

بررسی اثر ارت کردن کابل‌های کنترلی از دو طرف در کاهش اضافه ولتاژهای گذرای موجود در پست‌های فوق توزیع و انتقال

اتابک مشهدی کشتیبان^۱، محسن حیدری^۱، محمدرضا شریعتی^۲

۱. مشاور نیروی آذربایجان (منا)

۲. پژوهشگاه نیرو، پژوهشکده خط و پست

ایران

واژه‌های کلیدی: کابل‌های شیلددار، پست فشار قوی، المان محدود

چکیده

این مقاله به بررسی اثر استفاده از کابل‌های شیلددار و ارت کردن کابل‌های کنترلی در کاهش اضافه ولتاژهای موجود در پست‌های فوق توزیع و انتقال و کاهش اثر مخرب این اضافه ولتاژها بر تجهیزات حفاظتی و کنترلی موجود می‌پردازد. برای این منظور، ابتدا منابع تولید و مشخصات این ولتاژها معرفی خواهند شد. سپس میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تولید شده توسط این ولتاژها و چگونگی توزیع این میدان‌ها بر روی تجهیزات کنترلی و حفاظتی بحث می‌گردد. نحوه ارت کردن موثر در داخل تابلو و سایت توضیح داده شده و اثر ارت کردن کابل‌های کنترلی از یک طرف (ابتدا یا انتها) و از دو طرف در کاهش اثر مخرب این اضافه ولتاژها بحث می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که ارت کردن کابل‌های شیلددار از سمت تجهیز فشار قوی تنها میدان‌های الکتریکی را کاهش داده و اثری بر روی میدانهای مغناطیسی بوجود

آمده در اثر این اضافه ولتاژها ندارد. همچنین ارت کردن کابل‌های شیلددار از سمت تجهیزات کنترلی، میدان‌های الکتریکی را کاملاً از بین برده و میدان‌های مغناطیسی بوجود آمده را اندکی کاهش می‌دهد. اما ارت نمودن کابل‌ها از دو طرف، میدانهای مغناطیسی و الکتریکی را بطور کامل میرا نموده و از بین می‌برد.

۱- مقدمه

تحقیقات زیادی بر روی اضافه ولتاژهای موجود در سیستم قدرت و چگونگی بوجود آمدن این ولتاژها انجام شده است. مقالات زیادی نیز بر روی مشخصات فرکانسی و حالت‌های گذرای این ولتاژها [۱، ۲]، اثرات استفاده از کابل‌های شیلددار در کاهش دامنه این ولتاژها [۳]، رفتار کابل شیلددار در مقابل ولتاژهای فرکانس بالا و بررسی ترکیبات جنس و لایه های زمین پست [۴، ۵] و تاثیر شیلد و ارت خطوط انتقال [۶، ۷]

در مقابل این اضافه ولتاژها معرفی می‌کند. چگونگی کاهش میدان‌های الکتریکی، هنگامیکه کابل شیلددار از سمت تجهیز فشار قوی زمین شده است و همچنین هنگامیکه از سمت تجهیزات کنترلی زمین شده است، در بخش پنجم بحث می‌شود. بخش ششم به تحلیل چگونگی حذف میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هنگامیکه کابل شیلددار از دو سمت ارت شده است می‌پردازد. در نهایت در بخش هفتم نتیجه‌گیری کلی ارائه خواهد شد.

۲- اضافه ولتاژهای گذرا

با توجه به گسترده بودن سیستم‌های قدرت در سطوح فوق توزیع به بالا، تنوع تجهیزات مورد استفاده و وقوع انواع پدیده‌های اتصال کوتاه، کلیدزنی و پدیده‌هایی که عامل بوجود آورنده طبیعی دارند، همچنین فرکانس بالای شکل موجها و ثابت زمانی بالای میرا شونددگی آنها، مطالعه اضافه ولتاژهای ایجاد شده و بدست آوردن منبع تولید کننده آنها را مشکل ساخته است. جدول (۱) مشخصات برخی از این اضافه ولتاژها را که داخل پست‌های انتقال بوجود می‌آید را نشان می‌دهد [۸].

بطور کلی می‌توان منبع تولید این اضافه ولتاژها را به ۷ دسته کلی تقسیم‌بندی نمود [۹]:

۱- کلید زنی در سمت فشار قوی: باز و بسته نمودن سکتسیونرها بمنظور متصل کردن یا ایزوله نمودن بخشی از سیستم قدرت یا پست فشار قوی باعث ایجاد اضافه ولتاژهایی با فرکانس بالا خواهد شد. فرکانس این اضافه ولتاژها به اندوکتانس خودی و خازن موازی باس‌های سیستم قدرت بستگی دارد. برخی اوقات دامنه این اضافه ولتاژها به $2pu$ نیز می‌رسد. شکل (۱) خازن‌های بین باس‌های فشار قوی و کابل‌های موجود و زمین را در یک پست نمونه نشان می‌دهد.

۲- کلیدزنی بانک خازنی: کلیدزنی بانک‌های خازنی متصل شده به سیستم قدرت باعث ایجاد اضافه جریان‌های گذرا خواهد شد. اگر بانک‌های خازنی دیگری در مسیر

در کاهش اضافه ولتاژها ارائه گردیده است. اما بندرت تحقیقاتی بر روی اثر چگونگی زمین کردن کابل‌های شیلددار در کاهش این اضافه ولتاژها و حفاظت تجهیزات فشار قوی و کنترلی با استفاده از کابل‌های شیلددار صورت گرفته است.

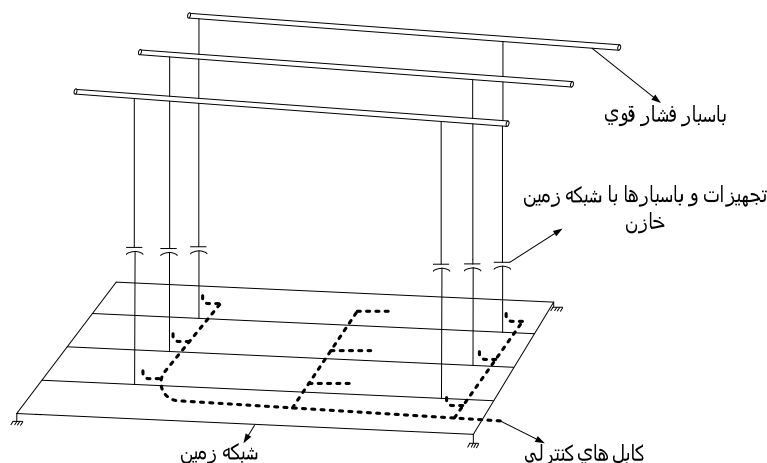
استانداردهای IEEE, ANSI/IEEE 525-1987 & 1992, IEEE 789-1988, IEEE 80-1986, IEEE 367-1987 و IEEE 2000-80 در مورد زمین کردن تجهیزات کنترلی و حفاظتی پست به تفکیک بحث‌های زیادی را ارائه نموده‌اند. اگر از نقطه نظر اقتصادی بحث گردد، هر ساله چندین پروژه احداث و توسعه پست‌های فشار قوی در سطح انتقال و فوق توزیع در سطح کشور اجرا می‌گردد. متأسفانه اهمیت، دقت، انرژی و زمانی که طراحان و مشاوران بر روی مباحث حفاظتی و کنترلی صرف می‌کنند، بسیار بیشتر از انتخاب و تست کابل‌ها می‌باشد. استفاده از کابل‌های بدون شیلد در نقاطی از سیستم قدرت که کلیدزنی‌های متناوبی داشته و اضافه ولتاژها میرا نمی‌گردند و استفاده نامناسب و غیر اصولی از کابل‌های شیلددار و استفاده نکردن از شیلد آنها نمونه‌هایی از بی‌توجهی پیمانکاران نصب و مشاوران می‌باشد. برخی گزارش‌های ثبت شده قرار گرفتن حدود $10kV$ اضافه ولتاژ بر روی تجهیزاتی را نشان می‌دهند که دارای ولتاژ نامی حدود $110V$ است. بعنوان مثال اگر این تجهیز یک رله کمکی معمولی باشد، دامنه خطا و کاهش قابلیت سیستم حفاظتی قابل توجه خواهد بود. نمونه‌هایی از آسیب دیدن این رله‌های کمکی در پستهای یاغچیان و ستارخان برق منطقه ای آذربایجان مشاهده شده است.

در این مقاله به بررسی اثر ارت کردن کابل‌های شیلددار در کاهش اثر اضافه ولتاژهای گذرای سیستم قدرت در پست‌های فشار قوی می‌پردازیم.

در بخش دوم چگونگی، منبع ایجاد و مشخصات اضافه ولتاژهای گذرا در سیستم قدرت معرفی می‌شود. بخش سوم به معرفی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بوجود آمده در اثر این اضافه ولتاژها و رابطه بین این میدان‌ها می‌پردازد. بخش چهارم چگونگی رفتار یک کابل معمولی بدون شیلد را

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

افزایش دامنه و فرکانس اضافه جریان گذرای تولیدی را در پی خواهد داشت. این اضافه جریان وجود داشته باشند، باعث کاهش امیدانس مسیر دیده شده توسط موج تولیدی شده و



شکل (۱): خازن بین باسبارهای فشار قوی و شبکه زمین

جدول (۱): مشخصات ولتاژهای کلیدزنی در پست‌های انتقال

پست‌های AIS				پست‌های GIS				
کوپل میدان مغناطیسی (H)	شارژ میدان الکتریکی (E)	ولتاژهای بیرونی مانند سکسیونر	ولتاژهای تجهیزات همراه با SF6	کوپل میدان مغناطیسی (H)	شارژ میدان الکتریکی (E)	ولتاژهای بیرون تجهیزات	ولتاژهای تجهیزات همراه با GIS	کمیت عامل اضافه ولتاژ
۶۰-۱۰۰ ns	۱۸۰-۷۰۰ ns	۲۰۰ ns	۵۰-۱۰۰ ns	-	-	۱۵-۵۰ ns	۷-۴ ns	زمان فراجش
-	-	MHz-kHz	MHz-kHz	۲۰MHz	۲۰MHz	MHz	MHz-kHz	فرکانس
-	-	بالا	بالا	-	-	بالا	پائین	نرخ میرایی
$1-2 \frac{A}{m}$	$5-50 \frac{kV}{m}$	وابسته به سیستم	وابسته به سیستم	$2.5-125 \frac{A}{m}$	$1-50 \frac{kV}{m}$	وابسته به سیستم	وابسته به سیستم	دامنه

۴- ترانسهای ولتاژ خازنی همراه با کوپلینگ خازنی^۱: با توجه به اینکه در اینگونه CTVها، خازن مربوطه با سلفی در رزونانس قرار دارد، فرکانس کاری در حد مگا هرتز می‌باشد. بجز در حالتیکه امیدانس موجی CCVT نسبت به امیدانس شبکه زمین کوچک باشد، ولتاژهای بزرگی با فرکانس‌های بالا بین ثانویه CCVT و شبکه

۳- کلیدزنی خطوط انتقال: طبیعت اضافه ولتاژهای تولید شده در اثر این پدیده همانند اضافه ولتاژ تولیدی در اثر کلیدزنی بانک خازنی است. البته خاصیت خازن و سلف توزیع شده در طول خط انتقال، باعث تغییر ناچیزی در ماهیت اضافه ولتاژ تولیدی می‌شود. فرکانس این اضافه ولتاژ تولیدی بطور معکوس با طول خط انتقال متناسب است.

^۱ Coupling Capacitor Voltage Transformer (CCVT)

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

زمین بوجود می‌آید.

۵- افزایش پتانسیل زمین^۱: افزایش پتانسیل زمین متناسب با جریان عبوری از زمین و مقاومت زمین می‌باشد. در حالت عادی کار سیستم قدرت، پتانسیل تجهیزات الکتریکی زمین شده در حدود پتانسیل زمین صفر است. در حین خطا، ولتاژ آن بخشی از هادیهای زمین که وظیفه هدایت جریان خطا را بر عهده دارند، افزایش پیدا خواهد کرد [۱۰].

۶- اختلاف پتانسیل بین هادیهای زمین: در نتیجه اتصالات فیزیکی و کوپلینگ الکترومغناطیسی موجود بین هادیهای زمین و با در نظر گرفتن منبع تولید این افزایش پتانسیل، اضافه ولتاژهایی با فرکانس بالا بین تجهیزات فشار قوی بوجود می‌آید. در نتیجه طراحی فنی نامناسب شبکه زمین، دامنه این اختلاف پتانسیل‌ها گسترده‌تر نیز خواهد بود. کوپلینگ الکترومغناطیسی ایجاد شده با سرعت تغییرات شار مغناطیسی و طول جریان هادیهای زمینی که جریان را انتقال می‌دهند رابطه مستقیم و با ارتفاع هادیها از سطح زمین رابطه عکس دارد.

هدایت امواج گذرای سیستم قدرت به شبکه زمین از طریق مسیر نوترال ترانسفورماتورها، مسیرهای خازنی مانند بوشینگ‌ها و CCVTها انجام می‌گیرد. این مسیرها دارای امپدانس پایین و قابلیت ذخیره انرژی بالایی هستند که می‌توانند ولتاژهای مورد نظر را به تجهیزات کنترلی القاء نمایند. بنابراین توصیه می‌گردد که ارت تجهیزات کنترلی و حفاظتی از مسیر نوترال ایزوله گردیده و یکی نشوند. شکل (۲) چند نمونه از همبندی مسیر نوترال و ارت را برای رله‌های حفاظتی در داخل تابلو نشان می‌دهد. علاوه بر این ارت چند تجهیز حفاظتی نیز نباید با یکدیگر سری شده و سپس یک سیم ارت به شینه ارت تابلو برده شود. در این صورت اضافه ولتاژهای تولیدی به سایر تجهیزات نیز سرایت می‌کند. به عنوان مثال در شکل (۲) ارت تست بلاک و رله مربوطه

را می‌توان با هم‌دیگر همبندی نمود اما ارت چندین تجهیز حفاظتی نباید یکی شود.

۷- دیگر عوامل کلیدزنی: دیگر پدیده‌های موجود در سیستم قدرت همانند باز و بسته شدن و ریکلوز کلیدها، عملکرد تپ چنجر، پاکسازی خطا، امواج حاصل از GIS^۲ و سایر پدیده‌ها باعث بوجود آمدن امواج گذرای با دامنه پایین نسبت به پدیده‌های فوق می‌گردند [۹].

۳- میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ایجاد شده در اثر ولتاژهای گذرا

شکل (۳) جریان حاصل از میدانهای الکتریکی بوجود آمده در اثر اضافه ولتاژهای موجود در سیستم را در یک پست نمونه نشان می‌دهد [۱۱]. دلیل بوجود آمدن چنین میدانی، اکثراً مربوط به خازنهای بین باس‌های فشار قوی، تجهیزات کابل‌های کنترلی است. مهمترین خازن‌های موجود، خازن بین باس‌ها و کابل‌های کنترلی و خازن بین کابل‌های کنترلی و شبکه ارت پست می‌باشد. این خازن‌ها شبیه یک تقسیم کننده ولتاژ بین کابل و تجهیزات می‌باشند.

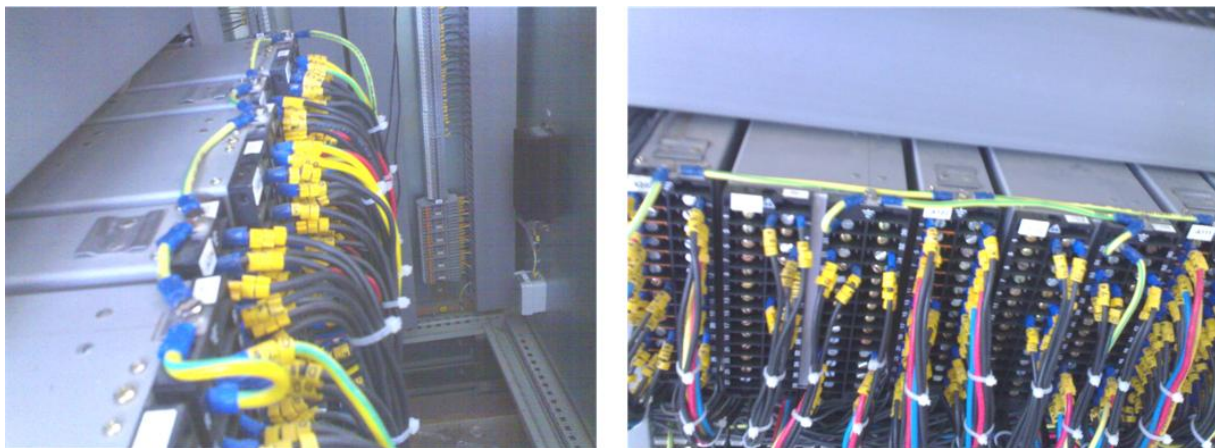
شکل (۴) جریان‌های حاصل از میدان مغناطیسی بوجود آمده در اثر اضافه ولتاژهای موجود را نشان می‌دهد [۸]. همچنان که دیده می‌شود با توجه به سرعت بسیار بالای تغییرات این میدان، جریان قابل توجهی از باس فشار قوی عبور می‌نماید.

اکثر کابل‌های کنترلی در پست‌های فشار قوی، حداقل از یکطرف به تجهیزات فشار قوی متصل می‌باشند. معمولاً این اتصال به کوئل موتوری، میکروسوئیچ کنترلی، کوئل رله کمکی یا ثانویه سیم‌پیچ ترانس می‌باشد. هنگام وقوع اضافه ولتاژهای فرکانس بالا خاصیت خازنی و امپدانس این تجهیزات بسیار پایین می‌باشد (در حدود چند صد پیکوفاراد و چند صد اهم). اما همین مقدار کم امپدانس برای جاری شدن جریان و اختلاف پتانسیل بین کابل‌های کنترلی و سیستم زمین کافی است.

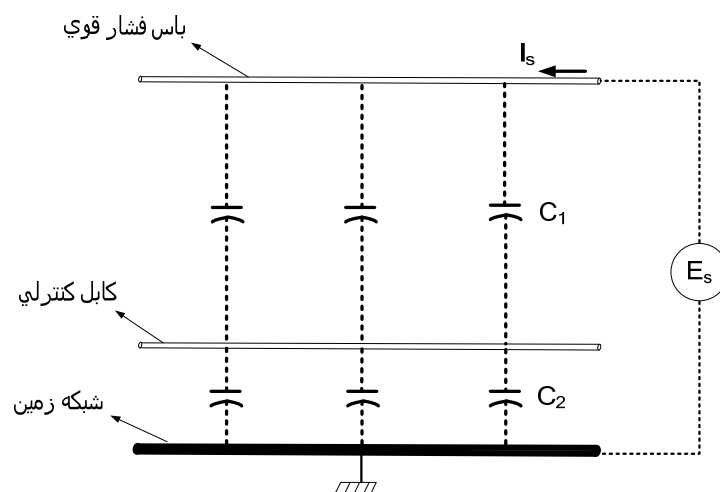
² Gas Insulated Switchgear

¹ Ground Potential Rise (GPR)

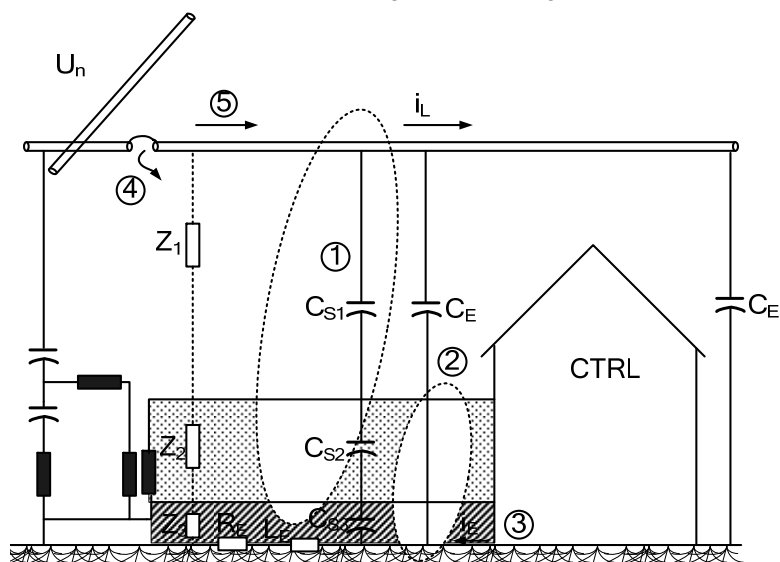
بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۲): ارت کردن مشترک تجهیزات حفاظتی و تست بلاک‌های مربوطه



شکل (۳): جریان حاصل از میدان‌های الکتریکی



شکل (۴): انواع کوپلینگ‌های بین تجهیزات موجود در پست‌های فشار قوی؛

(۱) کوپل خازنی بین تجهیزات با یکدیگر و با زمین، (۲) کوپل مغناطیسی حاصل از میدان مغناطیسی،

(۳) کوپل گالوانیکی حاصل از جریان عبوری از شبکه زمین، (۴) کوپل تشعشی حاصل از تجهیزات جریان بالا، (۵) امواج گذرای فرکانس بالا

شده است. بنابراین جریان جاری شده از طرف باس و خازن C_1 از طریق شیلد زمین شده به سیستم زمین منتقل می‌گردد. در اینصورت ولتاژهای گذرای ناشی از میدانهای مغناطیسی بصورت کامل میرا می‌گردند. اما ولتاژ القایی V_m از طریق دو خازن موازی شده C_3 و C_4 تماماً بر روی شیلد ظاهر خواهد شد. همانطور که ملاحظه می‌گردد در اینصورت میدان مغناطیسی میرا نگردیده و همچنان ولتاژ القایی بر روی کابل قرار دارد.

۲-۵ بررسی کابل شیلددار زمین شده از طرف تجهیز کنترلی (در اتاق کنترل)

با توجه به شکل (۶) فرض می‌کنیم که در این حالت کلید SW2 بسته شده باشد. همانند حالت قبل، جریان الکتریکی حاصل از اضافه ولتاژهای گذرا از طریق خازن C_1 به سیستم زمین منتقل شده و میدان الکتریکی بطور کامل میرا می‌گردد.

اگر کلید SW2 بسته باشد، خازن‌های C_3 و C_4 با همدیگر سری شده و ولتاژ القایی با توجه به ظرفیت خازن‌ها بین کابل و شیلد آن تقسیم می‌گردد. هر چه طول کابل درازتر باشد، اضافه ولتاژ القایی بر روی آن کمتر خواهد بود.

همانطور که مشاهده گردید، ارت کردن کابل شیلددار از طرف تجهیز کنترلی، تنها می‌تواند مقداری از اضافه ولتاژ گذرا را میرا نموده و هیچ وقت آنرا بطور کامل از بین نمی‌برد.

۳-۵ بررسی کابل شیلددار زمین شده از دو طرف (از طرف تجهیز فشار قوی و تجهیز کنترلی)

با توجه به شکل (۶)، در این حالت هر دو کلیدهای SW1 و SW2 بسته می‌باشند. در این حالت نیز همانند دو حالت قبل، اضافه ولتاژ تولید شده در اثر میدان الکتریکی از طریق کلیدهای SW1 و SW2 به زمین منتقل شده و بطور کامل میرا می‌گردد. اما میدان مغناطیسی القایی باعث بوجود آمدن مدار حلقه بسته کاملی بین سیستم زمین و کابل می‌گردد. این

۴- بررسی رفتار کابل بدون شیلد در مقابل اضافه ولتاژها
شکل (۵) مدل مداری یک کابل نمونه بدون شیلد را نشان می‌دهد. در این شکل V_r ولتاژ گذرای بین هادیهای کابل و در سمت تجهیز فشار قوی می‌باشد. V_m ولتاژ گذرای القاء شده در اثر میدان مغناطیسی بین کابل کنترلی، خازن C_3 خازن بین تجهیز کنترلی و شبکه زمین پست می‌باشد. مقدار این ولتاژ از رابطه (۱) حاصل می‌گردد.

$$V_m = M \frac{dI_s}{dt} \quad (1)$$

که در آن M اندوکتانس متقابل بین میدانهای مغناطیسی کابل-زمین و کابل-باس می‌باشد. با استفاده از رابطه (۱) می‌توانیم بطور تقریبی مقدار ولتاژ القاء شده در کابل کنترلی بدون شیلد را که دارای فرکانس ۱ مگاهرتز، جریانی معادل ۵۰۰ آمپر و اندوکتانس متقابل M ۱ میکروهنری است را بدست آوریم. بنابراین داریم:

$$V_m = 10^{-6} (500)(2\pi)(10^6) = 3141 \text{ v}$$

۵- بررسی رفتار کابل شیلددار در مقابل اضافه ولتاژها

ICEA-NEMA مشخصات کلی و ویژگی‌های فنی کابل شیلددار استاندارد را معرفی نموده است [۱۲]. مطابق استاندارد فوق مدار معادل یک کابل شیلددار در شکل (۶) نشان داده شده است. همچنانکه دیده می‌شود، این مدار معادل تقریباً شبیه مدار معادل کابل بدون شیلد می‌باشد با این تفاوت که خازن توزیع شده C_4 به عنوان خازن بین رشته‌های کابل و شیلد، به مدار معادل اضافه شده است. برای یک کابل شیلددار با طول تقریبی ۱۵ کیلومتر یک مقدار نمونه برای خازن C_4 برابر ۰/۰۱ فاراد می‌باشد.

۱-۵ بررسی کابل شیلددار زمین شده از طرف تجهیز فشار قوی (در سایت)

با توجه به شکل (۵) فرض کنید که کلید SW1 بسته شده باشد بطوریکه شیلد کابل از سمت تجهیز فشار قوی زمین

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

فرض کنید که جریان القایی حلقه شامل C_3 را بسیار کوچک در نظر بگیریم. فرض کنید که محور کابل شیلددار حامل جریان در جهت محور Z می‌باشد. واضح است که بخاطر متقارن بودن و عمود بودن جریان و میدان مغناطیسی، در جهت محور Z و در طول شعاعی کابل، میدان مغناطیسی شامل هیچ مولفه‌ای نمی‌باشد. اگر طول کابل را بی‌نهایت در نظر گرفته و از نامتقارنی میدان در دو انتهای آن صرف‌نظر کنیم، می‌توان نشان داد که اندازه میدان مغناطیسی در جهت θ تغییراتی ندارد. رابطه (۲) مطلب فوق را نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} H_z &= 0 \\ H_r &= 0 \\ \frac{\partial H_\theta}{\partial \theta} &= 0, H_\theta = \text{Constant} \end{aligned} \quad (2)$$

با در نظر گرفتن دو مسیر بسته کروی در داخل و خارج کابل و با استفاده از قانون آمپر می‌توان نوشت.

$$\begin{aligned} \oint_{l_1} H \cdot dl &= I \Rightarrow H_1 = \frac{I}{2\pi r} \\ \oint_{l_2} H \cdot dl &= I \Rightarrow \oint_{l_2} H_2 \cdot 2\pi r = 0 \Rightarrow H_2 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

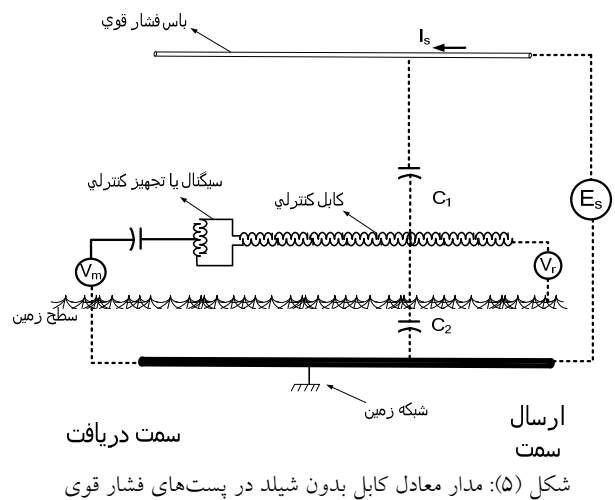
بنابراین میدان مغناطیسی القایی فوق در داخل کابل شیلددار مولفه‌ای در جهت θ ندارد. با استفاده از رابطه (۲) می‌توان گفت که دامنه میدان مغناطیسی القایی در داخل کابل شیلددار برابر صفر می‌باشد. به عبارت دیگر در سمت ارسال سیگنال، بین کابل و شیلد آن هیچ ولتاژ القایی گذرایی وجود ندارد.

البته به خاطر مقاومت اهمی سیم شیلد، مقدار ولتاژ کوچکی در حد چند ولت در مسیر بین شیلد و C_3 وجود دارد که اگر شیلد بخوبی ارت شده باشد، ولتاژ فوق نیز صفر خواهد شد.

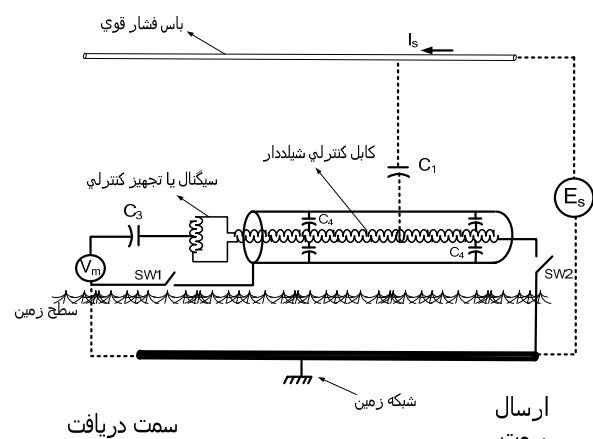
۶- حفاظت شیلد کابل‌های شیلددار

همانگونه که ذکر شد هنگام وقوع پدیده‌های ذکر شده در بخش اول، ولتاژهای القایی بزرگی در سیستم زمین پست‌های فشار قوی ظاهر خواهد شد. اگر کابل‌های کنترلی پست‌های فوق از دو طرف زمین شده باشند، جریان‌های القایی نسبتاً

میدان مغناطیسی باعث بوجود آمدن پتانسیل القایی گردیده و بالتبع باعث ایجاد جریان گذرای ثانویه‌ای در مدار حلقه بسته



شکل (۵): مدار معادل کابل بدون شیلد در پست‌های فشار قوی



شکل (۶): مدار معادل کابل شیلددار در پست‌های فشار قوی

مورد نظر می‌گردد. جهت این جریان ثانویه در خلاف جهت جریان اولیه القایی می‌باشد. با در نظر گرفتن جریان القایی اصلی و جریان ثانویه القایی، برآیند این جریان‌ها، جریانی خواهد شد که در امتداد شیلد کابل می‌باشد. مسیر این جریان از طریق خازن C_3 و سمت دریافت سیگنال و کابل به سمت ارسال سیگنال می‌باشد. جریان فوق در دو مسیر می‌تواند باعث ایجاد شار مغناطیسی گردد:

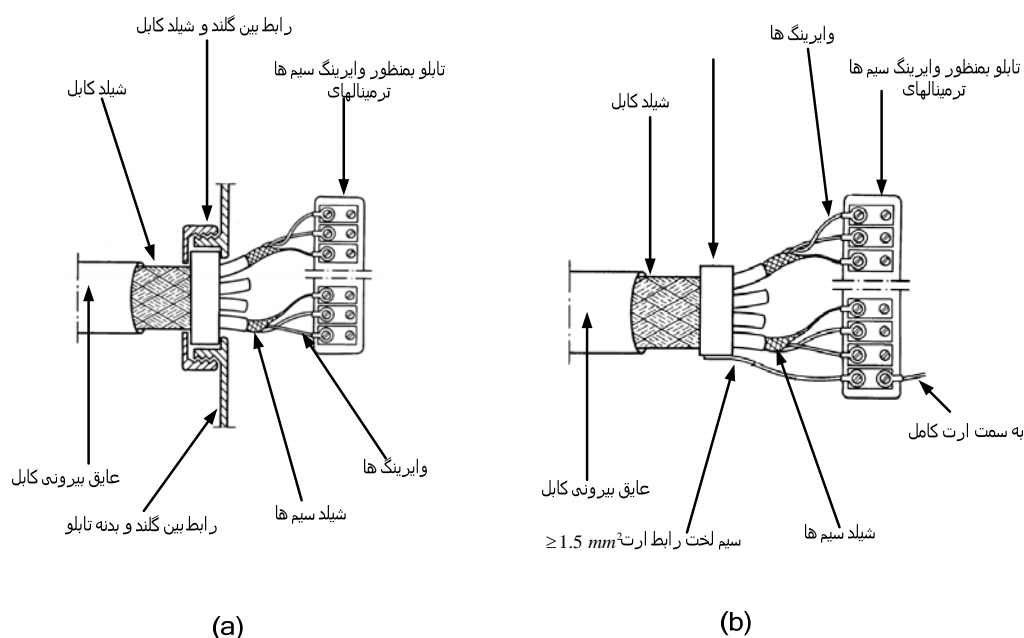
الف- در داخل شیلد کابل بین کابل و شیلد آن

ب- در داخل حلقه شامل C_3 ، نزدیک سمت دریافت

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

مسیری پایین اجرا گردد. بهینه‌ترین حالت ارت کردن بدنه گنبد نگهدارنده کابل از طریق بدنه تابلو و ارت کردن شیلد کابل از طریق شینه ارت و ترمینال‌های تابلو می‌باشد. متأسفانه در عمل فقط شیلد کابل از طریق ترمینال‌ها ارت می‌گردد و شیلد بدنه کابل در تابلوسازی یا وایرینگ سایت قطع می‌شود. شکل (۷) دو نوع ارت کردن شیلد کابل و سیم ارت آنها را نشان می‌دهد. شکل (a-۷) ارت موثر و بهینه و شکل (b-۷) ارتی را نشان می‌دهد که تاثیر آن کمتر از حالت قبل می‌باشد.

بزرگی بر روی شیلد کابل‌های کنترلی فوق قرار می‌گیرد. از آنجائیکه شیلد کابل‌های کنترلی معمولاً در مقابل ولتاژهای بالا زیاد مقاوم نیست، ممکن است که هنگام وقوع حالت‌های گذرا، شیلد این کابل‌ها آسیب جدی ببیند. استاندارد وزارت نیرو قابلیت تحمل حداکثر جریان اتصال زمین به مدت ۰/۵ ثانیه را برای شیلد کابل الزامی نموده است [۱۳، ۱۴]. هنگام کابل کشی و وایرینگ تابلوها در پست نیز ضروری است که اتصال شیلد کابل‌های فوق به شینه ارت تابلوها، تجهیزات و سینی‌های محوطه با دقت و سطح تماس کافی و مقاومت



شکل (۷): نحوه ارت کردن سیم ارت و شیلد کابل؛ (a) ارت کردن بطور موثر، (b) ارت کردن با تاثیر کمتر

مغناطیسی موجود میرا و حذف می‌گردد اما تاثیری بر روی اضافه ولتاژهای حاصل از میدانهای الکتریکی ندارد. همچنین ارت کردن کابل کنترلی تنها از سمت تجهیز کنترلی، می‌تواند اضافه ولتاژ حاصل از میدانهای الکتریکی را از بین ببرد و اضافه ولتاژ حاصل از میدانهای مغناطیسی را اندکی کاهش می‌دهد. در نهایت نشان داده شد که در صورت ارت کردن اصولی و صحیح کابل‌های کنترلی از دو سو (از سمت تجهیز کنترلی و فشار قوی) می‌توان بطور موثری اضافه ولتاژهای فرکانس بالا را بخوبی میرا نموده و حذف کرد.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا به بررسی اضافه ولتاژهای فرکانس بالای موجود در پست‌های فشار قوی و منابع تولید آنها پرداخته شد. سپس اثر ارت کردن کابل‌های کنترلی در کاهش این اضافه ولتاژها بررسی گردید. نحوه صحیح و اصولی ارت کردن سیم ارت کابل‌ها و شیلد آنها در داخل تابلو و سایت معرفی گردید.

نشان داده شد که در صورت ارت کردن کابل‌های کنترلی از سمت تجهیز فشار قوی، اضافه ولتاژ حاصل از میدانهای

مراجع

- [1] C. M. Wiggins, S. E. Wright, "Switching Transient Fields in Substation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, pp. 591-600, Feb. 1991.
- [2] W. Krajewski, "Numerical Modeling of the Electric Field in HV Substation", IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., Vol. 151, No. 4, pp.267-272, July 2004.
- [3] A.S. Farang, M.M. Dawound, I.O. Habiballah, "Implementation of Shielding Principles for Magnetic Field Management of Power Cables", Electric Power System Research, pp. 193-209, 1999.
- [4] T. Lu, L. Qi, X. Cui, Effect of Multilayer Soil on Switching Transient in Substation", IEEE Trans. on Magnetism, Vol. 42, No. 4, pp. 843-846, April 2006.
- [5] T. Lu, X. Cui, L. Li, "Transient Analysis of Aerial Multi-conductor Transmission Lines with Branch," IEEE Trans. on Magnetism, Vol. 37, No. 5, pp.3298, 3302, Sep. 2001.
- [6] R. Zeng, P. Kang, J. He, B. Zhang, S. Chen and J. Zou, "Lightning Transient Performance Analysis of Substation Based on Complete Transmission Line Model of Power Network and Grounding Systems", IEEE Trans. on Magnetism, Vol. 42, No. 4, pp. 875-878, April 2006.
- [7] R. Zeng, J. He, J. Lee, S. Chang, Y. Tu, Y. Gao, J. Zou, Z. Guan, "Influence of Overhead Transmission Line on Grounding Impedance Measurement of Substation", IEEE Trnas. on Power Delivery, Vol. 20, No. 2, pp. 1219-1225, April 2005.
- [8] ABB Manual Switchgear, 10th Edition, ABB Color Emag, pp. 235, 1999.
- [9] IEEE Guide for the Design and Installation of Cable Systems in Substations, IEEE Std 525-1992.
- [10] IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Std 80-2000.
- [11] W.C. Kotheimer, "Theory of Shielding and Grounding of Control Cables to Reduce Surges", General Electric Co. Power System management Business Dep., pp. 3-8, 1973.
- [12] NEMA CC3-1973, Electric Power Connectors for Substations.

[۱۳] استانداردهای طراحی بهینه پستهای انتقال - جلد ۳۱۶، مشخصات فنی کابل‌های فشار متوسط، حفاظت و کنترل، ۱۳۷۷.

[۱۴] مدارک فنی امور پست شرکت مشاور نیروی آذربایجان (منا)