

بررسی انواع اتصالات نقطه نوترال ترانسفورماتورها و ژنراتورها به زمین

معایب و مزایا

۱. سیستم های دارای نقطه‌ی نول زمین نشده

در راه اندازی و بهره برداری از سیستم های قدرت اولیه، نقطه‌ی نول سیستم ها عمدتاً زمین نمی شدند که این روش به دلیل عدم نیاز به تریپ و قطع خطاهای تکفاز به زمین مورد استفاده قرار می گرفت. بعد ها خاموشی های غیر برنامه ریزی شده به خاطر وقوع خطای تکفاز به زمین برای فرایند کارکرد پیوسته‌ی صنایع به یک امر نامطلوب تبدیل شد. لذا این سیستمهای قدرت به یک ساختار متفاوت برای تشخیص نقطه زمین نیاز داشتند. عدم وجود نقطه نول زمین شده در سیستم ها باعث به وجود آمدن اضافه ولتاژهای گذرا می شود. علت این امر وجود خاصیت خازنی بین هادی ها و زمین می باشد که این خاصیت خازنی به همراه خاصیت سلفی خطوط می توانند به هنگام وقوع خطا تشکیل یک تشدید را بدهند و باعث به وجود آمدن اضافه ولتاژ گذرا تا دامنه‌ی ۱.۷۳ برابر مقدار ولتاژ نامی در شبکه شوند. این اضافه ولتاژها نیز به نوبه خود عمر عایقی تجهیزات را کاهش داده و باعث بروز خطا و شکست عایقی در دفعات بعد می شوند.

مزایا:

✓ بعد از وقوع یک خطای تکفاز (با فرض باقی ماندن خطا به صورت تکفاز)، مدار ممکن است شرایط کاری خود را ادامه بدهد تا طبق برنامه ریزی مشخص یک خاموشی انجام بگیرد.

معایب:

✓ به وجود آمدن اضافه ولتاژهای گذرا
✓ وقوع یک خطای ثانویه قبل از رفع خطای اولیه می تواند مثل یک خطای دوفاز عمل کرده و باعث آسیب دیدگی تجهیزات و اختلال در مدار شود.
✓ تعیین محل خطا یک امر صعب و دشوار می باشد

۲. انواع اتصال نقطه نول به زمین در سیستم های قدرت

سیستم‌های قدرت اولیه به دلیل کوچک بودن معمولاً از اتصال نقطه نول به زمین بهره نمی بردند لذا در این سیستم ها تشخیص خطای فاز به زمین صورت نمی گرفت. از طرف دیگر، به دلیل وجود خاصیت خازنی خطوط با زمین یک جریان شارژ کننده خازنی به هنگام وقوع خطا از فازها عبور می کند که این جریان باعث ایجاد اضافه ولتاژهای گذرا در شبکه می شود. این اضافه ولتاژها اصلی‌ترین دلیل برای زمین کردن نقطه نول تجهیزات می باشد. به طور کلی اتصال نقطه نول به زمین تجهیزاتی مانند ترانسفورماتورها، ژنراتورها و سایر ماشین های الکتریکی دارای اهمیت فراوانی می باشد که در زیر به بخشی از این موارد اشاره می شود:

۱. کاهش دامنه‌ی اضافه ولتاژهای گذرا

۲. محل یابی ساده و آسان برای انواع خطاهای زمین
۳. بهبود حفاظت سیستم
۴. کاهش در هزینه و زمان نگهداری
۵. افزایش ایمنی افراد و پرسنل
۶. بهبود حفاظت در برابر صاعقه
۷. کاهش در تکرار خطا

با توجه به موارد اشاره شده و اهمیت اتصال نقطه نول تجهیزات به زمین، نحوه‌ی اتصال نیز می‌تواند انواع مختلفی داشته باشد. انواع اتصالات نقطه نول به زمین عبارتند از:

۱. اتصال به شکل مستقیم یا صلبی^۱
۲. اتصال از طریق یک مقاومت
۳. اتصال از طریق یک راکتور یا سیم پیچ

لازم به ذکر است که برای سیستم‌های بدون نقطه نول (اتصال مثلث)، از ترانسفورماتورهای زمین به منظور ایجاد نقطه نول بهره می‌گیرند که اتصال نقطه نول این ترانسفورماتورها خود می‌تواند شامل موارد ۱ و ۲ باشد. معمولاً ترانسفورماتورهای زمین یک مسیر برگشتی برای خطاهای تکفاز به زمین ایجاد می‌کنند. امیدانس خود ترانسفورماتورهای زمین می‌تواند به عنوان یک محدود ساز خطا باشد ولی در صورت نیاز به کنترل بیشتر می‌توان از مقاومت به صورت سری با ترانس استفاده کرد. در ادامه به بررسی انواع اتصالات فوق‌الذکر می‌پردازیم.

۲.۱. اتصال به صورت مستقیم یا صلبی (از طریق یک کابل)

اتصال صلبی نقطه نول به زمین معمولاً در کاربردهای ولتاژ پایین (کمتر از ۶۰۰ ولت) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این اتصال نقطه نول تجهیزات به صورت مستقیم به زمین وصل می‌شود. این اتصال به طور چشمگیری مشکل وقوع اضافه ولتاژهای گذرای ایجاد شده در سیستم‌های زمین نشده را کاهش می‌دهد و یک مسیری برای جریان خطای زمین در محدوده‌ی ۲۵ تا ۱۰۰ درصد جریان خطای سه فاز سیستم را فراهم می‌کند. در این نوع اتصال اگر راکتانس ترانسفورماتورها و ژنراتورها بزرگ باشد مشکل وقوع اضافه ولتاژهای گذرا همچنان باقی خواهد ماند. علاوه بر این، مزیت دیگر اتصال مستقیم نسبت به سیستم‌های زمین نشده، محل یابی آسانتر خطا می‌باشد و البته به دلیل نداشتن مقاومت برای محدود سازی جریان خطا از حفاظتهای اضافی بهره می‌برند. این اتصال به دلیل داشتن مقاومت خیلی کم به هنگام وقوع خطا متحمل عبور جریان شدیدی شده که این امر باعث فعال شدن فیوزها یا کلیدهای تعبیه شده می‌شود و امر حفاظت انجام می‌گیرد.

¹ Solid

معایب و مزایای اتصال مستقیم به صورت زیر می باشد.

مزایا:

- ✓ مزیت اصلی اتصال مستقیم داشتن ولتاژ کم می باشد.
- ✓ تشخیص آسان محل خطا از طریق قطع کلید تعبیه شده

معایب:

- ✓ این سیستم شامل تمامی اشکالات و خطرات موجود در خطای زمین جریان بالا می باشد.
- ✓ در این نوع اتصال خطر انسانی به هنگام وقوع خطا زیاد است زیرا ولتاژ تماس ایجاد شده افزایش می یابد.
- ✓ قابلیت اطمینان کم بر روی مدارهای اصلی.
- ✓ حساس به قوس خطا (نیاز به رله دارد).

۲.۲ اتصال از طریق یک مقاومت:

این اتصال چندین سال است که در سیستم های قدرت مورد استفاده قرار می گیرد و توانسته بسیاری از مشکلات سیستم های بدون نقطه نول و زمین شده به صورت مستقیم را حل کند. مقاومت اتصال نقطه نول به زمین^۱ برای محدود کردن جریان نقطه نول ترانسفورماتورها و ژنراتورها به هنگام وقوع خطای زمین مورد استفاده قرار می گیرد. طبق استاندارد IEEE 142-2007، دلایل محدود سازی جریان خطا نقطه نول به زمین به صورت زیر بیان شده است:

۱. کاهش اثرات سوختگی و ذوب شدگی تجهیزات دچار خطا نظیر سوییچگیرها، ترانسفورماتورها، ماشینهای الکتریکی گردان (ژنراتورها و موتورها)، کابل ها و غیره
۲. کاهش تنش های مکانیکی ایجاد شده در مدارها و تجهیزات حامل جریان خطا
۳. کاهش خطرات ناشی از شوک الکتریکی ایجاد شده در اثر جریان خطای پراکنده برای افراد
۴. کاهش انفجار قوس و خطرات فلش برای افراد مستقر در مجاورت خطا
۵. کاهش لحظه ای شیب ولتاژ خط ایجاد شده به هنگام وقوع و رفع خطای زمین.
۶. کنترل امن اضافه ولتاژهای ایجاد شده و جلوگیری از وقوع خاموشی در مدارهای دارای خطا زمین

اتصال از طریق مقاومت در حالت کلی به دو دسته تقسیم می شود: زمین شدگی با مقاومت کم و زمین شدگی با مقاومت زیاد. اگر چه معیار دقیقی برای تمییز بین این دو وجود ندارد ولی تجربه نشان داده است که جریان خطا زمین در اتصال با مقاومت زیاد به مقدار ۱۰ آمپر و کمتر محدود می شود ولی در مقاومت کم مقدار این جریان بین اعداد ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ آمپر می تواند متغیر باشد. طبق استاندارد IEEE 141-1993، زمین شدگی با مقاومت بالا باید به سیستم های ۵ کیلوولت و پایین تر که جریان خازنی

^۱ Neutral Grounding Resistor (NGR)

حدود ۵.۵ آمپر دارند محدود شود. استفاده از این نوع اتصال برای سیستم های ۱۵ کیلوولت و بالاتر منوط به استفاده از رله های مناسب می باشد.

➤ مقاومت پایین

مزایا:

- ✓ محدود سازی جریان فاز به زمین در حدود ۲۰۰ تا ۴۰۰ آمپر
- ✓ کاهش در جریان قوس الکتریکی، تنش های مکانیکی و حرارتی به وجود آمده در سیم پیچ ترانسفورماتورها و ژنراتورها

معایب:

- ✓ عدم جلوگیری از عملکرد تجهیزات دچار اضافه جریان
- ✓ عدم نیاز به تجهیزات تشخیص خطای زمین

➤ مقاومت بالا

مزایا:

- ✓ افزایش قابلیت تشخیص خطاهای امپدانس بالا در سیستم های با ارتباط خازنی ضعیف به زمین
- ✓ رفع خود به خودی بعضی از خطاهای فاز به زمین
- ✓ محدود سازی اضافه ولتاژهای گذرا به مقدار حدود ۲.۵ برابر ولتاژ فرکانس اصلی
- ✓ محدود سازی جریان فاز به حدود ۵ الی ۱۰ آمپر
- ✓ کاهش در جریان قوس الکتریکی، تنش های مکانیکی و حرارتی به وجود آمده در سیم پیچ ترانسفورماتورها و ژنراتورها

معایب:

- ✓ زمانی که ارتباط خازنی قوی یا متوسطی بین قسمت فشار قوی و زمین وجود دارد، جریان خطای زمین گسترده ای تولید می شود.
- ✓ نیاز به سیستم تشخیص خطای زمین دارد تا به اپراتور وقوع خطا را اطلاع دهد.

۲.۳. اتصال از طریق یک راکتور یا سیم پیچ

برای کنترل و حذف مولفه‌ی راکتیو جریان خطای زمین معمولاً از سیستم زمین رزونانس در نقطه نول تجهیزات استفاده می شود. این سیستم از طریق یک راکتور یا سیم پیچ پترسون حاصل می شود. جریان تولید شده به واسطه‌ی این اتصال راکتانسی می تواند جریان خازنی موجود را تا حد زیادی کاهش بدهد. تنظیم دقیق مقدار این راکتور و سیم پیچ برای حذف کامل جریان

خازنی عمدتاً دشوار و غیر عملی می باشد. به وجود آمدن پدیده رزونانس به منظور حذف جریان های خازنی اغلب باعث افزایش اضافه ولتاژهای گذرا در سیستم می شود که برای حذف و کنترل این اضافه ولتاژها، مقادیر راکتانسها به گونه ای تعیین می شوند که حدود ۲۵ تا ۶۰ درصد جریان خطای سه فاز را از خود عبور دهند. لذا جریان عبوری عدد بزرگی می باشد و به همین دلیل از این نوع اتصال در کاربردهای صنعتی به ندرت استفاده می شود.

مزایا:

- ✓ کوچک بودن مقدار جریان راکتیو خطای زمین (این مقدار مستقل از ظرفیت سیستم می باشد)
- ✓ قابلیت تشخیص خطاهای با امپدانس بالا

معایب:

- ✓ خطر افزایش تلفات اکتیو خطای زمین
- ✓ دارای هزینه های بالا می باشد.

مقایسه ی بین سیستم های مختلف اتصال نقطه نول به زمین

شرایط	سیستم زمین نشده	زمین شده به صورت مستقیم	زمین شده با مقاومت پایین	زمین شده با مقاومت بالا	زمین شده به صورت رزونانس
امنیت در برابر اضافه ولتاژهای گذرا	ندارد	خوب	خوب	عالی	عالی
حفاظت تجهیزات	ندارد	ضعیف	خیلی خوب	عالی	عالی
امنیت افراد	ندارد	خیلی خوب	خوب	عالی	عالی
قابلیت سرویس	ندارد	خوب	خیلی خوب	عالی	عالی
هزینه ی نگهداری	زیاد	خوب	خیلی خوب	عالی	خوب
سهولت در تشخیص خطای تکفاز	غیر ممکن	خوب	خیلی خوب	عالی	عالی
قابلیت هماهنگی تجهیزات حفاظتی	ندارد	خوب	خیلی خوب	عالی	عالی
کاهش در فراوانی خطا	بدترین نوع	خیلی خوب	خوب	عالی	عالی
برق گیر	نوع زمین نشده نقطه نول	نوع زمین شده نقطه نول	نوع زمین نشده نقطه نول	نوع زمین نشده نقطه نول	نوع زمین نشده نقطه نول
جریان خطای تکفاز به صورت درصدی از خطای سه فاز	کمتر از ۱ درصد	۵ تا ۲۰ درصد	کمتر از ۱ درصد	۵ تا ۲۵ درصد	۵ تا ۲۵ درصد