

بررسی عملکرد برق‌گیرها در خطوط انتقال قدرت

مقدمه

برق‌گیر صاعقه (Lightning Arrester یا Surge Arrester) وسیله‌ای حفاظتی است که در خطوط انتقال قدرت و سیستم‌های مخابراتی برای محافظت از عایق‌ها و تجهیزات در برابر اضافه‌ولتاژهای ناشی از صاعقه یا کلیدزنی استفاده می‌شود. این وسیله دارای یک ترمینال ولتاژ بالا و یک ترمینال زمین است و در شرایط عادی تقریباً جریان عبور نمی‌دهد، اما هنگام وقوع اضافه‌ولتاژ به سرعت هادی شده و جریان ضربه‌ای را به زمین منحرف می‌کند. در صورت نبود برق‌گیر یا عملکرد نامناسب آن، صاعقه می‌تواند ولتاژهایی در حد چندین مگاولت وارد سیستم کند که منجر به تخریب خطوط انتقال، آسیب شدید به ترانسفورماتورها و تجهیزات الکترونیکی، و حتی خطر جانی برای انسان می‌شود. بنابراین برق‌گیر نقش حیاتی در محدود کردن ولتاژ و حفاظت از سیستم دارد. برق‌گیرها در انواع مختلفی ساخته می‌شوند، از جمله نوع شکاف جرقه‌ای، نوع نیمه‌هادی کاربید سیلیسیم (SiC)، و نوع مدرن با بلوک‌های اکسید روی (ZnO یا MOV) که دارای رفتار غیرخطی شدید هستند. در این نوع، در ولتاژهای عادی جریان بسیار ناچیز است، اما با افزایش ناگهانی ولتاژ، مقاومت به شدت کاهش یافته و مسیر تخلیه‌ی جریان به زمین فراهم می‌شود.

برق‌گیرها با پارامترهایی مانند ولتاژ نامی، ولتاژ شروع هدایت، جریان قابل تحمل و ظرفیت جذب انرژی مشخص می‌شوند و انتخاب و نصب صحیح آن‌ها بخش مهمی از سیستم جامع حفاظت در برابر صاعقه به شمار می‌رود.

بدنه – بخش اول: استاندارد IEC 61000-4-5

برای ارزیابی مقاومت تجهیزات در برابر اضافه‌ولتاژهای ضربه‌ای و تعیین سطوح عملکردی مناسب، استاندارد بین‌المللی IEC 61000-4-5 تعریف شده است. این استاندارد به روش‌های آزمایش و شکل موج‌های مرجع برای سنجش مصونیت در برابر موج‌های Surge می‌پردازد. در این استاندارد، شکل موج مرجع 8/20-1.2/50 میکروثانیه معرفی می‌شود که بخش اول آن زمان صعود سریع ولتاژ و بخش دوم مدت تداوم آن را مشخص می‌کند، در حالی که بخش 8/20 میکروثانیه مربوط به شکل موج جریان است. این موج ترکیبی برای شبیه‌سازی اثر صاعقه‌های القایی و اضافه‌ولتاژهای کلیدزنی در آزمایشگاه استفاده می‌شود.

برای اعمال این موج به تجهیز مورد آزمون، از ژنراتور موج ترکیبی و شبکه‌های اتصال/جداکننده استفاده می‌شود تا موج استاندارد به صورت کنترل‌شده به سیستم تزریق گردد بدون آنکه سایر تجهیزات آسیب ببینند. استاندارد همچنین سطوح مختلف آزمون را بر اساس دامنه ولتاژ و جریان تعریف می‌کند که نشان‌دهنده شدت محیط الکترومغناطیسی محل نصب تجهیز است. این سطوح در عمل برای رتبه‌بندی و ارزیابی دستگاه‌های حفاظتی مانند برق‌گیرها نیز به کار می‌روند.

بدنه – بخش دوم: مبانی و انواع برق‌گیر

برق‌گیر یک مقاومت غیرخطی وابسته به ولتاژ است که در حالت عادی مقاومت بسیار بزرگی دارد و جریان کمی از آن عبور می‌کند، اما با اعمال ولتاژ ضربه‌ای، مقاومت آن کاهش یافته و جریان زیادی از آن عبور می‌کند تا دامنه اضافه‌ولتاژ کاهش یابد.

انواع برق‌گیر شامل نوع شکاف جرقه‌ای، نوع سیلیکون کاربید (SiC)، و نوع مدرن اکسید روی (ZnO) است. برق‌گیرهای ZnO به دلیل سرعت پاسخ بالا، پایداری حرارتی بهتر، جریان نشتی کمتر و سطح حفاظتی مناسب‌تر، به طور گسترده در شبکه‌های مدرن استفاده می‌شوند.

منحنی جریان-ولتاژ برق‌گیرهای ZnO دارای ناحیه‌ای با شیب بسیار تند است که باعث می‌شود با افزایش اندک ولتاژ، جریان به شدت افزایش یابد و اضافه‌ولتاژ مهار شود.

برق‌گیرها معمولاً در ورودی خطوط به پست‌ها، در مجاورت ترانسفورماتورها و در نقاط حساس خطوط انتقال نصب می‌شوند و مسیر اتصال به زمین آن‌ها باید کوتاه و کم‌اندوکتانس باشد.

پارامترهای اصلی طراحی شامل ولتاژ نامی، MCOV، جریان تخلیه نامی، ظرفیت جذب انرژی و کلاس تخلیه انرژی است.

بدنه – بخش سوم: تحلیل عملکرد در خطوط انتقال

اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه و کلیدزنی به صورت موج‌های گذرا روی خطوط انتقال منتشر می‌شوند. این موج‌ها با سرعتی نزدیک به سرعت نور در امتداد خط حرکت می‌کنند و در نقاط تغییر امپدانس بازتاب می‌یابند. امپدانس موجی خط معمولاً در حدود چند صد اهم است و نسبت موج بازتابی و عبوری به نسبت امپدانس‌ها بستگی دارد.

در صورت نبود برق‌گیر، موج به تجهیزات رسیده و ممکن است باعث شکست عایقی شود. در حضور برق‌گیر، موج در سطح مشخصی گیره شده و بخش عمده انرژی آن به زمین تخلیه می‌شود. فاصله برق‌گیر تا تجهیز و اندوکتانس مسیر اتصال نقش مهمی در مقدار ولتاژ باقیمانده دارند.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مهندسی

برق‌گیرها نقش اساسی در حفاظت شبکه‌های قدرت در برابر اضافه‌ولتاژهای گذرا دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عملکرد موفق برق‌گیر وابسته به انتخاب صحیح مشخصات، رعایت استانداردهای آزمون، طراحی مهندسی محل نصب و هماهنگی با سطح ایزولاسیون تجهیزات است. برق‌گیرهای ZnO به دلیل رفتار غیرخطی مناسب و پاسخ سریع، بهترین گزینه برای شبکه‌های مدرن هستند. در نهایت می‌توان گفت که حفاظت در برابر صاعقه یک مسئله سیستمی است و تنها با نگاه جامع مهندسی می‌توان شبکه‌ای پایدار، ایمن و قابل اطمینان طراحی کرد.

منابع

- Wikipedia contributors. *Lightning arrester*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Lightning_arrester
- Wikipedia contributors. *IEC 61000-4-5 – Surge immunity test*.
https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61000-4-5
- IEC. *IEC 61000-4-5: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surge immunity test*. International Electrotechnical Commission.
 - دانشگاه کاشان، دانشکده مهندسی برق. جزوه برق‌گیرها و حفاظت در برابر اضافه‌ولتاژ.
<https://faculty.kashanu.ac.ir/file/download/course/1577112258-hvds-7.pdf>
- Martinez-Velasco, J. A., & Castro-Aranda, F. *Insulation Co-Ordination in Power Systems*. EOLSS.
<https://www.eolss.net/sample-chapters/c05/E6-39-59-08.pdf>
- Ali, S. A. *Design of Lightning Arresters for Electrical Power Systems Protection*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/profile/Shehab-Ali-2/publication/280834807_Design_of_Lightning_Arresters_for_Electrical_Power_Systems_Protection/links/600d5d7645851553a06826c4/Design-of-Lightning-Arresters-for-Electrical-Power-Systems-Protection.pdf