ماهر
MAHER

اصول حفاظت
با برقگیرهای داخلی

اصول حفاظت با برقگیرهای داخلی (سرج ارسترها)

یکی از مهمترین مباحث در سیستم‌های قدرت الکتریکی موضوع سرج یا حالت گذرا است. سرج به دلایل گوناگونی در شبکه‌های برق رخ می‌دهد. هر چند مدت‌زمان پدیده‌های ایجادکننده سرج و در نتیجه طول عمر آن‌ها بسیار کوتاه است، ولی آثار و تلفات ناشی از سرج چشم‌گیر است. چرا که در طول زمان بسیار کوتاهی ولتاژ، جریان، توان یا فرکانس شبکه قدرت تغییرات بسیار زیادی پیدا می‌کند که این امر می‌تواند باعث وارد شدن صدمه‌های بالا به تجهیزات سیستم یا اختلال در عملکرد متداول آن‌ها شود. لذا، آمادگی در برابر سرج و حفاظت تأسیسات الکتریکی در مقابل آن، از اهمیت بالایی برخوردار است که در این مقاله به آن‌ها پرداخته می‌شود.

مقدمه‌ای بر حفاظت در برابر سرج

در این بخش، مباحث مقدماتی سرج و نحوه شکل‌گیری آن اشاره شده و سپس لزوم حفاظت از دستگاه‌ها در مقابل سرج مشخص می‌شود.

سرج چیست؟

سرج در واقع اضافه‌ولتاژی است که اندازه آن می‌تواند به ده‌ها کیلوولت و مدت برقراری آن به چند میکروثانیه برسد. علیرغم مدت‌زمان کوتاه، در اثر تخلیه انرژی بالا، امکان بروز مشکلات جدی برای تجهیزات متصل به خط وجود دارد، مانند کاهش طول عمر قطعات الکترونیکی، خرابی تجهیزات یا اختلال در سرویس و زیان‌های مالی.

منشا سرج‌ها

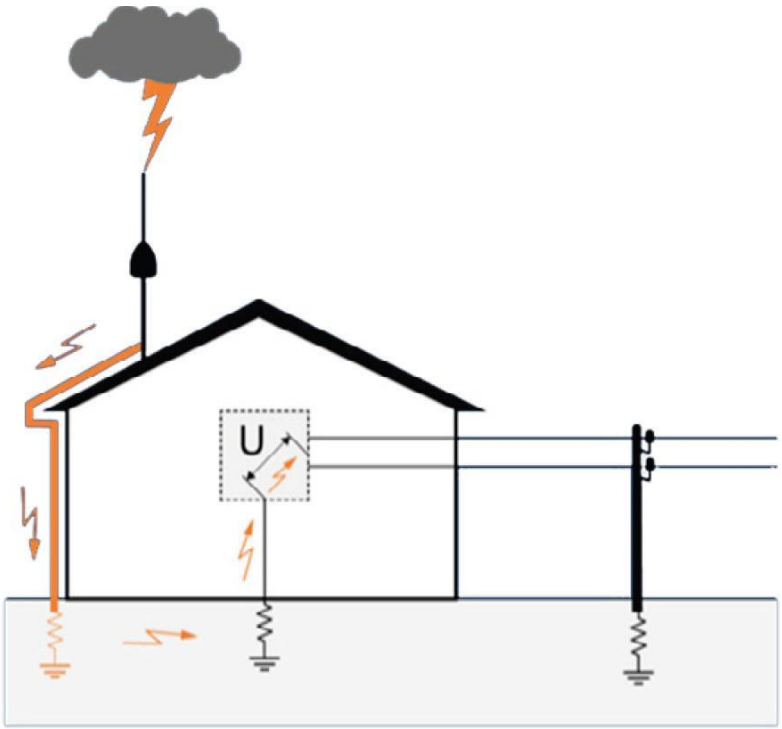
به طور کلی، علت بروز سرج را به صورت زیر می‌توان طبقه‌بندی کرد:

- صاعقه: مخرب‌ترین منبع شکل‌گیری سرج به شمار می‌آید. بر اساس استاندارد IEC ۶۱۶۴۳-۱۲، جریان صاعقه می‌تواند تا ۲۰۰ کیلوآمپر برسد. با این حال برای این مرجع، برآوردها نشان می‌دهد که این جریان در ۶۵ درصد مواقع کمتر از ۲۰ کیلوآمپر و در ۸۵ درصد مواقع کمتر از ۳۵ کیلوآمپر است.
- القاء: صاعقه بین ابرها یا اصابت آن در فواصل نزدیک به زمین باعث ایجاد ولتاژ اضافی در خطوط انتقال یا سایر رساناهای فلزی می‌شود.

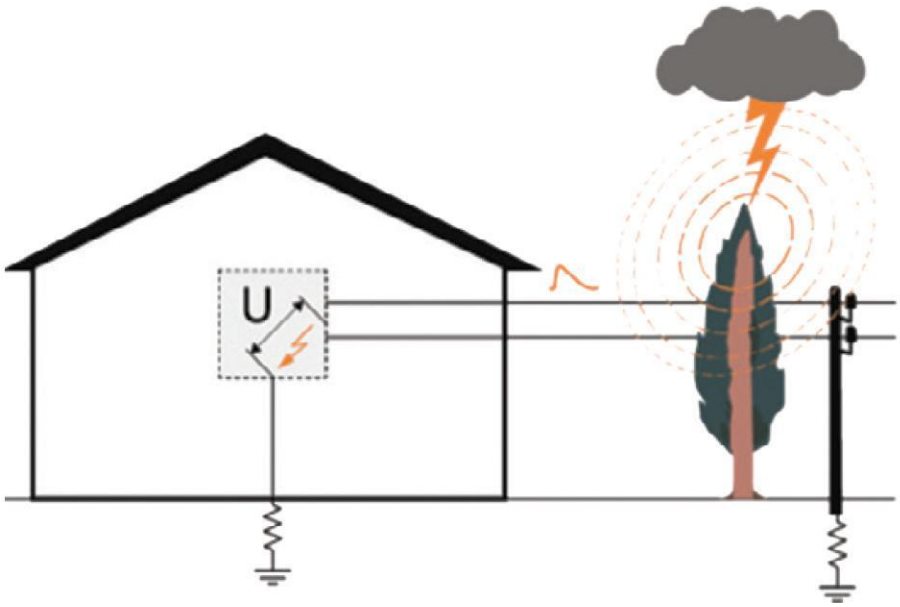
هیچ راهی برای دانستن زمان، مکان، اندازه یا مدت‌زمان و شکل موج یک سرج وجود ندارد. بنابراین، در استانداردها برخی مفروضات در نظر گرفته شده و نهایتاً دو شکل موج اصلی برای شبیه‌سازی رویدادهای سرج مختلف انتخاب شده‌اند.

انواع سرج‌ها

- سرج هدایتی: یا سرج ۳۵۰/۱۰µs که برخورد مستقیم صاعقه را شبیه‌سازی می‌کند.
- سرج القایی: یا سرج ۲۰/۸µs که برخورد غیر مستقیم صاعقه را شبیه‌سازی می‌کند.



شکل ۱ - سرج از نوع هدایتی

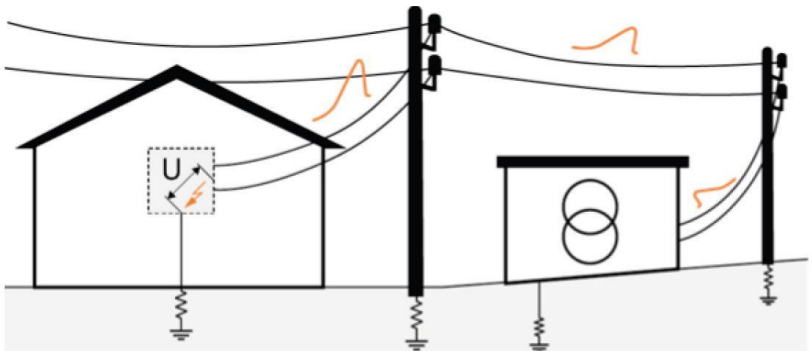


شکل۲ - سرج از نوع القایی

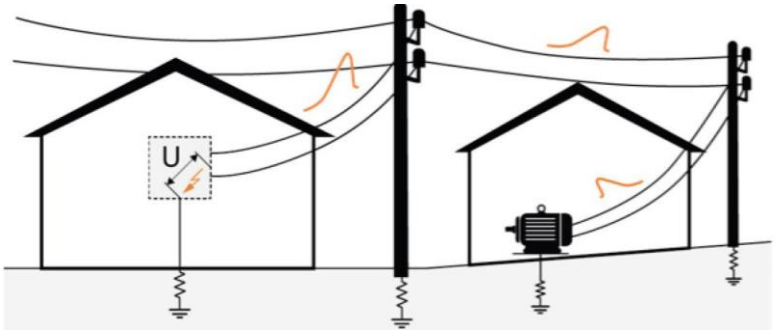
منابع اصلی افزایش سرج

باید توجه داشت که در حقیقت سرج‌ها از سوئیچینگ شبکه برق، قطع‌شدن موتورها یا سایر بارهای القایی به وجود می‌آیند. انرژی حاصل از این منابع نیز با شکل موج ۲۰/۸ تجزیه و تحلیل می‌شود.

ذکر این نکته الزامی است که اضافه ولتاژهای گذرا تنها در خطوط انتقال برق رخ نمی‌دهند، بلکه در هر خطی که توسط هادی‌های فلزی تشکیل شده است، مانند خطوط تلفن و ارتباطات، اندازه‌گیری و داده هم به وجود می‌آیند.



شکل۳ - سرج ایجاد شده توسط سوئیچینگ شبکه برق.

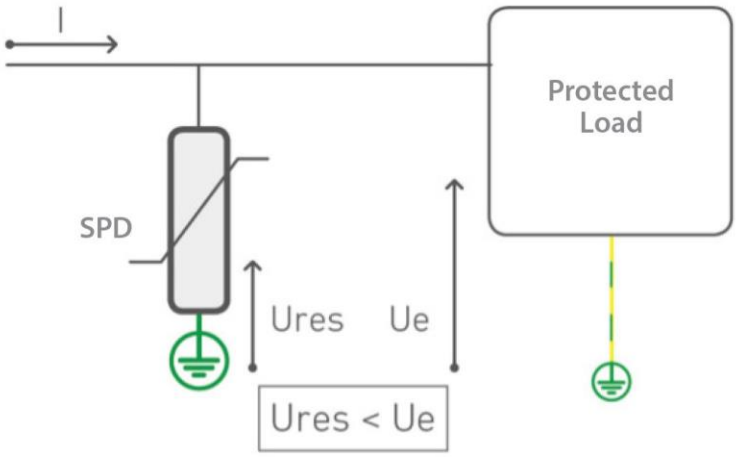


شکل۴ - سرج ایجاد شده هنگام راه‌اندازی موتورهای الکتریکی

وسیله حفاظت از سرج (SPD)

SPD به‌صورت یک کلید کنترل‌شده با ولتاژ عمل می‌کند و بین هادی‌های برق‌دار و زمین به موازات تجهیزات محافظت‌شده نصب می‌شود. هنگامی که ولتاژ تغذیه کمتر از ولتاژ فعال‌سازی SPD باشد، به صورت یک عنصر امپدانس‌بالا عمل کرده و جریانی از آن عبور نمی‌کند. هنگامی که ولتاژ تغذیه بالاتر از ولتاژ فعال‌سازی SPD باشد، به صورت یک اتصال کوتاه عمل کرده و ولتاژ اضافی را به زمین منتقل می‌کند. به این ترتیب، از تأثیر سرج بر تجهیزات پایین دست جلوگیری به عمل می‌آید.

با این وجود، در ترمینال‌های SPD همیشه یک ولتاژ باقیمانده (U_{res}) وجود دارد که مقدار آن ثابت نیست. جریان سرج بیشتر، منجر به ولتاژ باقیمانده بالاتر می‌شود. برای محافظت از تجهیزات الکتریکی، ولتاژ باقیمانده روی SPD و سیم‌ها و اتصالات، باید کمتر از ولتاژ اضافی قابل تحمل تجهیزات باشد.



شکل ۵- محافظت از یک بار با کمک وسیله حفاظت از سرج (**SPD**)

که در شکل فوق،

I: پیک جریان

U_{res}: ولتاژ باقیمانده در In

U_e: ولتاژ ضربه‌ای که تجهیزات می‌توانند تحمل کنند

چه زمانی SPD دوقطبی باید استفاده شود؟

SPD به طور موازی و در بالادست تجهیزات الکتریکی، در موقعیتی نصب می‌شود که در هنگام وقوع اضافه ولتاژ، به صورت یک مسیر کم‌امپدانس به زمین عمل می‌کند. این مسیر انرژی موج اضافه ولتاژ را عبور داده و از رسیدن آن به تجهیزات پایین دست جلوگیری می‌کند و بنابراین از آسیب‌دیدگی آن‌ها جلوگیری به عمل می‌آورد.

اما چه تفاوتی بین SPD سه‌قطبی و چهارقطبی هست؟ در مورد سیستم‌های TN-C-S، هادی PEN مستقیماً و مکرراً به زمین متصل می‌شود. اگر SPD در فاصله ۱۰ متری نقطه تفکیک PEN به N و PE نصب شود، اگر SPD بیش از ۱۰ متر با نقطه تفکیک PEN به N و PE فاصله داشته باشد، SPD چهارقطبی مورد نیاز است.

طبقه‌بندی SPDها

SPDها بر اساس ظرفیت تخلیه‌شان به انواع زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

نوع ۱ :

- مناسب برای شکل موج ۳۵۰/۱۰ میکروثانیه است (تست کلاس I را گذرانده)، و جریان تولید شده توسط صاعقه مستقیم را شبیه‌سازی می‌کند.
- توانایی تخلیه جریان‌های بسیار بالا به زمین را دارد، سطح حفاظت خوبی را در برابر ولتاژهای بالا فراهم می‌کند.
- باید با حفاظت‌های پایین دست نوع ۲ همراه باشد. عمدتاً در تابلوهای برق اصلی نصب شده در ورودی تأسیسات که خطر برخورد صاعقه به شبکه ورودی آن‌ها زیاد است، به عنوان مثال، در ساختمان‌هایی با سیستم حفاظت خارجی، به کار می‌رود.

نوع ۲ :

- مناسب برای شکل موج ۲۰/۸ میکروثانیه است (تست کلاس II را گذرانده)، و جریان تولیدشده توسط سوئیچینگ یا برخورد صاعقه در خط انتقال قدرت یا مجاورت آن را شبیه‌سازی می‌کند.
- توانایی تخلیه جریان‌های بالا به زمین را دارد. برای استفاده در تابلوهای توزیع واقع در پایین دست SPDهای نوع اول یا در تابلوهای برق ورودی برای مناطقی که کمتر در معرض صاعقه قرار دارند، طراحی شده است.

نوع ۳:

- مناسب برای شکل موج ۵۰/۱.۲ میکروثانیه است (تست کلاس III را گذرانده)، و جریان و ولتاژی که می‌توانند به بارهای الکتریکی (=انتهای مدارهای نهایی) اعمال شوند را شبیه‌سازی می‌کند.
- توانایی تخلیه جریان‌های متوسط به زمین را دارد. همیشه در پایین‌دستِ یک SPD نوع ۲ نصب می‌شود. برای محافظت از تجهیزات حساس یا تجهیزاتی که بیش از ۲۰ متر پایین‌دست دستگاه نوع ۲ قرار دارند طراحی شده است.

ویژگی‌های SPD بر اساس استاندارد IEC ۶۱۶۴۳ به شرح زیر است:

جدول ۱- ویژگی‌های وسیله حفاظت از سرج (**SPD**)

حداکثر ولتاژ باقیمانده بین ترمینال‌های دستگاه حفاظتی در طول اعمال جریان پیک.	سطح حفاظت(**Up**)
حداکثر جریان با شکل موج ۲۰/۸ میکروثانیه، که SPD می‌تواند ۲۰ بار بدون رسیدن به پایان عمر خود تحمل کند.	جریان نامی(**In**)
حداکثر جریان با شکل موج ۲۰/۸ میکروثانیه که SPD می‌تواند تحمل کند.	حداکثر جریان تخلیه(**Imax**)
حداکثر ولتاژ موثری که می‌تواند به طور دائم به ترمینال‌های SPD اعمال شود.	حداکثر ولتاژ کار مداوم(**Uc**)
حداکثر جریان با شکل موج ۳۵۰/۱۰ میکروثانیه که SPD می‌تواند بدون خراب شدن، آن را تحمل کند.	جریان ضربه‌ای(**Iimp**)

جانمایی SPD در تاسیسات

به عنوان مبدا طراحی، تابلوی اصلی مکانی برای شروع نصب SPDها در شبکه است.

چگونگی طراحی حفاظتی

همان‌طور که قبلاً گفته شد، طراحی حفاظتی SPD به سطح اتصال کوتاه ثانویه ترانسفورماتور توزیعی که به تأسیسات مورد نظر برق داده بستگی نداشته و فقط به میزان اثرپذیری تأسیسات از سرج بستگی دارد. با توجه به نمودار ارائه‌شده در استاندارد IEC ۶۳۲۰۵-۱، بالاترین رعد و برق ۱۰/۳۵۰µs۲۰۰ @ kA است و در بدترین حالت، ۵۰ درصد از این انرژی به زمین هدایت شده و پتانسیل ۱۰۰ کیلوآمپر را در شبکه‌های سه‌فاز و نول برجا می‌گذارد.

در این‌گونه موارد، به‌کارگیری یک SPD نوع ۱ با مشخصات ۱۰/۳۵۰µs۲۵ @ kA برای مواردی که صاعقه وارد سیستم اتصال زمین ساختمان شده یا به نزدیکی آن برخورد می‌کند؛ به ویژه زمانی که یک ساختمان دارای صاعقه‌گیر است، به‌شدت توصیه می‌شود.

در حالت عادی، فرض بر این است که هرگونه برخورد مستقیم صاعقه به شبکه در فاصله‌ای از محل نصب خواهد بود که ۵۰ درصد انرژی قبل از ورود به نقطه اتصال از طریق هادی‌های دیگر به زمین منتقل می‌شود. در این مورد می‌توان یک SPD نوع ۱ با مشخصات ۱۰/۳۵۰µs۱۲.۵ @ kA به کار برد. اگر میزان اثرپذیری از سرج کمتر از سناریوهای توصیف‌شده در بالا باشد، ممکن است یک SPD نوع ۲ انتخاب شود.

آیا باید SPDهای بیشتری را در تابلوهای توزیع در نظر گرفت؟

استاندارد IEC ۶۰۶۳۴-۴-۴۴۳ دستگاه‌های الکتریکی را بسته به میزان حساسیت آن‌ها نسبت به افزایش ولتاژ (U_e) در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی می‌کند. دستگاه‌های رده ۱ (مانند گیرنده‌های الکترونیکی) حساس‌ترین دستگاه‌ها هستند، U_e باید حداقل ۱.۵ کیلوولت باشد. در حالی که دستگاه‌های دسته ۴ می‌توانند ۶ کیلوولت یا بیشتر را تحمل کنند. به طور کلی، تجهیزات تابلوهای اصلی، جزو دستگاه‌های دسته ۴ هستند. مانند MCCB، ACB و غیره.

جدول ۲ -دستگاه‌های الکتریکی در دسته‌بندی‌های مختلف بسته به میزان حساسیت آن‌ها به افزایش ولتاژ (**Ue**)

دسته‌بندی	۴	۳	۲	۱

تجهیزات الکترونیکی	تجهیزات الکتریکی	MCBs and RCCDs	Counters / MCCB / ACB	خط با ولتاژ ۲۳۰/ ۴۰۰
1.5kV	2.5kV	4kV	6kV	مقاومت در برابر ولتاژ ضربه

نکات نهایی

- در صورت تخلیه‌های مکرر بیش از حداکثر ظرفیت SPD این المان آسیب می‌بینند.
- I_{imp} و I_{max} حداکثر سطح افزایشی را که خود SPD می‌تواند تحمل کند، معین می‌کنند، اما حد حفاظت جریانی را توصیف نمی‌کنند.
- فقط I_n سطح حفاظت جریان به ازای ولتاژ باقیمانده را توصیف می‌کند.
- از آنجا که ممکن است سرج در کابل بین تابلوی اصلی و تابلوی توزیع یا توسط خود بارهای نهایی ایجاد شود، اکتفا به فقط یک SPD در تابلوی اصلی، ممکن است کافی نباشد. زیرا به اندازه کافی نزدیک به مبداء سرج نیست که سرج را هدایت کرده و سایر بارهای نهایی حفاظت نماید. در نهایت می‌توان دریافت که:
- با تنها با یک مرحله حفاظت، فقط تجهیزات نزدیک به SPD که جریان I_n از آنها عبور می‌کند، محافظت می‌شوند.
- برای بهبود امکانات حفاظتی، حداقل، وجود یک حفاظت مرحله دوم نیز در تابلو توزیع ضروری است. این طرح SPD حفاظت آبشاری نامیده می‌شود.

آیا نیاز به نصب SPD سومی هم هست؟

مرحله سوم حفاظت از ولتاژ با SPD در محل بار نهایی، ممکن است بسته به نوع بار، گران بودن آن، هزینه خرابی و حساسیت آن، ضروری تشخیص داده شود. اگر هزینه تجهیزات و یا زمان از کار افتادن آن‌ها بالا باشد، نصب SPD نوع ۳ (µs۵۰/۱.۵) خطر انتقال انرژی به تجهیزات نهایی را کاهش می‌دهد.

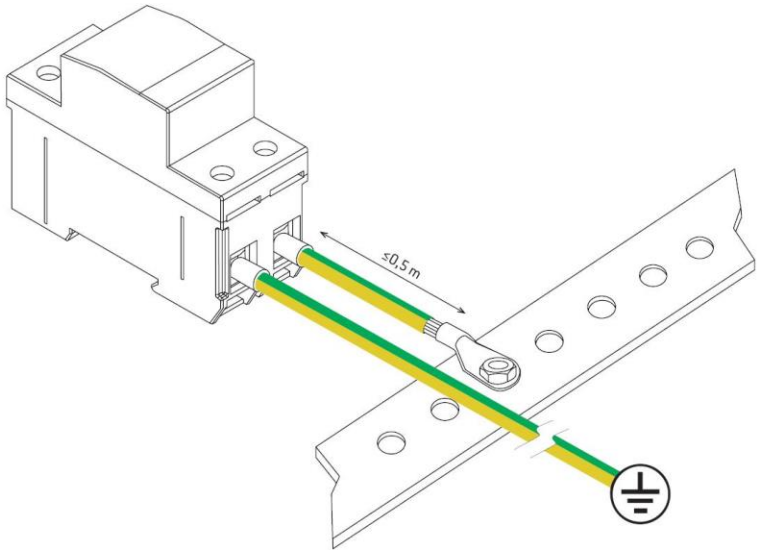
نمونه‌هایی از مراکزی که باید مجهز به پله سوم SPD باشند عبارتند از:

- بیمارستان‌ها
- مراکز داده

- فرودگاه‌ها
- بانک و بیمه
- حمل و نقل

طول ها و اتصالات توصیه شده در استاندارد 12-61643IEC

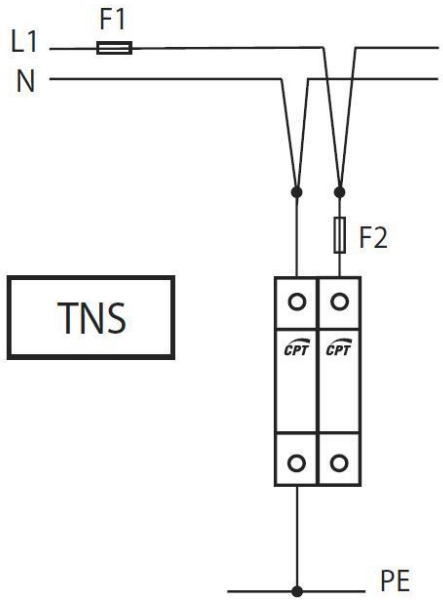
به منظور دستیابی به حفاظت بهینه در برابر ولتاژ، هادی‌های ارتباطی به SPD باید تا حد امکان کوتاه باشند. در غیر این صورت حفاظت تامین‌شده توسط SPD کاهش پیدا می‌کند. هنگام اتصال موازی SPD، اتصال بهینه از «نوع V» است (تصویر زیر را مشاهده کنید). هر زمان که این امر امکان‌پذیر نباشد، طول کابل باید کمتر از ۰.۵ متر باشد.



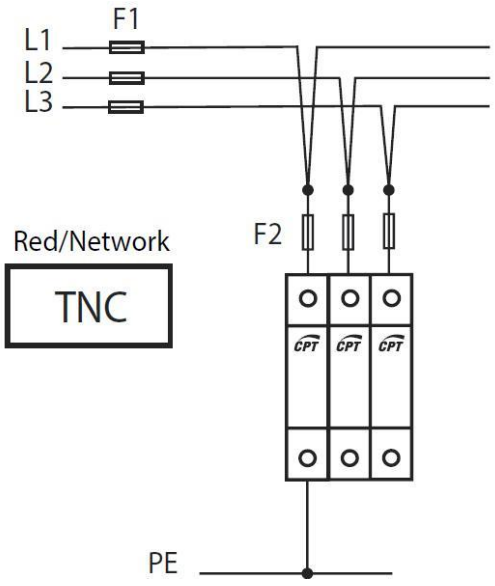
شکل۶ - نمایش اتصال یک **SPD** توسط یک هادی روکش‌دار.

سیم کشی، ملاحظات کلی (طول و مقاطع)

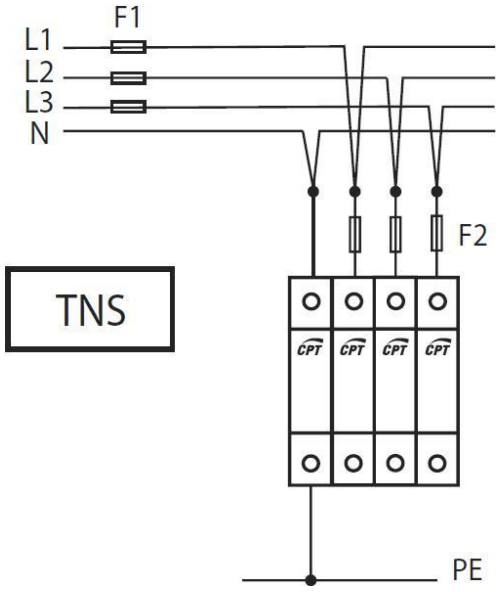
در زیر اطلاعات لازم برای اتصال SPD در شبکه‌های تک‌فاز و سه‌فاز با آرایش‌های مختلف ارائه‌شده است.



شکل۷ - نمایش اتصال یک **SPD** در شبکه تک‌فاز.

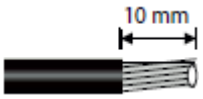
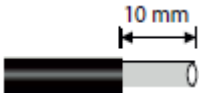


شکل ۸- نمایش اتصال یک **SPD** در شبکه سه‌فاز بدون سیم نول.



شکل ۹- نمایش اتصال یک **SPD** در شبکه سه‌فاز با سیم نول.

به علاوه، جدول زیر در انتخاب نوع هادی می‌تواند کمک کند:

نوع سیم	هادی چندمفتولی	هادی صلب (استخوانی)
		
Ø min. L,N,PE	۶ میلی‌متر	
Ø min. L,N,PE	۲۵ میلی‌متر	۳۵ میلی‌متر

جمع‌بندی

حفاظت سرج یکی از مباحث مهم در زمینه حفاظت الکتریکی به شمار می‌رود و آشنایی با نحوه ایجاد، وسایل حفاظت و نحوه به‌کارگیری این وسایل در مدارهای الکتریکی برای مهندسان برق لازم است. در این مقاله، نخست پدیده سرج و نحوه رخ دادن آن را شرح دادیم و در ادامه، کلیدهای حفاظت سرج (SPDها) را معرفی کردیم. در بخش پایانی مقاله نیز، شیوه مقابله با سرج و نحوه به‌کارگیری صحیح SPDها را در تابلوهای برق بررسی کردیم.

سوالات متداول

۱ - به طور کلی منظور از سرج چیست؟

سرج‌ها در واقع اضافه ولتاژهایی هستند که اندازه آنها می‌تواند به ده‌ها کیلو ولت با مدت زمان چند میکروثانیه برسند. علیرغم مدت زمان کوتاه، در اثر تخلیه انرژی بالا، امکان بروز مشکلات جدی برای تجهیزات متصل به خط وجود دارد، مانند پیری زودرس قطعات الکترونیکی، خرابی تجهیزات یا اختلال در سرویس و ضرر مالی.

۲ - مهمترین منابع افزایش سرج کدام هستند؟

باید توجه داشت که در حقیقت سرج‌ها از سوئیچینگ شبکه برق، قطع‌شدن موتورها یا سایر بارهای القایی به وجود می آیند. انرژی حاصل از این منابع نیز با شکل موج ۲۰/۸ تجزیه و تحلیل می‌شود. ذکر این نکته الزامی است که اضافه ولتاژهای گذرا تنها در خطوط انتقال برق رخ نمی‌دهند، بلکه در هر خطی که توسط هادی‌های فلزی تشکیل شده است، مانند خطوط تلفن و ارتباطات، اندازه‌گیری و داده هم به وجود می‌آیند.

۳ - چه زمانی به یک SPD چهارقطبی نیاز است؟

اگر SPD با فاصله بیش از ۱۰ متر نسبت به نقطه تفکیک PEN به N و PE نصب شود، یک SPD چهار قطبی مورد نیاز است. همان‌طور که امپدانس زمین با طول کابل افزایش می‌یابد، اکنون انرژی حاصل از سرج این پتانسیل را دارد که پس از نقطه تفکیک وارد شبکه شده و به تجهیزات پایین‌دست آسیب برساند.

مراجع

https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-a-power-surge/

https://axis-india.com/what-are-surges-types-reasons/

https://taraenergy.com/blog/power-surge-how-they-happen/