدانس سطح زمین به حدی بزرگ بوده که دستگاه اندازه‌گیری جریان هیچگونه جریانی را نشان نمی‌داد.

برای بهبود وضعیت، اتصال کوتاه از طریق یک صفحه مسی در عمق زمین ایجاد گشت. جریانی برابر A 23 از فاز خطادار عبور نمود. مسیر برگشت جریان به نول ترانس از طریق سه نقطه اتصال زمین سیستم نول بوده است. حتی در این شرایط نیز امپدانس به حدی نمی‌باشد که جریان قطع فیوز از مدار بگذرد.

۵ ـ نتیجه گیری :

آنچه در این مرحله با توجه به مطالعات و آزمایشات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت آن است که ارائه یک روش عملی با اطمینان و خوب برای شبکه توزیع بسیار مشکل خواهد بود به ویژه برای شبکه توزیع ایران که بر مبنای مهندسی از ابتدا استوار نبود و عدم رعایت استانداردها و فرسودگی و عدم سرویس منظم پراکندگی زیادی را در مشخصات فنی آن ایجاد نموده است و لذا در مرحله اول ارائه پیشنهادهائی برای اصلاح سیستم زمین و رعایت استانداردهای لازم ضروری به نظر می‌رسد و علیرغم مشکلات اقتصادی کشور در حال حاضر باید برای جلوگیری از مشکلات عمده‌تر و تلفات و زیانهای شدید با برنامه‌ریزیهای کوتاه مدت و دراز مدت به اصلاح شبکه در مرحله اول و ارائه روشهای نوین در مرحله بعد پرداخت.

مطالعات برای پیشنهاد یک روش تشخیص و رفع خطای امپدانس بالا باید دقیق و همه جانبه باشد و رعایت توازن بین عوامل ایمنی، اقتصادی و قابلیت اعتماد در آنَ ملحوظ شده باشد. در واقع نباید در پی هر حادثه ناشی از اتصال تک فاز به زمین احساسات مردم فشاری باشد برای اعمال روشهای تسکینی و بدون نتیجه قطعی و بلکه باید در یک تحقیق کامل با انجام آزمایشات مکرر روش مناسب را برای شبکه ایران تدوین نمود. بهرحال این روش قابل اجراء نخواهد بود مگر قبل از آن دستورالعملهای اصلاحی ارائه و اجراء گردد.

۶ـ مراجع :

[1] M.aucoin, "STATUS of High Impedance Fault detection", Ieee trans. On PAS, VOL. 104, NO. 3, 1985.

[2] I.Carr, "detection of High Impedance fault on multi-grounded Primary distributon systems", Ieee trans. On PAS, VOL. 100, NO. 4, 1981.

[3] H.Calhoun etal., "development and testion of an electro-Mechanical relay to detect fallen distribution conductors", Ieee trans. on PAS, VOL. 101, 1982.

[4] G.W.Lee etal., "High Impedance fault detecton Utilizing Impedance valiance of Normal and even Order Harmonic Power"< Ieee trans. on Power delivery, VOL. 6, 1991.