استفاده از کابل نوری برای ایزولاسیون ترانسهای جریان

مهشید رستمی - امیر محمد نجفی - نسیرفاکریمی

بخش تحقیقات شرکت ایران سوییچ

چکیـــــــده :

در این مقاله جایگزینی ترانسهای جریان معمولی با ترانسهای جریانی که در آنها ایزولاسیون الکتریکی بوسیله کابل نوری انجام می گیرد، بررسی میگردد. همچنین یک نمونه از این ترانسها که در شبکه ۲۰ کیلو ولت استفاده می شود و در بخش تحقیقات شرکت ایران سوییچ طراحی، ساخته و آزمایش شده است، شرح داده می شود.

شرح مقاله :

باتوجه به اهمیت حفاظت یک شبکه فشارقوی درمقابل خطرات احتمالی، نحوه بدست آوردن مقادیر ولتاژ و جریان خط از مباحث مهم درامر حفاظت است. استفاده از ترانسهای نمونه برداری جریان (CT) و ولتاژ (PT) که از گذشته تابحال متداول بوده است بامشکلاتی نظیر حجم زیاد، هزینه ساخت بالا و گرانی قیمت مواجه است که با افزایش مقدار ولتاژ ایزولاسیون، این مسایل تشدید می شود. پیشرفت تکنولوژی ساخت رله‌های حفاظتی، استفاده از مدارات مجتمع و همچنین بکارگیری سیستمهای دیجیتال و میکروپروسوری جهت بالابردن کیفیت کار این رله‌ها، داشتن اطلاعات مربوط به جریان یا ولتاژ خط بشکل دیجیتال را ضروری می نماید.

۱ - مقایسه با CT های معمولی :

از نقطه نظر اقتصادی مهمترین عاملی که باعث افزایش قیمت CT و PT ها می‌شود ، افزایش هزینه عایقکاری این ترانسها در ولتاژهای بالاست . در صورتیکه بتوان روشهای دیگر ایزولاسیون را جایگزین روش متداول نمود . کاهش چشمگیری در هزینه ساخت این نوع مبدلها حاصل خواهد شد .

در کشورهای پیشرفته صنعتی ترانسهای اندازه گیری با استفاده از کابل نوری از حدود ۲۰ سال پیش مورد توجه بوده است . مزیت این ترانسها نسبت به ترانسهای معمولی وزن و حجم کمتر ، هزینه ساخت پایینتر و قابلیتهای بیشتر می باشد . البته محدودیتهائی که در تولید انبوه اینگونه ترانسها وجود داشت باعث وقفه در روند ساخت اینگونه ترانسها شده است . محدودیتهای تولید انبوه عبارت بودند از :

الف - برای ساخت اینگونه ترانسها در مقایسه با ترانسهای معمولی قطعات زیادی مورد استفاده قرار می گرفت که باعث پایین آمدن قابلیت اطمینان سیستم می شد و در صورت استفاده از قطعات کمتر ، دقت و حساسیت سیستم در مقابل حرارت و ضربه‌های مکانیکی کاهش می یافت .

ب - خروجی اینگونه ترانسها با سیگنالهای آنالوگ ورودی استاندارد استفاده شده در رله‌های سیستمهای قدرت سازگار نبود .

اینگونه موارد با پیشرفت تکنولوژی به دلائل زیر در حال رفع شدن هستند :

الف - تکنولوژی ساخت کابل نوری بدلیل استفاده وسیع آن در شبکه‌های مخابراتی در حال پیشرفت می باشد که باعث بالا رفتن قابلیت اطمینان این سیستمها شده است .

ب - پیشرفت در ساخت مدارات مجتمع (IC) و الکترونیک نوری امکان ساخت اینن ترانسها با دقت قابل قبول و المانهای کمتر را فراهم آورده است .

ج - به دلیل اینکه اطلاعات خروجی این نوع ترانسها دیجیتال است برای اتصال به رله های حفاظتی دیجیتال مناسبتر می باشند و به علت استفاده وسیع رله های دیجیتال بجای رله های آنالوگ ، این نوع ترانسها دارای زمینه

کاربردی بیشتری خواهند شد .

استفاده از کابل نوری در ترانسهای اندازه‌گیری باعث ایجاد امنیت بیشتر برای افراد و ابزارهای اندازه گیری می شود . زیرا بعلت وجود کابل نوری بعد از وقوع خطا ، امکان احتراق و انفجار دستگاهها به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می یابد . چون ارتباط بین شبکه و اتاق کنترل (قسمت اندازه‌گیری) بوسیله فیبر نوری کاملا" از لحاظ الکتریکی ایزوله شده است بنابراین هیچگونه امکان انتقال حریق و یا گسترش خطاهای بوجود آمده در شبکه ولتاژ بالا به اتاق کنترل وجود ندارد . در نتیجه امنیت افراد و ابزارهای موجود در اتاق کنترل تا حد زیادی افزایش می یابد . همچنین ولتاژ بالا و میدان الکترومغناطیسی ایجاد شده در اطراف شبکه بر روی اتاق کنترل و ابزارهای اندازه‌گیری هیچگونه تاثیری نمی گذارد .

در این مقاله ابتدا اثرات میدان الکترومغناطیسی بر روی مدارات الکترونیکی بررسی می شود و سپس مدار آمپرمتر الکترونیکی شبکه ۲۰ KV که ایزولاسیون الکتریکی در آن بوسیله کابل نوری تامین شده است شرح داده می‌شود .

۲ - بررسی اثرات میدانهای الکترومغناطیسی روی مدارات الکترونیکی :

بطور کلی تشعشع میدانهای الکترومغناطیسی یا " EMI " نوعی از کوپلاژ نویز میباشد که قادر است کار مدار را بطور کامل مختل نماید . هنگامیکه گیرنده نویز به منبع نویز نزدیک باشد ، میدانهای الکتریکی و مغناطیسی جداگانه اثر میگذارند و وقتیکه منبع نویز از گیرنده آن فاصله داشته باشد حاصل ترکیب این دو میدان بصورت تشعشع الکترومغناطیسی ایجاد نویز مینماید . مشخصات یک میدان توسط منبع ، ناحیه واسط بین منبع نویز و گیرنده آن و فاصله بین منبع و نقطه اندازه‌گیری معین می شود . در نزدیکی منبع مشخصات میدان اساسا توسط مشخصات منبع معین میگردد و دورتر از منبع خواص میدان بستگی به ناحیه واسطی دارد که میدان از طریق آن منتقل میشود .

قرار دادن یک مدار الکترونیکی در نزدیکی یک خط نشار قوی به مفهوم

قرار دادن مدار در یک میدان الکتریکی و مغناطیسی قوی است. با اتصال پتانسیل منفی مدار به خط فشارقوی و هم پتانسیل شدن مدار با خط مسئله میدان الکتریکی حل خواهد شد. البته این کار باعث می شود کلیه امواج فرکانس بالا و نویزهای موجود روی خط فشار قوی به مدار الکترونیکی انتقال شود. برای رفع این مشکل از فیلترهای حساس، المانهای حفاظتی سریع و تکنیکهای کاهش نویز در ورودی این مدارات استفاده می‌شود.

بطور کلی اثر میدان مغناطیسی بر روی مدارات الکترونیکی بصورت افزایش دما ظاهر می گردد. بالا رفتن درجه حرارت در المانها و ایجاد نویز حرارتی دقت عملکرد مدار را کاهش می‌دهد، لذا در کارهای دقیق که نحوه رفتار مدار با افزایش دما دگرگون می شود مدار از نقطه نظر پایداری حرارتی مورد توجه قرار می گیرد. این مشکل از طریق عملکرد المانهای فعال به شکل سوئیچ و همچنین پرهیز از وارد شدن به ناحیه سیگنال کوچک تا حدود زیادی حل شده است زیرا اثر نویز روی المانهایی که در حالت قطع و اشباع کار می کنند ناچیز می‌باشد.

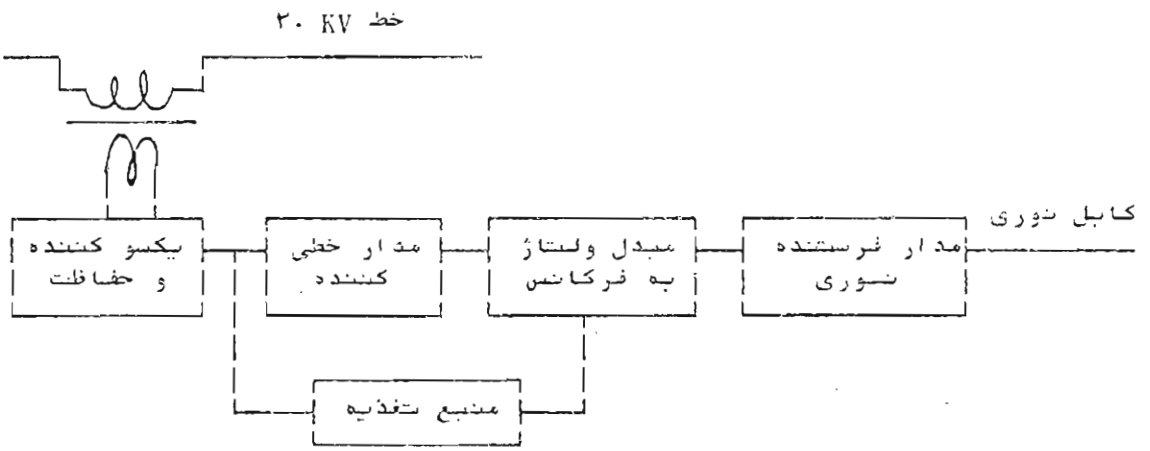
۳ - طراحی آمپرمتر الکترونیکی خط ۲۰kv :

این آمپرمتر بدون استفاده از CT های معمولی قادر به اندازه گیری جریان خط ۲۰ KV می باشد. برد الکترونیکی این آمپرمتر روی یک رله پریمری الکترونیکی که قبلا" در شرکت ایران سوئیچ ساخته شده است، قرار می گیرد. بنابراین از سیم پیچی ترانس همان رله استفاده شده است.

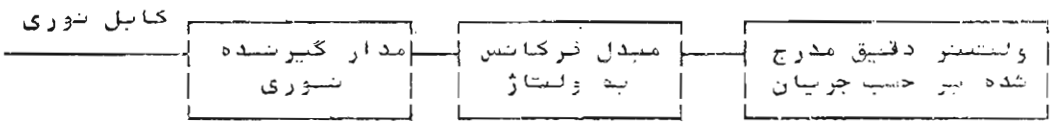
بلوک دیاگرام کلی مدار آمپرمتر الکترونیکی خط ۲۰ KV در شکلهای ۱ و ۲ نشان داده شده است.

ورودی مدار یکی از سیم پیچهای رله پریمری است. این رله جهت حفاظت خط ۲۰ KV در مقابل افزایش جریان خط بکار می رود و سیم پیچ اولیه آن به شکل سری با خط قرار دارد. ولتاژ خروجی این سیم پیچ با جریان خط یک رابطه غیر خطی دارد این ولتاژ که دارای دامنه تغییرات وسیعی بین صفر تا ۷۰V است توسط

مدار یکسو کننده و صافی خازنی به ولتاژ DC تبدیل میشود . ولتاژ بدست آمده دارای ریپل بسیار کمی بوده و با دقت خوبی می توان آن را متناسب با ولتاژ متناوب ورودی دانست . از همین ولتاژ تغذیه بخشهای مختلف مدار نیز تامین می گردد .



شکل ۱ - مدار قسمت فرستنده



شکل ۲ - مدار قسمت گیرنده

به دلیل غیر خطی بودن مشخصه خروجی هسته رله پریمری نیاز به طراحی یک مدار خطی کننده است که جریان خروجی این مدار خطی کننده دقیقا" متناسب با جریان خط خواهد بود . مشخصه انتقالی این مدار باید معکوس مشخصه انتقالی ترانس رله پریمر باشد . برای انجام این کار ابتدا مشخصه انتقالی هسته ترانس ورودی یعنی منحنی ولتاژ خروجی ثانویه ترانس بر حسب جریان اولیه (جریان خط ۲۰ kV) رسم شده است . اگر جریان ورودی ترانس Ii و ولتاژ خروجی دو سر سیم پیچ

شانویه ترانس Vi باشد . طبق منحنی بدست آمده تغییرات Vi تابع Ii خواهد بود :

$$Vi = f(Ii)$$

لیکن این تابع خطی نیست. برای حل این مشکل منحنی f^{-1} یعنی منحنی تغییرات Vi بر حسب Ii با استفاده از منحنی اول رسم شد .

$$Ii = f^{-1}(Vi)$$

سپس معادله منحنی بدست آمده (f^{-1}) بروش انترپلاسیون بدست آمد . اینکار به شکل دستی و تقسیم منحنی به قطعات کوچکتر و تقریب این منحنیها با پاره خطهایی معادل و بدست آوردن معادله هر یک از این پاره خطها انجام شده است . آنگاه برای معادله f^{-1} بدست آمده یک مدار الکترونیکی طراحی شده است اگر جریان خروجی این مدار را Io بنامیم خواهیم داشت :

$$Io = k \cdot f^{-1}(Vi) = k \cdot f^{-1}(f(Ii)) = k \cdot Ii$$

همانطور که از رابطه بالا پیداست جریان خروجی مدار خطی کننده مشخص هست ترانس ورودی دارای یک رابطه خطی با جریان ورودی ترانس است و بدینوسیله مشکل غیر خطی بودن مشخص هسته با تقریب خوبی حل شده است. در قسمت دیگر این جریان توسط یک مدار ساده مقاومتی به ولتاژی متناسب با جریان Io تبدیل می گردد که به ورودی مبدل ولتاژ به فرکانس اعمال می شود .

برای اینکه بتوانیم اطلاعات دریافت شده از مدار خطی کننده را ارسال نمائیم احتیاج به یک مبدل ولتاژ به فرکانس خواهیم داشت . تبدیل ولتاژ به فرکانس به دو علت صورت می گیرد ، اولا" شدت نور فرستنده‌ها وگیرنده‌های نوری رابطه خطی با ولتاژ اعمال شده و گرفته شده از آنها ندارد ، ثانیا" بعلت کاهش شدت نور در اثر ارسال دامنه ولتاژ دریافت شده کمتر از دامنه ولتاژ ارسالی می‌باشد بنابراین تبادل اطلاعات توسط یک ولتاژ متغیر DC امکان پذیر نیست. اما در صورتیکه تبادل اطلاعات توسط یک موج با فرکانس متغیر صورت گیرد ، فرستنده‌ها و گیرنده‌های نوری به شکل سوئیچ عمل می‌کنند و از نقطه‌نظر کاهش دامنه ولتاژ در کار سیستم خللی وارد نمی‌شود . برای تبدیل ولتاژ به فرکانس می‌توان از یک VCO

(Voltage Controlled Oscillator) استفاده نمود. مدار VCO بنحوی عمل می‌نماید که فرکانس موج خروجی آن در یک محدوده خاص از ولتاژ ورودی ، دارای رابطه خطی با دامنه موج ورودی باشد . در اینجا از یک مدار VCO با رنج فرکانس خروجی 0-150 HZ به ازای ولتاژ ورودی 5-0 ولت استفاده شده است .

فرکانس فوق توسط یک فرستنده با دیود نوری به کابل نوری ارسال می‌شود . انتهای دیگر کابل نوری به گیرنده متصل است . در مدار گیرنده فرکانس بدست آمده توسط یک مبدل به ولتاژ تبدیل می شود . پهنای باند موج ورودی این مبدل باید برابر پهنای باند خروجی مدار VCO در فرستنده باشد. سپس ولتاژ خروجی VCO که رابطه‌ای خطی با جریان خط ۲۰KV دارد به یک ولتمتر حساس اعمال می‌گردد. رنج ولتاژ خروجی این مبدل نیز با توجه به ولتمتر استفاده‌شده در مدار گیرنده تعیین می شود . این ولتمتر بر حسب جریان مدرج شده است و در واقع این درجه بندی بنحوی است که عدد بدست آمده از حرکت عقربه ولتمتر با جریان خط ۳۰ KV برابر میباشد . فیبر نوری بنحوی انتخاب شده است که عایق آن بتوانند بخوبی ولتاژ ۳۰ KV را تحمل کند و هیچگونه ولتاژی به مدار گیرنده که دارای زمین واقعی است القاء نشود .

جهت تغذیه این مدار بناچار از ولتاژ ورودی Vi استفاده شده است زیرا ولتاژ دیگری در مدار وجود ندارد و پتانسیل منفی مدار الکترونیکی مستقیما" به خط ۳۰ Kv وصل شده است . همین مطلب باعث شده است که طراح کلید مشکلات طراحی یک منبع تغذیه در شرایط مدار الکترونیکی بالا را در حالیکه ولتاژ ورودی آن خود متغیر می باشد، پذیرا شود .

در مدار فوق مشکل عمده حفاظت مدار در مقابل پیکهای شدید القایی می باشد ، که حل این مسئله در مدار منبع تغذیه مشکل تر است . در این پروژه سعی شده است که حتی‌الامکان این مسئله حل شود . جهت حذف تر انزینتهای شدید خط از المانهای حفاظتی نظیر وریستور و خازن بای پاس قبل از مدار یکسو کننده استفاده شده است . در صورتیکه این طرح در ابعاد وسیعتری روی خطوط فشار قوی با ولتاژهای متفاوت مورد استفاده قرار گیرد ، بایستی هسته ترانس آن دارای

کیفیتی بمراتب بهتر از هسته ترانس رله پریمری باشد . این هسته باید حداقل دارای مشخصه ای خطی مانند CT های معمولی باشد .

۴ - نتیجه :

ارائه روشهای جدید ایزولاسیون بجای روش متداول باعث کاهش چشمگیری در هزینه ساخت ترانسهای جریان خواهد شد . این ایده زیربنای تعریف پروژه طراحی آمپرمتر الکترونیکی خط KV ۲۰ در شرکت ایران سوییچ بوده است . هدف از این پروژه استفاده ازیک ترانس عایقکاری نشده بجای استفاده از CT های معمولی است که جهت ایزولاسیون ولتاژ KV ۲۰ بکار می رود ، اما در عمل می توان آن را به ولتاژهای بالاتر تا مرز KV ۴۰۰ نیز افزایش داد و همچنین بجای داشتن صرفا" یک آمپرمتر ساده میتوان از خروجیهای مدار آن که عموما" به شکل دیجیتال است ورودیهای رله های حفاظتی دیگر را نیز که در مرکز کنترل موجودند ، تامین نمود . روشن است که برای انجام اینکار بایستی مسائل و مشکلات بسیاری حل شود و همچنین با ارائه توجیهی منطقی ، و تستهای متعدد اعتماد استفاده‌کننده نسبت به این دستگاه در مقابل خطرات احتمالی را افزایش داد .

اجرای پروژه فوق در این شرکت میتواند شروع مناسبی برای بسط و گسترش نمونه برداری دیجیتال از جریان و ولتاژ خط و ارسال آن از طریق کابل نوری در سایر ولتاژهای فشار قوی باشد . لازمه این امر اینستکه شرکتهای دست اندرکار و همچنین صاحب نظران به اهمیت و ارزش این پروژه پی برده و مایل باشند که جهت بهبود کیفیت طرح ، گسترش و همچنین تولید آن سرمایه گذاری کنند .

در صورتیکه این پروژه که مراحل مقدماتی خود را میگذراند بنحوی مطلوب و در ابعاد وسیعی به نتیجه برسد ، تحولی چشمگیر در زمینه بهبود کیفیت کار رله های حفاظتی ایجاد ، و همچنین از نقطه نظر مسائل اقتصادی در هزینه های ارزی صرفه جویی خواهد شد .

۵ - منابع :

1 - Physics of Semiconductors ; Mc.Graw Hill

2 - Photo-Magneto-Electric Effects in Semiconductor ; Wiley & Sons

3 - Digital Passive Transducer Using Active Opto-Electronics ,

M. Adolfsson , M. Markdahl - Bjarme , J. Nirs

CIGRE SC 34 / SWEDEN 2 Finland , June 1987 , Subject 3

۴ - تکنیکهای کاهش نویز در سیستمهای الکترونیکی ، ترجمه مهندس داود ولی