بررسی شیوه‌های بستن شیلد کابل و سرکابل

محمود نیکنام
شرکت توزیع نیروی برق استان فارس

چکیده :

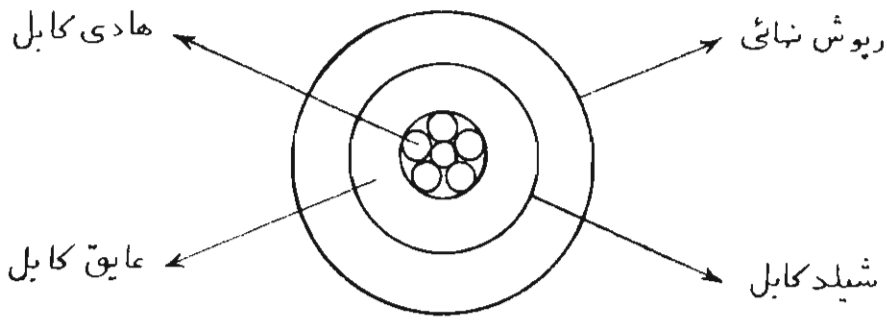
از آنجا که احداث و بهره‌برداری از کابلهای انتقال انرژی دارای ظرافت خاصی بوده و هرآینه عدم دقت در انجام آنها سبب بروز خاموشیهای ناخواسته و نارضایتی مصرف کنندگان برق و بروز خسارات مالی میشود، لذا مطالعه و شناخت بیشتر روی مسائل مربوط به کابلها میتواند از وقوع مشکلات فوق جلوگیری نماید . در این مقاله شیوه‌های بستن شیلد کابل و سرکابل از زوایای مختلف مورد بررسی قرار میگیرد .

شرح مقاله :

تا بحال کابلهای انتقال انرژی با عایقها و هادیهای مختلف در شکلهای گوناگون ساخته شده است .هر چند چگونگی ساخت کابل مورد بحث نمی باشد اما به بمنظور روشن شدن مطلب بطور مختصر به آن اشاره میشود.

یک کابل تشکیل شده از هادی مسی و یا آلومینیومی که روی آن از عایق پوشیده شده و روپوش دیگری از مس یا آلومینیوم جهت محدود کردن میدان الکتریکی ، که در اینجا شیلد نامیده میشود. روی شیلد هم روپوش دیگری جهت افزایش مقاومت مکانیکی در مقابل ضربه و جلوگیری از نفوذ رطوبت قرار داده شده است. در این مقاله فرض شده که کابل بطور کامل و بدون نقص در کارخانه

ساخته شده و بطور سالم به محل مورد معرف حمل و نصب شود ، لذا فقط در مورد بستن شیلد آن بحث میگردد.



شکل ۱- وضعیت ظاهری یک کابل تک رشته‌ای

۱- اثر عبور جریان در کابل :

در اثر عبور جریان در هادی کابل یک میدان مغناطیسی در اطراف آن بوجود می‌آید که از برخورد این میدان به شیلد کابل در شیلد ، یک ولتاژ بوجود می‌آید. این ولتاژ خود باعث ایجاد جریان در شیلد کابل و در نتیجه ایجاد تلفات اهمی در شیلد و افزایش درجه حرارت کابل میشود. حال چون شدت جریان در شیلد متناسب با شدت جریان در هادی است میتوان گفت که تلفات در شیلد هم متناسب با تلفات در هادی است . جریانی که به این طریق در شیلد بوجود می‌آید به نام جریان گردشی نامگذاری میشود. وقتیکه سر سه فاز کابل ، مجاور هم قرار میگیرند عبور جریان در هر فاز باعث ایجاد جریان در شیلد کابل مجاور میشود ، لذا میتوان گفت در اثر عبور جریان در هادی کابل دو جریان در شیلد کابل بوجود می‌آید که یکی را جریان گردشی و دیگری را جریان محلی نامگذاری نموده‌اند.

۲- بررسی حالت باز بودن شیلد کابل در یک طرف و یا هر دو طرف :

در این حالت تنها جریانی که در شیلد کابل بوجود می‌آید جریان محلی است که در اثر عبور جریان از دو هادی مجاور و ایجاد میدان مغناطیسی اطراف آنها و برخورد این میدان به شیلد هادی سوم بوجود می‌آید . حال چون شدت این میدان مغناطیسی در سطح شیلد تغییر میکند ، ولتاژی هم که در شیلد هست تغییر میکند. لذا برای تعادل میتوان گفت جریانی که در یک طرف شیلد بوجود می‌آید در طرف

دیگر شیلد برگشت میکند ، بطوریکه نتیجه جریان در سطح شیلد برابر صفر میشود. ولی چنانچه کابلها خیلی به هم نزدیک باشند بطور تقریبی نتیجه صفر است. بدیهی است ولتاژی که در شیلد در این شرائط بوجود می‌آید بستگی به مقدار فلوی مغناطیسی که به شیلد برخورد میکند دارد که بطور کلی میتوان نوشت :

$$e_s = IX_m$$

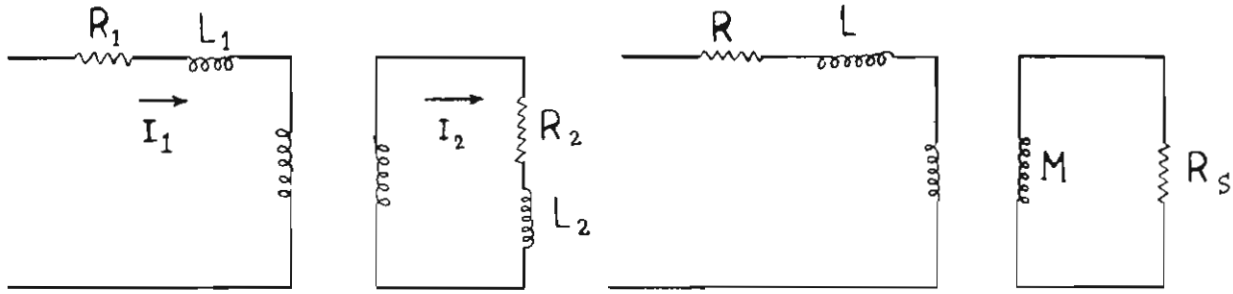
که در این رابطه I عبارت است از جریان هادی برحسب اهم و $X_m = wM$ راکتانس متقابل بین هادی و شیلد برحسب اهم بر سانتیمتر. مقدار M را میتوان از رابطه مشابه راکتانس سلفی هادی محاسبه نمود ، با این تفاوت که بجای انتگرال گرفتن بین حد s و r (s فاصله فازها و r شعاع هادی) بین s و r_m انتگرال گرفته شود که r_m متوسط شعاع شیلد است.

$$M = 2Ln(S/r_m) \times 10^{-9} = 4.6\ Log(S/r_m) \times 10^{-9}$$

که در این رابطه s و r_m دارای یک واحد هستند. عملا" مقدار تغییرات S/r_m چندان قابل ملاحظه نیست ، بنابراین e_s تقریبا ثابت است. در چنین شرائطی ولتاژی که روی شیلد القا" می شود ، در حدود ۶ ولت در هر کیلومتر به ازاء ۱۰۰ آمپر جریان در هادی میشود . این ولتاژ بین شیلد و زمین است و ولتاژ بین دو شیلد $\sqrt{3}$ برابر این ولتاژ میباشد ، یعنی درحدود ۱۰ ولت. چنانچه طول کابل زیاد و جریان هادی هم زیاد باشد ، ولتاژ شیلد ممکن است زیاد و خطرناک شود، مخصوصا در موقع اتصالی که جریان زیاد میشود این ولتاژ آنقدر بالا میرود که باعث ایجاد جرقه می‌گردد ، لذا هرگز برای کابلهای طولانی با آمپراژ زیاد نباید شیلد در دو طرف و یا یک طرف باز باشد.

۲- بررسی حالت وصل بودن شیلد کابل در هر دو طرف :

از دیدگاه الکتریکی یک کابل تک رشته‌ای که شیلد آن در هر دو طرف به هم پیچیده شده باشد را میتوان مطابق شکل (۲) نشان داد ، که همانند یک ترانسفورماتور با سیم پیچ یک بر یک است که طرف ثانویه آن دارای راکتانس صفر و فقط دارای مقاومت R_s بوده و طرف اولیه آن دارای مقاومت R و راکتانس X_c باشد. اگر X_m راکتانس بین هادی و شیلد باشد ، برای روشن شدن مطلب مطابق شکل (۲) که مربوط به یک ترانس معمولی و شیلد کابل است مطلب را مورد بررسی قرارمی‌دهیم .



شکل ۲- مدار معادل کابل تک رشته‌ای که شیلد آن در دو طرف به هم وصل شده باشد.

در شکل (الف) مقاومت و سلف معادل در طرف اولیه برابرند با:

$$R' = R_1 + R_2[(M^2w^2)/(R_2^2 + L_2^2w^2)]$$

$$L' = L_1 - L_2[(M^2w^2)/(R_2^2 + L_2^2w^2)]$$

در شکل (ب) از L_2 صرفنظر شده در این صورت:

$$R' = R + R_s[(M^2w^2)/(R_s^2 + M^2w^2)]$$

$$L' = L - M[(M^2w^2)/(R_s^2 + M^2w^2)]$$

تلفات I^2R^2 تنها در هادی معادل I^2R' است، در حالیکه تلفات در هادی و شیلد I^2R است لذا تلفات شیلد هر کابل از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$I^2(R - R) = (I^2R_s + M^2w^2)/(R_s^2 + M^2w^2)$$

$$(\text{تلفات هادی/ تلفات شبکه}) = [(I^2R_sM^2w^2)/(R_s^2 + M^2w^2)]/(I^2R)$$

$$= (R_sM^2w^2)/[R(R_s^2 + M^2w^2)]$$

دراین رابطه R_s امپدانس شیلد میباشد.

اگر تلفات برای یک کابل با طول متوسط و ۱۰۰ آمپر جریان محاسبه گردد تلفات درحدود ۳٪ خواهد بود. در رابطه فوق فاکتور کننده مقدار R_s است که اگر R_s کم گردد ، یعنی به هم بسته شود تلفات شیلد زیاد میشود. در مقابل برای کم کردن تلفات بایستی ولتاژ بین شیلد و زمین به حداقل برسد . برای اینکار بهتر است که مفصل کابل زمین شود تا ولتاژ شیلد در طول کابل زیاد نگردد واز طرفی درموقع اتصالی جریان اتصالی از شیلد عبور نکند و باعث گرم شدن و سوزاندن عایق کابل وایجاد خسارت نگردد .البته میتوان در هر دو یا سه مفصل شیلد کابل را جابجا نمود همانند ترانسپوزیشن در خط هوائی.

اگر در رابطه فوق $X_m = Mw$ قرار داده شود ، رابطه فوق بصورت زیر تغییر مییابد.

$$(\text{تلفات شیلد / تلفات هادی}) = (X_m^2 R_s)/[R(R_s^2 + X_m^2)]$$

چنانچه شیلد کابل باز باشد ($R_s = \infty$) راکتانس هادی به اندازه معمولی خود میشود.

$$X = X_c + X_m$$

و اگر به هم متصل باشد :

$$X = X_c + [(X_m R_s^2)/(R_s^2 + X_m^2)]$$

حال اگر نسبت تلفات شیلد به تلفات هادی را به λ نشان دهیم خواهیم داشت :

$$\lambda = (R_s/R)[(X_m^2)/(R_s^2 + X_m^2)]$$

در این رابطه نشان داده شده که λ وقتی افزایش مییابد که‌مقدار R کم و X_m افزایش یابد. در اینصورت هر چه سطح مقطع هادی زیادتر باشد R کمتر شده و هر چه فاصله هادیها بیشتر باشد X_m کم میشود . لذا در صورتیکه طول کابل کم باشد حتما" بایستی یک طرف شیلد باز و طرف دیگر به هم پیچیده و زمین گردد. معمولا" جهت جلوگیری از خسارت سرکابل که در زیر شرح داده خواهد شد ، شیلد کابل طرف هوای آزاد باز و طرف دیگر به هم پیچیده میشود. برای کم کردن مقدار M بهتر است در موقعیکه از چند کابل برای انتقال انرژی در هر فاز استفاده

میشود آنها را به هم پیچیده و در انتها کابل با فاصله مناسب از هم نگهداشته و به بس‌بار بسته شود.

۴- بستن سرکابل و مفصل :

وقتیکه سرکابل روی کابل بسته میشود طبق دستور سازنده بایستی مقداری از روپوش کابل و شیلد برداشته شود که در این صورت میدان الکتریکی در آن محل پراکنده میشود. اگر درموقع برداشت روپوش یک ناهماهنگی (سوراخ و یا خراش) روی عایق کابل پیش آید در همان نقطه یک مقدار هوا جمع میشود. با توجه به فشار الکتریکی در آن محل هوای جمع شده یونیزه شده و به سرعت در عایق گسترش یافته و چون با یونیزه شدن ، درجه حرارت هم بالا میرود ، در نتیجه عایق کابل سوخته و باعث اتصالی میشود. حتی چنانچه کلیه عملیات نصب سرکابل و یا مفصل توسط یک کارشناس خبره و بطور صحیح انجام شود ، باز هم دیده شده که در زمان بهره‌برداری دچار اشکال شده است. علت این است که با افزایش بار ، درجه حرارت کابل بالا رفته وعایق انبساط یافته و با کم شدن بار هم به حالت اولیه برنگشته (هر چند فریب عایق کابل و سرکابل نزدیک به هم باشد) و باعث نفوذ هوا در محل اتصال سرکابل و روپوش کابل می‌گردد و یا از لابلای شیلد کابل به داخل کابل وارد می‌شود ، که با نفوذ هوا زمینه بروز پدیده یونیزه شدن و انفجار سرکابل را فراهم می نماید.

۵- بررسی عوامل تخریب کابل :

در بررسی هائی که روی چندین سرکابل در شرکت برق منطقه‌ای فارس صورت گرفته مشخص شده است که ۷۰ درصد ترکیدگی سرکابل مربوط به ایجاد خط و یا خراش روی عایق و یا عدم پر کردن فضای بین عایق و روپوش نهائی بوده است. همچنین میزان تاثیر عوامل دیگر به این قرار است :

الف - ۵٪ در موقع خارج کردن شیلد از زیر روپوش سرکابل

ب - ۵٪ آزاد گذاشتن نوک سرکابل در طرف هوای آزاد که باعث نفوذ رطوبت درموقع باران شده است.

ج - ۵٪ مربوط به بستن شیلد کابل در هر دو طرف در کابلهای کوتاه

د - ۵٪ مربوط به بالا رفتن درجه حرارت بیش از ۶۰ درجه (بایستی توجه داشت که با تغییر درجه حرارت کابل تا ۶۰ درجه ، عملیات انبساط و انقباض

هماهنگ بوده و مشکلی ایجاد نمیشود). ولی چنانچه درجه حرارت از ۶۰ درجه بالا رود امکان نفوذ هوا خیلی زیاد میشود. لذا بایستی به مسئله درجه حرارت با توجه به بار و درجه حرارت محیط توجه خاص نمود.

هـ - ۵٪ به علت وجود گرد و خاک که باعث پائین آمدن عایق سرکابل و نشت جریان میگردد. البته چنانچه سرکابلها بطور مرتب مورد بازدید قرار گیرد ، علاوه بر تمیز کردن آنها چنانچه در اثر یکی از شرائط فوق هوا در آن نفوذ کرده باشد باعث ایجاد یک حلقه کربنی همانند شاخه درخت بصورت پراکنده روی آن میشود ، که با مشاهده آن بایستی نسبت به مرمت سرکابل اقدام گردد تا از خاموشیهای ناخواسته جلوگیری شود.

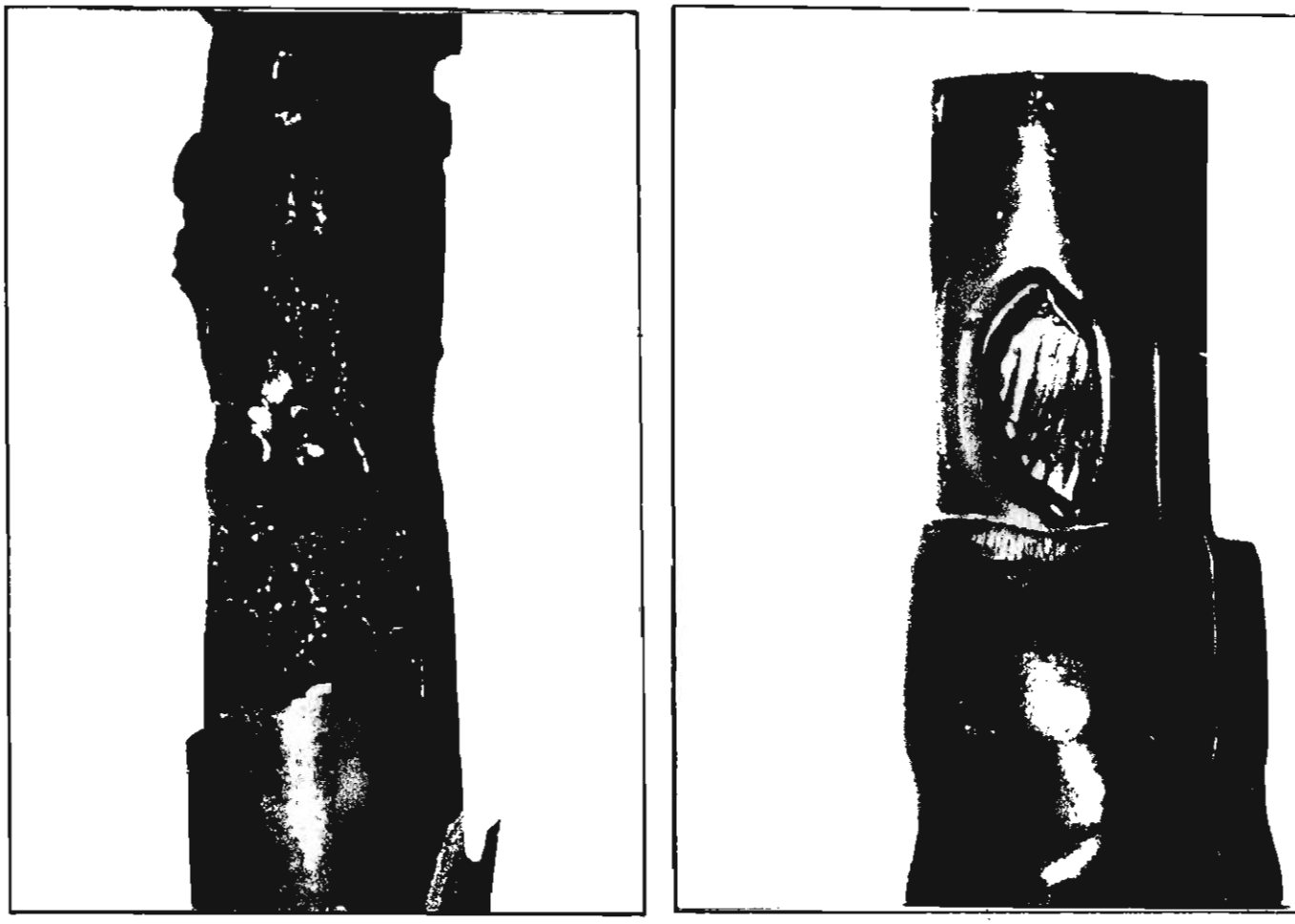
و - ۵٪ سایر موارد.

برای روشن شدن مطالب فوق به چند مورد گزارش مربوط به کابل در سطح شرکت برق منطقه‌ای فارس اشاره می‌شود.

۵-۱- برای تغذیه یک منطقه از دو رشته کابل ۶۶ کیلوولت و به مقطع ۵۰۰ میلیمتر مربع یکی بطول ۵۵۸۸ متر و دیگری ۱۱۷۱۳ متر استفاده شده که غلافها به هم متصل و در دو سر آنها زمین شده است. خط اول با ۶۷ آمپر ، جریان در غلاف آن ۲۲ آمپر جریان عبور میکند و خط دوم با ۷۶ آمپر جریان ، در غلاف آن ۴۰ آمپر جریان می‌گذرد. بدیهی است در موقع اتصالی ، جریان غلاف خیلی زیادتر خواهدشد ، چون در دوبار اتصالی که روی یکی‌از کابلها بوجود آمد جریان غلاف باعث ایجاد جرقه بین شیلد و سکوی نگهدارنده کابل گردید و علفهای اطراف آن دچار آتش سوزی شد.

۵-۲- در پست دیگری غلاف کابل بین ترانس و کلید ورودی در دو طرف به هم بسته و زمین گردید. این عمل در تاریخ ۶۷/۸/۸ انجام و کابل فوق در تاریخ ۶۷/۹/۱۳ دچار اتصالی گردید و مجددا" پس از تعمیر در تاریخ ۶۷/۹/۱۵ اتصالی تکرار شد.

۵-۳- کابلهای کوتاه بین ترانس و کلید ورودی که یک طرف آن باز و طرف دیگر زمین شده بود به علت محدودیت بار و محیط ، درجه حرارت آن بالا نرفته و در مدت ده سال هیچگونه اتصالی نداشته‌اند.



شکل ۳- دو نمونه تخریب در کابل

نتیجه :

رعایت نکات زیر تاثیر بسزائی در جلوگیری از بروز پدیده انفجار در سرکابل و صدمه دیدن کابل دارد.

۱- در صورتیکه طول کابل زیاد باشد بهتر است که شیلد کابل در هر چند مفصل زمین شده و در دو طرف شیلد کابل هم به‌هم پیچیده شده و زمین شود.

۲- در صورتیکه طول کابل کوتاه باشد بایستی فقط یک طرف شیلد آنهم در طرفی که در هوای آزاد نباشد شیلد به هم پیچیده شده و زمین شود.

۳- در صورتیکه برای انتقال انرژی در فاصله کوتاه از چند رشته کابل استفاده می‌شود ، بهتر است کابلها به هم پیچیده شده و انتهای آن با فاصله کافی از هم قرارداده شود.

۴- در موقع خروج شیلد در انتهای کابل بایستی دقت نمود که راه نفوذ هوا به عایق کابل بسته شود .

۵- اجازه داده نشود که درجه حرارت کابل از ۶۰ درجه بیشتر گردد.

۶- سر کابل بطور مرتب تمیز شده و چنانچه نوار کربنی روی آن مشاهده گردید آنرا تعمیر نمود .

۷- در انتها هادی طوری بسته شود که از نفوذ رطوبت به داخل آن جلوگیری شود.

منابع :

1- ELECTRIC UTILITY ENGINEERING VOLUMES WESTING HOUSE ELECTRIC CORPORATION

2- THE TRANSMISSION AND DISTRIBUTION OF ELECTRICAL ENERGY-H.COTTON

3- THE PRINCIPLES OF ELECTRIC POWER TRANSMISSION-H.WAPDICOR.