بسمه تعالی

هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران

کد مقاله: DNEQ180

نوع پذیرش : رزرو برای ارائه

فیوز قدرت الکترونیکی و کاربرد آن در حفاظت شبکه توزیع

سعید محسنی(۱و۲) فریبرز اقتدار نیا(۱) کمال حسینی (۱)

(۱) شرکت برق منطقه ای اصفهان

(۲) شهرک علمی تحقیقاتی اصفهان

واژه های کلیدی *:حفاظت شبکه توزیع، فیوز قدرت الکترونیکی*

چکیده

هدف از این مقاله معرفی نوع جدیدی از فیوزهای فشار قوی بنام فیوز قدرت الکترونیکی است. این فیوز هر چند مشابه سایر فیوزها دارای المان قطع کننده است، اما به گونه ای طراحی و ساخته شده که بخش عمده ای از معایب فیوزهای معمولی از جمله کات اوت فیوزها و فیوزهای انفجاری را ندارد. وجود یک بخش کنترل که تشخیص وقوع خطا را به عهده دارد، وجه تمایز اصلی این فیوز با سایر فیوزهاست. در بخش کنترل کننده که الکترونیکی است میتوان منحنی مشخصه فیوز را تغییر داد، تا در بخش قطع کننده با توجه به تنظیمات انجام شده فیوز جریان خطا را قطع و سیستم خطادار را جدا نماید. در این مقاله علاوه بر معرفی فیوز مذکور، طرز کار و برخی از کاربردهای آن مطرح خواهد شد.

۱-مقدمه

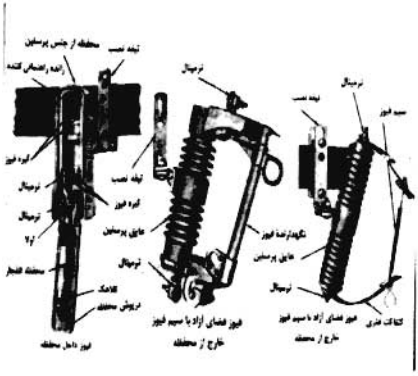
یکی از تجهیزات نسبتاً پر مصرف شبکه توزیع و فشار متوسط انواع فیوزهای فشار قوی است. کات اوت فیوزها یکی از انواع فیوزهای فشار قوی هستند که برای حفاظت ترانسفورماتورهای و ابتدای انشعابهای فرعی هر فیدر استفاده می شوند. همچنین انواع فیوزهای فشار قوی انفجاری نیز جهت حفاظت بانکهای خازنی، کابلها و ترانسفورماتورها بکار می روند. هر فیوز بدون توجه به مکانیسم عملکرد آن، وظیفه حفاظت تجهیزات الکتریکی را در برابر اضافه جریان و اتصال کوتاه به عهده دارد. این کار بوسیله یک المان داخلی که بصورت سری با تجهیز قرار گرفته و معمولاً از جنس مس، نقره و یا آلیاژهای آنها می باشد، انجام می گیرد. در صورت وقوع خطا جریان از این المان عبور کرده و با باز شدن آن و قطع جریان، تجهیز مورد نظر حفاظت می گردد. در عمل ممکن است بجای یک از چند

المان استفاده شود. با توجه به نوع فیوز المان قطع کننده در محفظه ای که می تواند از جنس شیشه، سرامیک، چینی و یا مواد پلیمری باشد، قرار می گیرد. در هر مورد با توجه به سیستم و تجهیزی که حفاظت آن مورد نظر است، نوع شبکه و سطح ولتاژ، فیوز مناسب انتخاب می

شود. در ادامه مقاله پس از معرفی اجمالی انواع فیوزهای فشار قوی به معرفی فیوز قدرت الکترونیکی، ساختمان، طرز کار و کارآیی آن جهت حفاظت شبکه توزیع پرداخته خواهد شد.

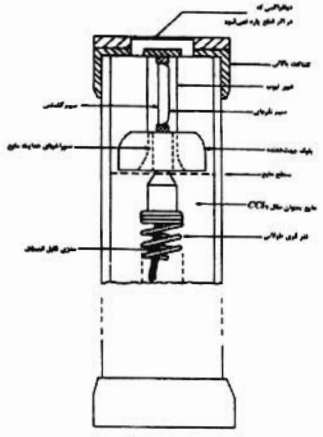
۲- انواع فیوزهای فشار قوی

از ابعاد مختلف میتوان تقسیم بندیهای متفاوتی را قائل شد. از دید ولتاژ بهره برداری فیوزها به دو دسته فشار ضعیف و فشار قوی تقسیم بندی می شوند. در این تقسیم بندی ولتاژ ۱۰۰۰ ولت و کمتر از آن برای فشار ضعیف و بیش از آن برای فیوزهای فشار قوی است. بر اساس سرعت عملکرد نیز فیوزها به سه نوع فیوزهای تندکار، کندکار و فیوزهای تند_کند سوز تقسیم بندی میگردد. در تقسیم بندی دیگری بر اساس نحوه قطع جریان، فیوزها را به دو دسته فیوزهای محدود کننده جریان و فیوزهای معمولی تقسیم بندی میکنند. همچنین با توجه نوع فیوز و محفظه ای که المان فیوز در آن قرار دارد تقسیم بندیهای دیگری برای فیوزهای فشار قوی مطرح می گردد، از جمله می توان به فیوزهای کات اوت که بصورت گسترده ای در شبکه فشار متوسط بکار می روند، اشاره کرد. نوع دیگر فیوز فشار قوی انفجاری است. در نوع دیگری از فیوزها المان قطع کننده در محفظه ای که از روغن و یا عایق مایع پر شده است قرار دارد. این فیوزها را بترتیب کات اوت فیوز روغنی و فیوز فشار قوی با عایق مایع می نامند. در شکلهای ۱ تا ۳ بترتیب سه نوع فیوز کات اوت، فیوز قدرت الکترونیکی و فیوز با عایق مایع نشان داده شده است. در ادامه به معرفی فیوز فشار قوی الکترونیکی پرداخته خواهد شد.(۱)



شکل ۱ فیوز کات اوت

شکل ۲ یک نوع فیوز قدرت الکترونیکی

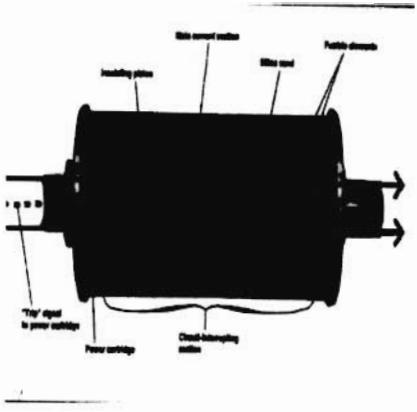


شکل ۳ فیوز فشار قوی با عایق مایع

۳- معرفی کلی فیوز فشار قوی الکترونیکی :

تجهیز حفاظتی جدیدی به نام فیوز الکترونیکی تشخیص خطا و یا فیوز قدرت الکترونیکی طراحی شده است که شامل طرحی جدید با مزیت‌هایی فنی و اقتصادی قابل توجهی است. این نوع فیوز برای تجهیزاتی‌که تاکنون حفاظت مناسبی برای‌آنها وجود نداشته است می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

ساختمان فیوز الکترونیکی موردنظر شامل دو قسمت مجزا می‌باشد. یکی بخش‌کنترل‌کننده الکترونیکی‌که متضمن مشخصهٔ زمان- جریان فیوز و تامین‌کننده انرژی لازم جهت آغاز عملیات قطع می‌باشد و قسمت دیگر بخش قطع‌که وظیفهٔ آن عبورجریان در حالت عادی و قطع جریان به محض وقوع خطا است. این دو بخش درکنار یکدیگر قرار گرفته ویک فیوز الکترونیکی با قابلیت‌های خاص خود را تشکیل را می‌دهند. (۲و۳)



شکل٤ - یک فیوز الکترونیکی با دو بخش کنترل و قطع‌کننده که این بخش قابل‌تعویض است.

این نوع فیوزها درولتاژهای **۱۵الی ۲۵** کیلوولت و با جریان مداوم۶۰۰ آمپر وجریان قطع۴۰ کیلو آمپر برای اتصال کوتاه متقارن ساخته می‌شوند. حداقل جریان قطع این نوع فیوزها ۴۰۰ آمپر می‌باشد و به جریانهای کمتر از این مقدارجریان بخش کنترل پاسخی نمی‌دهد.

٤- اجزای فیوز قدرت الکترونیکی : این فیوز از دو بخش اصلی، مدول‌های قطع وکنترل تشکیل شده است.

٤-۱- بخش قطع‌کننده :

بخش قطع‌کننده شامل دو قسمت می‌باشد. قسمت اصلی‌که جریان را درحالت عادی هدایت می‌کند و درموقع عمل‌کردن فیوز با سرعت جدا شده و عبور جریان را به قسمت دیگرکه قسمت قطع نام دارد منتقل می‌کند. این دو قسمت بصورت موازی با یکدیگر بوده و جهت‌کاهش اندازه و وزن بصورت هم محور درکنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

شکل۵- بخش‌قطع‌کننده ازدو بخش که بصورت الکتریکی موازی هم محوربخاطر کاهش حجم فیوز تشکیل‌شده‌است.

قسمت دوم یا فرعی که جداسازی قسمت اصلی حامل جریان را بوسیله گاز ایجادشده توسط کپسول ایجادکنندهٔ گاز با سرعت بالا پس دریافت سیگنالی از بخش‌کنترل کننده انجام می‌دهد.

٤-١-١- المان قطع :

المان قطع فیوز قدرت الکترونیکی همچون فیوزهای معمولی شامل رشته سیمی است که درشن مخصوص قرار دارد، با این تفاوت که وظیفهٔ این سیم برخلاف سیم های فیوزهای عادی فقط وظیفه سوم از سه نقش زیر را به عهده دارد :

الف- عبورجریان در حالت عادی

ب- تعیین مشخصه زمان-جریان فیوز

ج- قطع جریان در حالت وقوع خطا

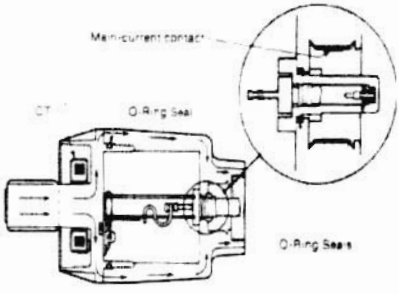
در فیوزهای مرسوم،المان قطع ازآلیاژهای نقره ساخته می‌شود که جهت برآورده‌کردن دوشاخص اول از سه شاخص فوق، با دقت بالا و مخصوص جریان موردنظر ساخته می‌شوند. اما ازآنجاکه در فیوزهای الکترونیکی جدید، المان قطع دو وظیفهٔ اول را بر عهده ندارد می‌تواند از جنس مس ساخته شود و برای هر نوع جنس خاصی از المان مطرح نباشد. لذا در هزینه‌ها صرفه‌جویی قابل توجهی ایجاد می شود.

٤-١-٢- نحوه عملکرد بخش قطع‌کننده :

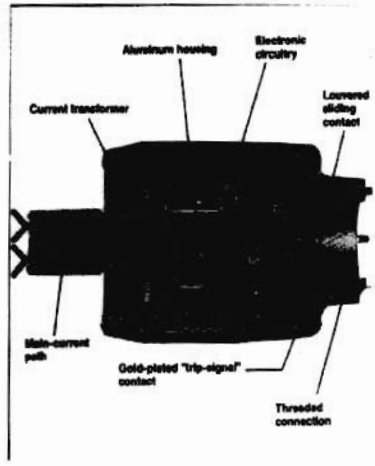
در زمان وقوع خطا بخش کنترل سیگنالی به قسمت قابل انفجارمی‌فرستدکه این سیگنال باعث آزادشدن گاز می‌شود. این مولد، گازی با فشارکافی جهت عملیات مورد نظر در بخش قطع ایجاد می‌کند. فشار گاز مذکور بر روی میلهٔ کوچک پلی اتیلنی اثر کرده و آنرا همانند پیستونی حرکت می‌دهد. این پیستون متحرک مسیر اصلی جریان را جدا کرده وکل جریان را به نوار مسی که سریعا" ذوب می‌شود هدایت و باعث قطع فیوز می‌گردد.

٤-٢- بخش کنترل :

برخلاف بخش قطع، بخش کنترل پس ا ز وقوع خطا مجددا" قابل استفاده است. بخش کنترل به راحتی از بخش قطع جدا می‌شود و قطع‌کننده جدید بدآن متصل می گردد. اتصال جریان بین دو بخش کنترل و قطع از طریق یک برش دایره‌ای شکل که در شکل۵ قابل مشاهده است ایجاد میگردد.سطح مقطع نشان داده شده در شکل‌های۶ و ۷ مسیر عبور جریان و همچنین مدار داخلی بخش کنترل کننده را نمایش می‌دهد.



شکل ۶ دیاگرام سطح مقطع بخش کنترل

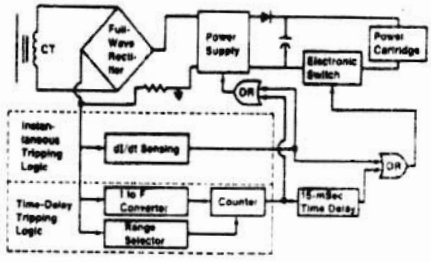


شکل ۷ مدار داخلی بخش کنترل کننده

در بخش کنترل جریان از زائدهٔ انتهایی عبورکرده سپس از حلقهٔ ترانسفورماتور جریان که دور محفظهٔ آلومینیومی جاگرفته است گذشته و به قسمت قطع‌می‌رسد. جریان اندازه‌گیری شده توسط ترانسفورماتور جریان به قسمت الکترونیکی بخش کنترل هدایت می‌شود. این قسمت الکترونیکی جهت حفاظت در مقابل هرگونه میدان الکترومغناطیسی خصوصا" برای محیط‌های صنعتی در یک قفس فارادهٔ قرار داده شده است. برای محافظت برد الکترونیکی در برابر جریان‌های زیاد، ترانسفورماتور جریان بگونه‌ای طراحی شده است که در جریان مشخصی به اشباع می‌رود.

٤-۲-۱- نحوهٔ عملکرد بخش کنترل :

بلوک دیاگرام بخش کنترل در شکل ۸ نمایش داده شده است. همانطورکه قبلا" اشاره شد ترانسفورماتور جریان، پل یکسوساز تمام موج بخش کنترل را تغذیه می‌کند. خروجی این پل یکسوکننده ورودی منبع تغذیه‌ای تثبیت شده ای می باشدکه این منبع تغذیه توان لازم جهت مدار منطقی برد الکترونیکی و همچنین توان لازم برای انفجار چاشنی را فراهم می‌نماید. همچنین یکسوساز سیگنالی برای مدار منطقی ایجاد می‌کند که متناسب با جریان خطا بوده و از آن برای مشخص‌کردن زمان قطع استفاده می شود.



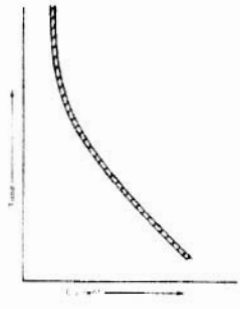
شکل ۸ بلوک دیاگرام بخش کنترل

دو نوع مدار منطقی دربخش کنترل بکار رفته است، یکی با مشخصهٔ قطع لحظه‌ای و دیگری با مشخصه قطع تاخیری. این دو مدار می‌توانند بصورت جداگانه یاهمراه با هم استفاده شوند تامشخصه‌های زمان - جریان متفاوتی ایجاد کنند. در حالت ترکیبی ابتدا مدار قطع لحظه‌ای وپس از آن مدار قطع تاخیری بررسی می شود. مدارمنطقی قطع لحظه‌ای همانگونه‌که در شکل ۸ نشان داده شده‌است میزان تغییرات جریان $\frac{dI}{dt}$ برحسب زمان را اندازه‌گیری می‌کند. برخلاف روش اندازه‌گیری، اندازهٔ جریان این روش خطای‌کمتری دارد. همچنین‌درمواردی‌که جریان خطا نامتقارن یا مقدارآن فوق‌العاده زیاد باشد مدار قطع لحظه‌ای اجازهٔ عبورمقدار زیاد انرژی به سمت بخش قطع را نخواهد داد، بنابراین اندازه و وزن بخش قطع‌کننده کاهش یافته و صرفه‌جویی در هزینه را بوجود می آورد.

٤-٢-٢-مدار منطقی قطع با تاخیر زمانی :

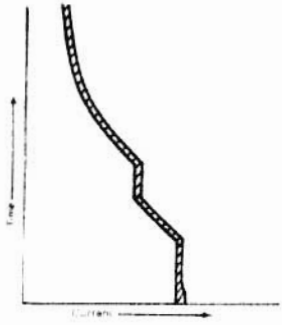
در این مدار از یک مبدل جریان به فرکانس و یک شمارنده برای تولید یک منحنی زمان - جریان مشابه آنچه که یک فیوز مرسوم تجارتی باید داشته باشد استفاده می‌شود. وقتیکه جریان از یک مقدارمینیموم بیشترشد، مبدل یک سری پالس هایی به سمت شمارندهٔ رقومی می فرستد که نسبت مستقیمی با جریان خطا دارد. وقتی که شمارنده به رقم از پیش انتخاب شده‌ای رسید، سیگنالی به منبع تغذیه ارسال ویک خازن ذخیره‌کنندهٔ انرژی را شارژ می‌کند و پس از ۱۵ میلی ثانیه‌کلید الکترونیکی شکل ۸ بسته شده و فشنگ چاشنی مربوط به تولید گاز آتش می‌شود.۱۵میلی ثانیه تاخیر جهت حصول اطمینان از شارژ شدن خازن وکسب انرژی لازم جهت روشن کردن فشنگ می‌باشد.

در جریان‌های خطای پائین منحنی مشخصه زمان - جریان چنین فیوزی درشکل۹ آمده است. می‌توان با تنظیم قسمت انتخاب‌کنندهٔ محدوده درمدارکنترل که در شکل ۸ نشان داده شده، محدوده‌های متفاوت منحنی مشخصه زمان- جریان فیوز را ایجاد نمود.



شکل ۹- منحنی مشخصه زمان - جریان فیوز تاخیری

بعلاوه میتوان با ترکیب مشخصه قطع لحظه‌ای با مشخصه قطع تاخیری(تلفیق دو مدار) منحنی زمان - جریانی نظیر شکل۱۰ ایجادکرد. نتیجهٔ انعطاف‌پذیری ذاتی دربخش‌کنترل دسترسی به‌محدوده وسیعی ازمشخصه زمان- جریان قطع جهت انطباق برای‌کاربردهای متنوع خواهد بود. لازم به تذکر ا..ت‌که مشخصه زمان- جریان گویای این مطلب است که جریان‌های زیر ٤۰۰ آمپر به هیچ عنوان مدارکنترل را جهت قطع تحریک نخواهد کرد.



شکل ۱۰- منحنی مشخصه زمان- جریان فیوز با قطع لحظه‌ای با قابلیت انتخاب محدوده

مدارهای منطقی در بخش‌کنترل بگونه‌ای طراحی شده‌اندکه در مقابل نویز، هارمونیک‌ها وجریان‌های هجومی ازخود عملکرد اشتباه نشان ندهند.

همچنی‌ن امواج سیار ناشی ازصاعقه، شارژکابل، بانک های خازنی مدارقطع لحظه‌ای را فعال نخواهدکرد، چراکه تنظیم $\frac{dI}{dt}$ بگونه ای است‌که می‌بایست مقدار موردنظر برای یک پریودکه معادل صدها میکروثانیه است از مقدار معینی بیشتر باشد.

در پاسخ به امواج سیار میرا نیز مدار قطع لحظه‌ای به دلیل لزوم وجود یک حداقل اندازه جریان که از مقدار جریان حالت دائمی بیشتر باشد، مدار قطع لحظه‌ای بخش کنترل تحریک نشده وفرمان قطع صادر نمی‌کند.

در موردمدار قسمت قطع تاخیری نیز جهت جلوگیری از عملکرد در مقابل امواج سیار میرا یا جریان‌های هارمونیکی

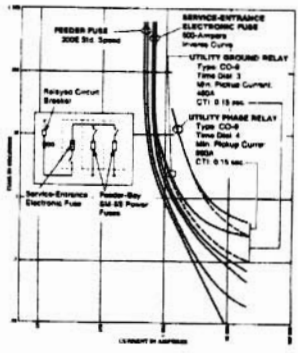
قبل از تغذیه مبدل جریان به فرکانس جریان از یک فیلتر پائین گذر عبور می‌کند. پاسخ قسمت تاخیری بخش کنترل براساس متوسط اندازه جریان خطا در فرکانس خاصی خواهد بود.

۵-کاربردهای فیوز قدرت الکترونیکی :

انعطاف‌پذیری مشخصه عملکرد فیوز قدرت الکترونیکی سبب شده‌تا این فیوز برای زمینه‌های متفاوت‌کاربرد داشته باشد. نخستین کاربرد آن برای فیوز ورودی به کارخانه یا تاسیسات می‌باشد. تا قبل از به بازار آمدن این نوع فیوز برای حفاظت فیدرها نیاز به‌تجهیزات حفاظتی‌گرانقیمتی وجود داشت. دومین کاربرد، حفاظت از ترانس‌های قدرت می‌باشد و بالاخره سومین کاربرد استفاده‌از این نوع فیوز به عنوان حفاظت پشتیبان برای سایر فیوزها درسیستم توزیع زیرزمینی می‌باشد.

محدودهٔ وسیع تغییرات در شکل مشخصه زمان- جریان این نوع فیوز را قادر به حل مشکل هماهنگی سری رله‌ها می‌کند. اگرچه در بسیاری ازمواردحفاظت اصلی فیدر ورودی به یک‌کلید قدرت سپرده می‌شود، لیکن این کلیدگرانقیمت و امکان هماهنگی آن با دیگر رله‌های اضافه جریان وکلیدهای مشابه با آن محدوده متنوع ازجریانهای خطاکاری غیرممکن است. مشکل اساسی در اینجاست که مقدار خطای مشخصه زمان - جریان ارائه شده برای کلیدهای قدرت از یک کلید تا کلید دیگر متفاوت بوده و عملا" جهت هماهنگی این کلیدها روش مناسبی در دست نیست.

فیوزهای الکترونیکی با منحنی معکوس‌جهت‌حفاظت فیدرهای‌ورودی تاسیسات بسیارمناسبند چراکه آنها می‌توانند به‌راحتی با رلهٔ اضافهٔ جریان فاز، رلهٔ اضافه جریان زمین در تمامی محدوده‌های جریان خطا همانگونه که در شکل ۱۱ نمایش داده شده است هماهنگ شوند.



شکل ۱۱- ایجاد هماهنگی‌کامل فیوز الکترونیکی با ترانسفورماتور اولیه سمت‌بار با حفاظت منبع‌تغذیه در بخش ورودی

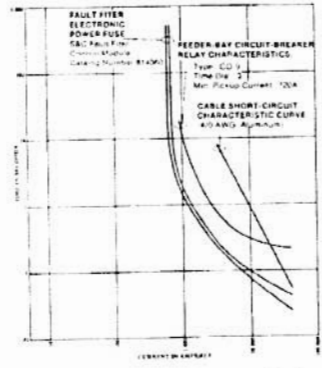
ازآنجاکه درجریان‌های بسیار بالا فیوزهای الکترونیکی به خوبی وبصورت لحظه‌ای عمل می‌کنند ، درصورت افزایش بارهای الکتریکی‌درتاسیسات و نهایتا" اضافه شدن سطح اتصال کوتاه احتیاجی به تعویض‌کلید با قدرت قطع بیشتر و هزینه‌های بالاتر نخواهدبود و ازطرف دیگر به دلیل عمل نکردن فیوز الکترونیکی درجریان‌های پائین وقوع خطاهای داخلی سبب قطع کل بار نیز نمی‌شود.

۵-۱- حفاظت فیدر :

کاربرد دیگرفیوز الکترونیکی استفاده از آن برای حفاظت فیدرهاست. فیوزهای قدرت الکترونیکی مجهز به بخش کنترل از نوع منحنی مشخصه معکوس مناسب‌ترین وسیله جهت حفاظت فیدر و هماهنگی در پست‌های مراکز صنعتی - تجاری می‌باشند. چراکه محدوده وسیعی از جریان، از۶۰۰ آمپر به عنوان جریان مداوم بارگرفته تا جریان اتصال کوتاه ٤٠ کیلو آمپرکه باید دستور قطع آن را صادرکند را در بر می‌گیرند و مهمتر ا ز آن منحنی مشخصه زمان - جریان منحصربفرد آن است که جهت هماهنگی با حفاظت طرف بار بکار می‌رود. (۴)

۵-۱-۱- مزیت حفاظت فیدرها توسط فیوزهای الکترونیکی نسبت به کلید قدرت :

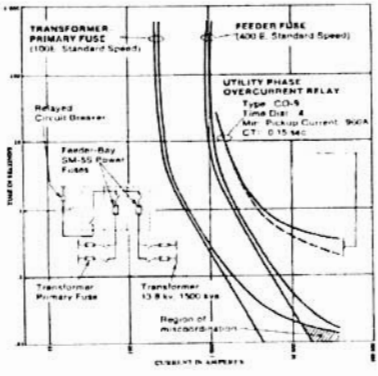
هرچندکلیدهای قدرت جهت حفاظت از فیدرهای بار بکار رفته اند ، ولی درشرایط حاضر به ندرت از چنین تجهیزات پر هزینه‌ای استفاده می‌شود. برای مثال یک کلید کوچک با جریان نامی ۱۲۰۰ آمپر ظرفیت اسمی‌اش به مراتب بیشتر از یک کابل با ظرفیت بالا می‌باشد. مثلا" کابل آلمینیومی سه هسته‌ای با سطح مقطع **Kcmil** ۱۰۰۰ تحت ولتاژ۵ تا ۳۶ کیلو ولت حداکثر ٦٦٥ آمپر می‌تواند ازخود عبور دهد. بنابراین حتی اگر کوچکترین نوع یک کلید قدرت برای چنین منظوری استفاده شود، نه تنها ازظرفیت اسمی آن استفاده نشده بلکه حتی برای جریان‌هایی بیشتر ازجریان قابل‌تحمل‌کابل، بار را قطع نخواهد کرد. همانطورکه در شکل ۱۲ نشان داده شده است، یک کلید همواره نمی‌تواند حفاظت مناسبی برای‌کابل باشد. همچنین مشاهده می‌شود کلید قدرت همراه با منحنی مشخصه خیلی معکوس تنها در جریان ۱۷۰۰۰ آمپر به پائین قادر به صدور فرمان قطع خواهد بود. حال آنکه حفاظت فیوز الکترونیکی تا جریان ٤۰۰۰۰ آمپر قادر به صدور فرمان قطع می‌باشد.



شکل ۱۲- حفاظت از کابل با در نظر گرفتن عملکرد کلید

۵-۱-۲- مزیت حفاظت فیدر توسط فیوزهای الکترونیکی نسبت به فیوزهای محدودکنندهٔجریان :

برای حفاظت پشتیبان ترانسفورماتور، در بسیاری از موارد از فیوزهای قدرت استفاده شده است. همانطورکه درشکل ۱۳ نمایش داده شده، این نوع فیوزها نمی‌توانند بصورت کامل با فیوز طرف اول ترانسفورماتورها هماهنگ باشند (ناحیهٔ هاشور زده شده) در شکل مشاهده می‌شود یک فیوز٤۰۰ آمپر سریع یک فیدر نمی‌تواند با یک فیوز ۱۰۰ آمپر سریع ترانسفورماتور، در جریان هایی بیشتر از ۱۳۰۰ آمپر هماهنگ شود.



شکل ۱۳- عدم هماهنگی مناسب بین سیستم حفاظتی اضافه‌جریان فیدر و فیوز ترانسفورماتور

فیوزهای محدود کنندهٔ جریان نیز به ندرت جهت حفاظت فیدر استفاده می‌شوند، چرا که میزان بار به گونه ایست که می‌بایست چندنوع از این فیوزها درکناریکدیگر استفاده شوند و این‌نحوهٔ بهره‌برداری، فضای مورد استفاده جهت تجهیزات حفاظت را افزایش می‌دهد.

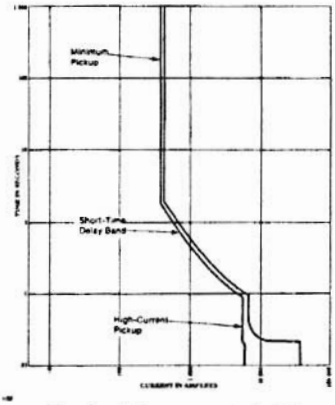
۵-۲- حفاظت ترانسفورماتور :

قابلیت ترکیبی منحنی تاخیر زمانی و منحنی لحظه‌ای یک فیوز الکترونیکی اجازهٔ انتخاب یک تجهیز حفاظتی در طرف اولیه برای ترانسفورماتورهای بزرگتر را با هماهنگی بسیار عالی با تجهیزات طرف ثانویه می‌دهد. جدول الیستی از ترانسهای **Dyo** را ارائه می‌دهدکه می‌توانند بوسیله یک فیوز الکترونیکی حفاظت شوند; علاوه بر این قابلیت قطع جریان موثری معادل ۴۰۰۰۰ آمپر جهت حفاظت از یک ترانسفورماتور با جریان خطای بسیار زیاد طرف اولیه‌کفایت می‌کند. در این حالت جریان بار ترانسفورماتور می تواند تا ۶۰۰ آمپر برسد.(۵)

جدول ۱- مقادیر نامی فیوزتشخیص خطا

مقادیر نامی ولتاژ خطا تشخیصی (KV)		فیوز محدوده توان ترانسفورماتورهای قابل حفاظت با فیوز تشخیص خطا (KVA)
نامی	حداکثر	
۴/۱۶	۵/۵	۷۵۰ تا ۳۷۵۰
۱۳/۸	۱۷	۲۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰
۲۵	۲۹	۳۷۵۰ تا ۲۵۰۰۰

منحنی مشخصه زمان- جریان یک چنین فیوزی که بخش کنترل آن بصورت ترکیبی طراحی شده است برای ارائه یک حفاظت بهینه و هماهنگی قابل قبول با کلید اصلی ثانویه ترانسفورماتور، منحنی مشخصه بخش‌کنترل برای سه ناحیهٔ کاری طراحی شده است. (شکل ۱۴)



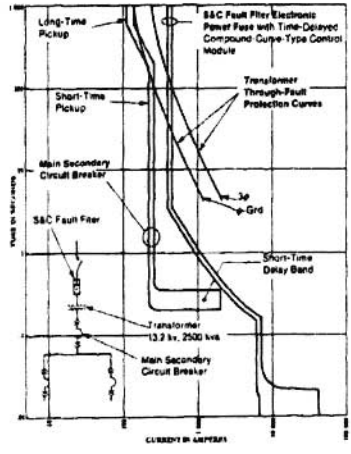
شکل ۱۴- منحنی مشخصهٔ عملکرد نوعی فیلترتشخیص خطا که در دو ناحیه بصورت تاخیری و بصورت بلادرنگ تنظیم شده است.

قسمت اول منحنی حداقل جریان اندازه‌گیری شده توسط بخش کنترل است. در این قسمت هیچ فرمان قطعی صادر نمی‌شود. محدودهٔ تغییرات این ناحیه می تواند ا ز۶۰۰ تا ۱۱۰۰ آمپر باشد.

حسن وجود چنین محدودهٔ تغیراتی امکان هماهنگی با کلید ثانویه ترانسفورماتور برای جریان‌بار را ایجاد می‌کند. قسمت منحنی تغییرات ناحیه تاخیر زمانی کوتاه با یک مشخصه معکوس زمانی می‌باشد. مشخصهٔ این ناحیه نیز کاملا" منطبق بر خواست سیستم حفاظتی جهت هماهنگی با منحنی تاخیر زمانی کلید ثانویهٔ ترانسفورماتوراست ونهایتا" ناحیه سوم که کوچکترین قسمت نیز می‌باشد. در این قسمت بخش کنترل با اندازه‌گیری جریان بسیار زیاد، به سرعت از خود پاسخ نشان داده و بلافاصله دستور قطع صادر می‌کند مقدار جریان جهت دستور قطع فوری می تواند از تا آمپر متغیر باشد.

شکل ۱۵ یک مثال عملی را نشان می‌دهد. در این مورد یک ترانسفورماتور **KVA** ۲۵۰۰ ، با اتصال **DYO** ولتاژ نامی **KV** ۱۳/۲/۰/۴۸در ثانویه به کلیدی متصل

شده است که در۱۱۰٪ جریان نامی می‌بایست‌عمل‌کند. با فیوزهای معمولی هماهنگی حفاظت اولیه و ثانویه بسیار مشکل خواهد بود، لیکن همانطورکه در شکل پیداست حفاظت‌های اولیه و ثانویه با توجه به انعطاف‌پذیری مشخصه زمان- جریان بخش کنترل، به راحتی صورت می‌گیرد.



شکل ۱۵- حفاظت ترانسفورماتور با فیلتر تشخیص خطا

شکل۱۵ نشان می‌دهدکه حفاظت فیوز الکترونیکی درطرف اولیه در ٤ برابر جریان نامی برای طرف ثانویه عمل می‌کند و این یک پشتیبان مناسب برای حفاظت طرف ثانویه ترانسفورماتور می‌باشد.

۵-۳-حفاظت سیستم توزیع زیرزمینی :

ترانسفورماتور زمینی در سیستم توزیع زیرزمینی اغلب با فیوزهای رشته‌ای برای حفاظت در مقابل خطای داخلی عجین شده‌اند. بخاطر محدودیت ظرفیت قطع چنین فیوزهایی و بخاطر خطاهای بالقوه ای که بخاطر وجود مفصلها در کابل که بعضا" منجر به خطای تک فاز یا سه فاز به زمین می شوند، جهت حفاظت ترانسفورماتور از تجهیزات گرانقیمت، تری استفاده می‌شود.(۶) استفاده از فیوزهای الکترونیکی بهترین راه حل برای این مشکل است، ضمن اینکه این فیوز درمقابل‌جریان هجومی ترانس، جریان شارژ خط عکس العمل مناسب نشان می‌دهد.

٦) جمع بندی

فیوز قدرت الکترونی‌کی ی‌کی از انواع جدی‌د فی‌وزهای فشار قوی است که در سای‌ر کشورها استفاده شده اما در کشور ما به کار نرفته است. در تقسیم بندی تجهیزات حفاظتی با توجه به قابلیت های آن دارای توانایی بیشتر از یک فیوز فشار قوی معمولی (کات اوت و انفجاری) و در برخی موارد کمتر از انواع رله های حفاظتی است. وجود دو بخش کنترل کننده و قطع کننده در فیوز امکان تغییر منحنی مشخصه فیوز و امکان هماهنگی آن با سایر تجهیزات حفاظتی را فراهم می کند. از سوی دیگر با بررسی شبکه فشار متوسط ایران که در آن انشعابهای فرعی متعددی وجود دارد جهت حفاظت از این انشعابها در ابتدای آنها معمولاً از کات اوت فیوز استفاده شده است. همچنین وجود کلیدهای وصل مجدد در ابتدای خروجی فیدرهای ۶۳/۲۰ کیلو ولت که در اغلب موارد بخاطر محدودیتهای بهره برداری از مدار خارج شده اند و نیز وجود خطاهای آمپدانس بالا در سیستم که توسط فیوزهای مرسوم به هیچ وجه قابل تشخیص نیستند، استفاده از فیوز قدرت الکترونیکی را با توجه به حساسیت آن نسبت به تغییرات جریان در واحد زمان، بعنوان یک راه حل مناسب و بینابینی جهت ملحوظ کردن موارد فوق مطرح می کند . [۶]

۷-قدردانی

این مقاله با استفاده از نتایج گزارش مرحله شناخت پروژه تدوین استاندارد فیوزهای فشار قوی تهیه شده است. مولفان

مقاله بدینوسیله از همکاری و مساعدت دفتر استانداردهای توانیر تشکر می نمایند.

۸- مراجع

[1]کوهساری،شهرام،فیوزهای الکتریکی،انتشارات محتشم،۱۳۷۶.

[2] -J.C.GORMAN, "Electronic Fuse ProvidesImproved Coordination on Medium Voltage Distribution System" , EEI Transmission and Distribution committe meeting, Washington DC,1998.

[3] S&C "Fault Filter Electronic Power Fuses ", Document NO.441, 1991.

[4] S&C, "Application Guide for Feeder Protection and Coordination" Document NO.441-460,1990.

[5] S&C, "Application Guide for Transformer Protection " Document NO.441-470,1990.

[6] S&C , "Application Guide for Underground Subloop Protection and Coordination " Document NO.441-480,1990.