

بررسی روشها و راهکارهای حذف ولتاژ AC القا شده بر خطوط لوله

علیرضا اسکانیان^۱ - عباس خسروبیگی^۲ - آزاده محول^۳

eskanian.a@gmail.com - khosrobaigy@gmail.com - mohavel.az@gmail.com

چکیده

یکی از الزاماتی که در نگهداری خطوط لوله انتقال گاز وجود دارد، حذف یا کاهش اثرات منفی ناشی از القای ولتاژ AC می‌باشد. القای ولتاژ AC بر اثر مجاورت خطوط انتقال نیرو و خط لوله انتقال گاز صورت می‌گیرد. این القا ممکن است نقطه‌ای یا پیوسته باشد که بستگی به میزان مجاورت یا قطع مسیر یکدیگر دارد. یکی از اشکالاتی که بر اثر القای ولتاژ AC بوجود می‌آید، از بین رفتن پوشش لوله و در نتیجه سرعت گرفتن روند خوردگی لوله می‌باشد. از طرفی با توجه به وجود سیستمهای حفاظت کاتدیک، ولتاژ AC القایی بر این سیستمها نیز تاثیر و تآثر دارد. بکارگیری روشهایی برای حذف یا کاهش اثرات ولتاژ القایی AC در این مقاله بررسی می‌شود. از جمله در مورد نصب الکترودهای اتصال زمین منیزیم یا روی مواردی مطرح شده است. همچنین در مورد سیمهای کنترل گرادیان روی و مس و یا اتصال به زمین (ارت) کوپل شده به خط لوله بصورت AC و دکوپله شده ولتاژ DC از خط لوله بررسی‌های لازم صورت گرفته است. راهکارهای حذف نقطه‌ای و یا پیوسته نیز بررسی و مقایسه شده است. طراحی اینگونه سیستمها بایستی به گونه‌ای باشد که در شرایط نرمال و همچنین در شرایط غیر نرمال، از جمله رعد و برق و یا اتصالات کوتاه ناشی از قطع سیمهای انتقال نیرو، سلامت پرسنل و تجهیزات را بدرستی تامین نمایند. از طرفی طرح سیستم باید به گونه‌ای باشد که در مواقع بروز مشکل بتوان اقدامات تشخیصی لازم، از جمله اندازه‌گیری ولتاژ لحظه off را انجام داد. با توجه به اینکه مسائل اقتصادی در طراحی و بکارگیری روشهای مورد مقایسه اهمیت بسزایی دارد، در این مقاله بدانها نیز اشاره شده است. البته در این مقاله فرض بر این است که القا بر روی خط صورت گرفته و می‌خواهیم آنرا کاهش دهیم. روشهایی دیگری نیز وجود دارد که از القا بر روی خط جلوگیری می‌کند یا آنرا کاهش می‌دهد که به دلیل تفاوت موضوع در این مقاله بررسی نشده است.

کلمات کلیدی

کنترل گرادیان - ولتاژ القایی - خط لوله - حفاظت کاتدیک

^۱ کارشناس ارشد طراحی سیستمهای حفاظت کاتدیک

^۲ کارشناس ارشد تحلیل سیستمها

^۳ کارشناس ارشد خوردگی

مقدمه

حذف ولتاژهای AC هنگامی که خطوط لوله از مجاورت خطوط و کابل‌های برق عبور می‌کنند، اهمیت پیدا می‌کند. استاندارد NACE مرجع شماره RP0177-2000 هنگامی که ولتاژ القا شده بر خط لوله از سطح touch-step ۱۵ ولت تجاوز می‌کند، حذف ولتاژ القایی را توصیه می‌کند. روش عمومی برای حذف ولتاژ القایی، اتصال خط لوله به یک سیستم ارتینگ یا زمین با امپدانس پایین می‌باشد تا بدینوسیله ولتاژ القایی به زمین منتقل شود و مقدار آن در خط لوله پایین بیاید. این تکنیک باید به گونه‌ای انجام شود که تاثیری بر سطوح ولتاژهای حفاظت کاتدیک نداشته باشد. یکی از روشهای کاهش ولتاژ القایی، بکارگیری مواد با خاصیت آندی، بطور مثال روی یا منیزیم، برای سیستم زمین می‌باشد. روش دیگر اتصال سیستم زمین یا ارت از طریق دکوپلر می‌باشد که به این روش قادر هستیم از مواد و فلزات دیگر برای سیستم زمین استفاده کنیم. زیرا سیستم زمین از نظر ولتاژ DC از خط لوله ایزوله می‌باشد. مزایای متفاوت و متعددی در استفاده از سیستمهای دکوپلر الکترونیک در طراحی سیستم حذف ولتاژ وجود دارد که در این مقاله شرح داده شده است.

اساس کار تجهیزات

در دکوپلرها (شکل ۱) از سیستمهای الکترونیکی استفاده می‌شود. این سیستمها قابلیت زمین کردن ولتاژ AC و دکوپلاژ ولتاژ DC را بصورت همزمان در شرایط کاری دارند. این سیستمها از نظر موقعیت نصب به دو دسته، نصب در مکانهای خطرناک و نصب در مناطق عادی تقسیم می‌شوند. تجهیزاتی که در مکانهای hazardous یا با قابلیت خطر نصب می‌شوند، دارای سطح ایزوله بالاتری نسبت به تجهیزات دیگر می‌باشند. طراح سیستم زمین برای حذف ولتاژ القایی می‌بایست کنترل بر نرخ عملیاتی تجهیزات مورد نیاز داشته باشد و آن را مد نظر خود قرار دهد. هنگامی که دکوپلرها با طرح کلی سیستم تلفیق می‌شوند، مقادیر عملیاتی آنها برای انتخاب تجهیزات مناسب می‌بایست تعیین شده و تجهیزات انتخاب گردند. این مقادیر شامل جریان AC پایدار و مقدار جریان در هنگام AC fault می‌باشند.



شکل ۱ - دکوپلر (PCR)

اتصالات تجهیزات

هنگامی که دکوپلرها در کاربردهای حذف ولتاژ القایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به روشهای مختلفی به خط لوله متصل می‌گردند:

- ۱- از خط لوله به سیستمهای کنترل گرادین آندی شامل روی، آلومینیوم یا مواد دیگر
 - ۲- از خط لوله به سیستم بستر زمین ایزوله شده
- نکته مهم این است که در هنگام نصب دکوپلرها می‌بایست از نصب آنها در نزدیکی سیستم ارت دکلهای انتقال نیرو خودداری کرد.

ملاحظات طراحی

مدارات و دستگاههای دکوپلر DC از سال ۱۹۹۰ در صنعت حفاظت از خوردگی معرفی شده و هم اکنون بصورت گسترده‌ای در حذف تداخلات ولتاژ و جریان‌های القایی و هدایتی AC در خطوط لوله مورد استفاده قرار گرفته‌اند. منظور از تداخل القایی، کوپلینگ غیر مستقیم خطوط نیرو به خط لوله می‌باشد که سبب ایجاد ولتاژ القایی در خط لوله می‌شود و منظور از تداخل هدایتی کوپلینگ مستقیم مقاومتی بین سیستمهای قدرت و خط لوله می‌باشد که عموماً ناشی از جریان مشکل خط به زمین line to ground یا جریان صاعقه می‌باشد که از طریق خاک به لوله منتقل می‌شود.

مفاهیم پایه

در شرایط نرمال سیستم اگر ولتاژ AC مدار باز خط لوله ۱۵ ولت یا جریان ۵ میلی آمپر یا بیشتر باشد، از نظر استاندارد NACE RP0177-2000 وضعیت خطر تماس وجود دارد. ولتاژ و جریانهای بالاتر از این مقدار از نظر استاندارد باید مورد آنالیز، کاهش و حذف قرار گیرند.

در آنالیز، دو وضعیت کلی مجاورت با سیستمهای انتقال نیرو می‌بایست مورد بررسی قرار گیرند که شامل اثر وضعیت نرمال یا غیر نرمال سیستمهای انتقال نیرو می‌باشد. حتی زمانی که ولتاژ القایی در شرایط نرمال زیر ۱۵ ولت است، از نظر استاندارد باید مورد آنالیز قرار گیرد که معین شود وضعیت بالقوه خطرناک در شرایط غیر عادی سیستم وجود دارد یا خیر؟ هر زمان که طبق استاندارد، کاهش و یا حذف ولتاژ توصیه شود، می‌بایست ولتاژ و جریانهای مرتبط با شرایط غیر نرمال سیستمهای نیرو آنالیز و بررسی شود. زیرا این وضعیت ممکن است باعث ایجاد ریسک و خطر بزرگتری برای تجهیزات و پرسنل شود.

حذف و کاهش ولتاژ القایی در سیستمهای نقطه‌ای و سیستمهای پیوسته

زمانی که تداخل AC وجود دارد، دو انتخاب برای ما موجود است: روش نقطه‌ای و روش پیوسته. حذف با روش نقطه‌ای پتانسیل خط را در نقاط مشخصی از خط لوله حذف می‌کند که عموماً در مناطق قابل دسترسی که حذف ولتاژ القایی مد نظر است، استفاده می‌شود (بطور مثال در ایستگاههای شیر). حذف پیوسته برای کاهش ولتاژ سرتاسر خط لوله مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاهش ولتاژ نقطه‌ای

برای کاهش ولتاژ القایی عموماً ۲ روش مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- ۱- نصب الکترودهای اتصال زمین منیزیوم یا روی که به صورت مستقیم به خط لوله متصل می‌شود
- ۲- نصب سیستم اتصال زمین که توسط دستگاه بصورت AC به خط لوله کوپل شده و از ولتاژ DC خط لوله دکوپل شده است.

سیستم اتصال زمین می‌تواند مرکب از مواد مختلفی (منجمله روی یا منیزیوم) مانند میله‌های زمین مسی، نوارهای مسی که به صورت افقی مدفون می‌گردند، مقاطعی از کیسینگ لوله‌های فولادی و غیره باشد. مواد کنترل‌گردیدان عمل حذف ولتاژ را انجام می‌دهد که دارای قیمت و هزینه کمی هستند و حفاظت پرسنل یا آن قسمت از مقاطع را در شرایط نرمال و غیر نرمال انجام می‌دهد. روش عمومی دیگری که در کاهش ولتاژ AC مورد استفاده قرار می‌گیرد اتصال خط لوله به سیستم زمین خط انتقال نیرو از طریق دکوپلاژ می‌باشد که اکیدا منع گردیده است. به علت آنکه در اثر اصابت صاعقه یا اشکال AC line-to-ground خط به زمین (ارت فالت) پتانسیل زیادی را به خط لوله وارد

می‌کند که باعث ایجاد ولتاژ زیاد خط لوله به زمین شده و به سهولت باعث خرابی پوشش خط لوله می‌شود. همچنین باعث تخلیه جریان در نزدیکی اتصالات عایقی می‌شود و می‌تواند پتانسیل خطر تماس (shock hazard) بالایی ایجاد کند. استاندارد NACE شماره RP0177-2000 و استاندارد کانادایی C22.3 شماره 6-M1987 هر دو در مورد استفاده از سیستم زمین خطوط نیرو برای حذف ولتاژ AC اخطار می‌دهند. حذف نقطه‌ای به تنهایی نمی‌تواند کلیه مشکلات مرتبط با ولتاژ AC القایی را برطرف کند.

حذف پیوسته ولتاژ

حذف پیوسته هم برای ولتاژهای القایی و هم برای ولتاژهای هدایتی AC تحت شرایط نرمال و غیر نرمال استفاده می‌شود. این روش با استفاده از سیم لخت کنترل‌گرادیان که به صورت موازی با خط لوله نصب شده است، انجام می‌شود. این سیمها در ترانسه‌ای که برای عملیات لوله‌گذاری ایجاد می‌شود، دفن می‌گردند؛ و یا می‌توانند بعد از عملیات لوله‌گذاری نصب شوند که به این ترتیب ولتاژ زمین نزدیک به خط لوله را با ولتاژ خط لوله، نزدیک به هم می‌کنند. بر طبق طراحی سیستم کاهش ولتاژ، این سیستم می‌تواند با یک یا دو سیم کنترل‌گرادیان مورد استفاده قرار گیرد. این سیمها بر اساس طراحی انجام شده و جنسشان هم این امکان را دارند که در حفاظت از زنگ مورد استفاده قرار گیرند و هم می‌توانند این امکان را نداشته باشند و دخالتی در سیستم حفاظت از زنگ نکنند.

اساس کار سیمهای کنترل‌گرادیان

- سیمهای کنترل‌گرادیان راه حل کاملی را نسبت به حذف نقطه‌ای به دلایل زیر فراهم می‌کنند:
- ۱- از وارد شدن استرس ولتاژ یا استرس الکتریکی به پوشش خط لوله در شرایط عادی یا غیر عادی سیستمهای انتقال نیرو در سرتاسر مقطع حفاظتی خود از خط لوله جلوگیری می‌کنند
 - ۲- امکان خرابی‌های ناشی از قوس الکتریکی به خط لوله را که به علت وضعیت غیر نرمال سیستمهای انتقال نیرو بوجود می‌آید، به حداقل می‌رسانند
 - ۳- پتانسیل تمام نقاط را چه در نقطه تماس و چه در فاصله‌ای از نقطه تماس به حداقل می‌رسانند

اتصال سیمهای کنترل‌گرادیان

سیمهای کنترل‌گرادیان به صورت تکی یا دوتایی می‌توانند موازی با خط لوله در فواصل مختلف و آرایش مختلف نصب شوند. فواصل اتصالات با خط لوله و پیکربندی اتصالات (مثلا در سر و ته کابل متصل شوند و یا در وسط کابل به خط متصل شوند) و طول هر مقطع، تعیین کننده شدت جریانی می‌باشد که در حالت‌های پایدار steady state و جریان خطا به هر مقطع معین جاری می‌شود. این پارامترها بر اساس طراحی سیستم تعیین شده و می‌توانند در جهت کاهش قیمت کل سیستم حذف ولتاژ، مینیمم شوند. فواصل اتصال عموماً بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ فوت می‌باشند.

انتخابهای مواد سیم کنترل‌گرادیان

هنگام انتخاب مواد سیم کنترل‌گرادیان فاکتورهای ذیل باید مورد ملاحظه قرار گیرند. مواد انتخاب شده باید دارای خصوصیات ذیل باشند:

- ۱- تداخل با سیستم حفاظت کاتدیک نداشته باشند و نیز با اندازه‌گیری‌های حفاظت کاتدیک تداخل نداشته باشند
- ۲- باید دارای کمترین هزینه در سیستم کاهش و حذف ولتاژ و سیستمهای حفاظت کاتدیک باشند

۳- باید یک مسیر هادی با امپدانس کم به زمین ایجاد کنند که توسط آن پتانسیل اطراف خط لوله و

بویژه پتانسیل خط لوله تحت شرایط غیر نرمال را به حداقل برسانند

۴- جریان AC را تحت شرایط نرمال حمل کنند

روی از موادی می‌باشد که بصورت نسبی برای سیمهای کنترل گرادیان ولتاژ استفاده شده است. جدیداً مس نیز مورد استفاده قرار گرفته است. آنالیز طراحی کاهش ولتاژ به علت مزایای اقتصادی آن می‌تواند در مورد هزینه‌ها و قیمت‌های سیستم‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

در هنگام وصل سیم کنترل گرادیان از نوع مس می‌بایست حتماً سیم از خط لوله از نظر DC دکوپلاژ شده و همزمان کوپلاژ AC انجام شده باشد. سایز هادی مسی باید به گونه‌ای باشد که قادر به حمل جریان خطا باشد و به قدر کافی نیز جهت کار سختی داشته باشد. سایز هادی مسی با توجه به قابلیت و سختی خود از سایز هادی روی کمتر می‌باشد. جدول ۱ سایز هادی‌های زمین مسی برای جریانهای خطای متفاوت را نشان می‌دهد. هزینه کلی سیستم حذف ولتاژ را میتوان با در نظر گرفتن طراحی مناسب برای محدود کردن جریان ماندگار ۴۰ آمپر و جریان خطای ۴۰۰۰ آمپر در یک مقطع معینی از سیم کنترل گرادیان به مینیمم رساند. محدود کردن این دو جریان باعث حداقل کردن هزینه دستگاه دکوپلاژ می‌شود. این مقادیر جریان تحت کنترل طراح سیستم قرار دارند و در اکثر کاربردها بصورت عملی امکان‌پذیر می‌باشند.

Conductor Size- Awg	Current Duration - Cycles	Amperes-RMS
1	30	7,500
1/0	30	11,500
2/0	30	15,000
3/0	30	18,500
4/0	30	21,000

جدول ۱ - جریان خطای ماکزیمم نسبت به سایز هادی

مقایسه سیمهای کنترل گرادیان روی نسبت به مس

در اینجا مقایسه‌ای بین دو سیم کنترل گرادیان انجام شده است. همانگونه که می‌دانیم، زمانی که روی (شکل ۲) را استفاده می‌کنیم، آنرا بصورت مستقیم به لوله متصل می‌کنیم و هنگامی که از مس استفاده می‌کنیم، آنرا از طریق دستگاه دکوپلاژ به لوله متصل می‌کنیم.

مزایای روی:

۱- دارای این امکان است که حفاظت کاتدیک تکمیلی ایجاد کند. اکثراً با سیستم حفاظت کاتدیک

جریان اعمالی مورد استفاده قرار می‌گیرد

۲- می‌تواند به صورت مستقیم بدون نیاز به دستگاه دکوپلاژ به خط لوله متصل شود. اتصالات از طریق

باند باکس صورت می‌گیرد تا امکان دسترسی آتی فراهم باشد.

معایب روی:

۱- ولتاژ لحظه‌ای هنگامی که روی بطور مستقیم به خط وصل است قابل اندازه‌گیری نیست مگر اینکه

تمام اتصالات روی قطع شوند.

۲- جریانهای DC سرگردان (از سیستمهای انتقال DC، سیستمهای حفاظت کاتدیک دیگر و غیره)

می‌توانند از طریق اتصال روی به خط لوله وارد شده و در جایی از خط که هادی روی وجود ندارد یا قطع

شده است از خط خارج شوند که خود باعث ایجاد مشکل خوردگی می‌گردد.

۳- اثربخشی روی هنگامی که هم به عنوان آند و هم به عنوان هادی زمین مورد استفاده قرار گیرد با گذشت زمان رو به زوال می‌گذارد که علت آن به علت غیر فعال شدن سطح آن در بعضی وضعیتهای خاک می‌باشد. در برخی خاکها نیازمند بکفیل مناسب می‌باشد. اگر هادی روی از طریق دستگاه دکوپلاژ به خط لوله متصل شود، معایب مذکور حذف می‌گردد.



شکل ۲ - آند روی بکار گرفته شده در مجاورت سیستم انتقال نیرو

مزایای مس:

- ۱- مس در صنایع انتقال نیرو بطور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته و پیشینه موفقیت‌آمیزی در این زمینه دارد
- ۲- برای حصول حذف ولتاژ نیاز به مصالح کمتری دارد زیرا مس دارای قابلیت هدایت الکتریکی بالا و مقاومت در برابر خوردگی بوده و نیز به عنوان آند خورده یا مصرف نمی‌شود (یعنی از نظر DC دکوپله می‌باشد)
- ۳- قادر به اندازه‌گیری ولتاژ off خط لوله می‌باشیم
- ۴- اثر مخرب جریانهای سرگردان DC در این سیستم به علت استفاده از تجهیزات دکوپلاژ حذف شده است

معایب مس:

- ۱- باید احتیاط به عمل آورد که در حین نصب مس به بدنه لوله تماس پیدا نکند
 - ۲- نیاز به دستگاه دکوپلاژ در صورت عدم بهینه‌سازی برای سیمهای دکوپل شده کنترل‌گرادیان ممکن است باعث افزایش هزینه نسبت به سیستم هادی روی شود
 - ۳- در برخی خاکها نیاز به بکفیل مناسب می‌باشد
- با توجه به کاربرد بسیار زیاد هادی‌های مسی در کنترل‌گرادیان ولتاژ، اخیراً نسبت به اصلاح این روش اقدام شده و هادی‌های بهبود یافته‌ای (شکل ۳) طراحی و ساخته شده‌اند که به صورت وسیع در صنایع نفت و گاز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اساس این هادی‌ها، همان هادی مس می‌باشد که توسط ککی که خوردگی آن نسبت به مس کم می‌باشد، احاطه شده و توسط رشته‌های پلی‌اتیلن قوی و پارچه واسط بسته‌بندی شده‌اند. عموماً این هادی‌ها در طولهای ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ فوت ساخته می‌شوند و با توجه به ساختار خود کارایی بسیار خوبی دارند.



شکل ۳ - هادی مسی بهبود یافته

مقایسه قیمت

جدول ۲ نشان دهنده صرفه اقتصادی استفاده از سیستم سیم کنترل گرادیان مس با دکوپلاژ، نسبت به استفاده از سیم روی متصل به لوله، برای هر فوت از خط لوله، با احتساب هزینه نصب یکسان می باشد. این قیمتها به علت عدم وجود هادی های روی و آلیاژ مس استفاده شده در هادی در بازار ایران وجود نداشته و از بازار اروپا اخذ شده است. برای یک سیستم حذف ولتاژ تک هادی، مس تقریباً \$ 2.41 برای هر فوت نسبت به روی صرفه جویی دارد و برای سیستم دو هادی، مس \$ 2.22 نسبت به روی صرفه جویی دارد.

Description	Cost/ft.
Parallel Zinc Wires, 1/2" x 9/16"	\$3.76
Parallel Copper Wires, 1/0	\$1.54
Cost of Copper vs. Zinc	-\$2.22
Single Zinc Wire, 5/8" x 7/8"	\$3.38
Single Copper Wire, 2/0	\$0.97
Cost of Copper vs. Zinc	-\$2.41

جدول ۲ - هزینه سیم کنترل گرادیان در هر فوت

جدول ۳ نشانگر فواصل اتصال سیم کنترل گرادیان به خط لوله می باشد که فرض شده هزینه هادی مس دکوپله شده برابر با سیستم روی متصل به لوله می باشد. در اینجا نرخ های معمول جریان خطای AC استفاده شده اند. هر چقدر میزان فواصل از میزانی که در جدول نشان داده شده است بیشتر شود، صرفه جویی استفاده از مس بیشتر می شود.

Decoupler Fault Current Rating	Parallel Wire Interval, ft.	Single Wire Interval, ft.
3.7kA	439'	405'
5kA	608'	560'
10kA	863'	795'
15kA	1516'	1396'

جدول ۳ - فواصل اتصال سیم کنترل گرادیان به لوله با فرض برابر بودن مس دکوپله شده با هادی روی اتصال مستقیم

نتیجه‌گیری

برای انتخاب سیستم حذف ولتاژ القایی فاکتورهای متعددی می‌بایست مورد ملاحظه قرار گیرند. در سیستم حذف ولتاژ، این موارد باید در نظر گرفته شود: اثر سیستمهای انتقال نیرو در حالت نرمال و غیر نرمال - این سیستمها با سیستمهای حفاظت کاتدیک یکپارچه شوند - مسائل ثانویه‌ای که ممکن است توسط سیستم ایجاد شود را به حداقل برسانند. حذف نقطه‌ای برای مقطعی که در یک نقطه خاص تداخل وجود دارد و یا سایتی که در محیط آزاد و دسترسی آزاد پرسنل قرار دارند، مفید می‌باشد. اما این سیستمها محافظتی از پوشش خط لوله در شرایط غیر نرمال بعمل نمی‌آورند. در سیستم حذف پیوسته سه نوع سیستم کنترل گرادیان اصلی وجود دارد: هادی مس دکوپله شده - روی با اتصال مستقیم - روی دکوپله شده. برای هر پروژه کاهش ولتاژ، هزینه سیستمهای حفاظت کاتدیک و سیستمهای کاهش ولتاژ به عنوان آلترناتیو می‌بایست مورد محاسبه قرار گیرد؛ به علت آنکه هر یک بر دیگری می‌تواند اثر داشته باشد. فاکتورهای هزینه مانند بکفیل، بسترهای آندی/یکسوکننده، سیمهای کنترل گرادیان، دکوپلرها و غیره، در هزینه کل سیستم اثر زیادی دارد که با آلترناتیوهای مختلف باید مورد ملاحظه قرار گیرند. مزایای استفاده از دستگاه دکوپلاژ بین خط لوله و سیم کنترل گرادیان، خواه از مس و خواه از روی استفاده شده باشد، عبارتند از: توانایی اندازه‌گیری ولتاژ لحظه off - حذف پتانسیلهای خوردگی ناشی از جریان سرگردان DC - ساده‌سازی سیستم حفاظت کاتدیک و سیستم کاهش ولتاژ با جدا کردن آنها.

مراجع

1. A.Taflove, J.Dabkowski "Mutual Design Considerations for Overhead AC Transmission Lines and Gas Transmission Pipelines" Final Report EPRI EL-904, AGA Cat No. L51278, IIT Research Institute, Chicago, IL Sept 1978
2. F.Dawalibi, R.Southey "Analysis of Electrical Interference from Power Lines to Gas Pipelines Part I: Computational Methods" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 4, No 3, July 1989
3. D.Markovic, V.Smith, S.Perera, S.Elphich "Modelling of the Interaction between Gas Pipelines and Power Transmission Lines in Shared Corridors" Australasian Universities Power Engineering Conference, Brisbane, September 2004, Paper No. 223
4. R.Southey, F.Dawalibi "Computer Modelling of AC Interference Problems For the Most Cost Effective Solutions" 53rd Annual Conference in Corrosion, NACE 98, California, March 22-27, 1998
5. NACE Standard RP0177-2000, "Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems".
6. C22.3 No. 6-M1987, "Principles and Practices of Electrical Coordination Between Pipelines and Electric Power Lines"
7. Final Report for Contract No. PR-262-9809, January 1999, "Cathodic Protection for Pipelines with AC Mitigation Facilities," Prepared for PRC International Corrosion Supervisory Committee (American Gas Association)
8. R.Southey, F.Dawalibi, W.Vukonich, "Recent Advances in the Mitigation of AC Voltages Occurring in Pipelines located close to Electric Transmission Lines" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.9, No.2, April 1994
9. Safe Engineering Services & Technologies LTD, 1544 Viel, Montreal, Quebec, Canada H3M IG4, www.sestech.com
10. AS/NZS 4853:2000 "Electrical Hazards on Metallic Pipelines"