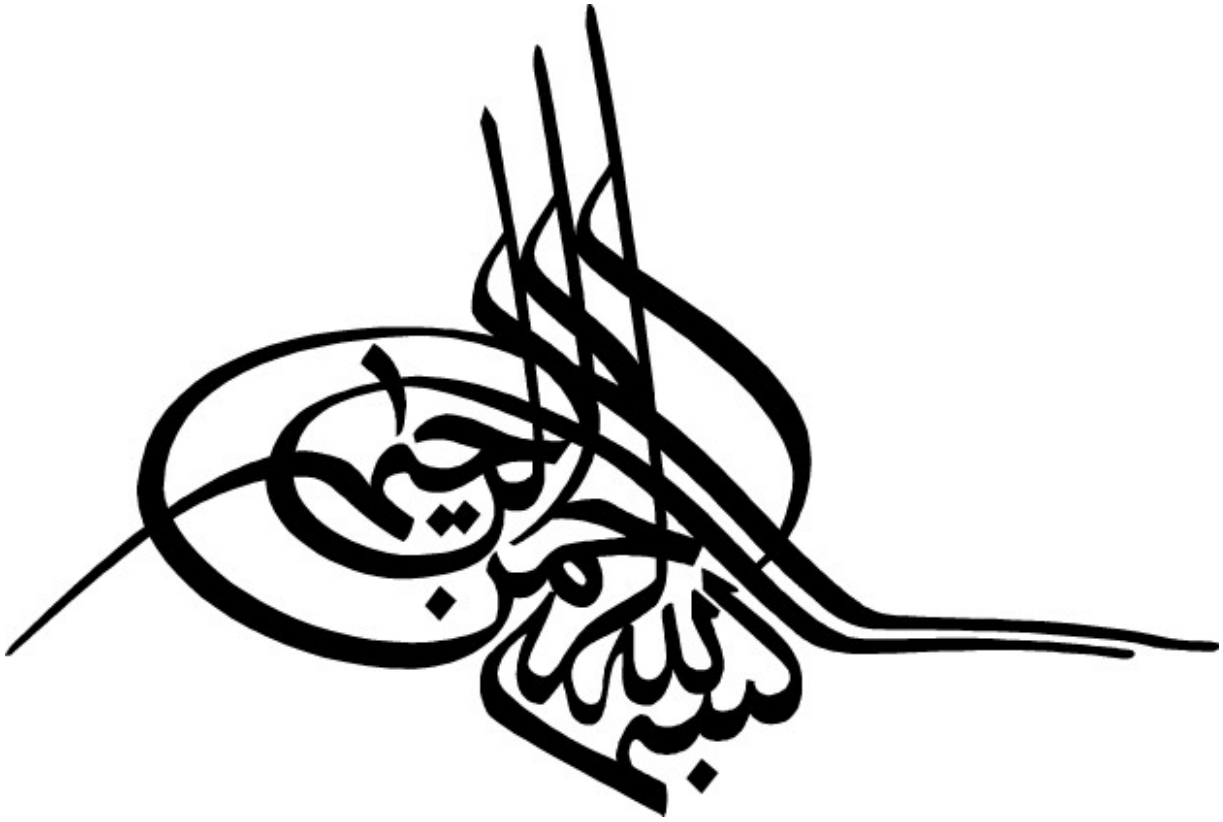

بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

هماهنگی بهینه تجهیزات حفاظتی شبکه‌های توزیع

استاد راهنما:

آقای دکتر فرزاد رضوی

دانشجو:

تقی ابراهیمی

۱۳۸۹

تقدیم به پدر و مادر فداکارم

خواهران و برادر عزیزم

قدردانی

اینک که به یاری خداوند متعال پایان‌نامه‌ام به پایان رسیده است به حکم وظیفه از استاد محترم جناب آقای دکتر رضوی بخاطر راهنماییهای ارزنده ایشان در تمام مراحل انجام این پایان نامه، سپاسگذاری می‌نمایم و توفیق روزافزون ایشان را از درگاه ایزد منان خواستارم.

همچنین از اساتید محترم داور جناب آقای دکتر عسکریان ابیانه و جناب آقای دکتر فتاحی به جهت قبول زحمت داوری پایان‌نامه کمال تشکر را دارم. در پایان از دوست عزیزم آقای مهندس محمود سرلک که در طی انجام پروژه با بنده همکاری زیادی داشتند و همچنین از خانواده گرامی‌ام به خاطر کلیه زحمات و تشویق‌هایشان تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

هدف از انجام این پروژه، هماهنگی بهینه تجهیزات شبکه‌های توزیع است که با استفاده از دو نرم‌افزار Matlab و DIgSILENT انجام گرفته است. پیاده‌سازی برنامه هماهنگی در نرم‌افزار DIgSILENT و بهینه‌سازی نتایج هماهنگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک نرم‌افزار Matlab انجام گرفته است. تفاوت این برنامه هماهنگی با برنامه‌های موجود اینست که این برنامه دارای انعطاف زیادی است و قابلیت استفاده از انواع منحنی‌های مشخصه برای رله‌ها و وصل‌کننده‌های مجدد را دارد و همچنین می‌توان از رنج‌های دلخواه برای فیوزها بهره برد. ضمن اینکه در صورت نیاز می‌توان نوع خاصی از رله یا فیوز را نیز تعریف کرد. قابلیت دیگر این برنامه است که می‌توان بهترین نتایج بدست آمده را به شبکه اعمال و سپس درستی عملکرد تجهیزات حفاظتی را بصورت دینامیکی ارزیابی کرد. این ارزیابی شامل ارزیابی عملکرد صحیح رله، فیوز، وصل‌کننده مجدد با فیوز و همچنین وصل‌کننده مجدد با سکشنالایزر است. نکته قابل ذکر این است که هماهنگی سکشنالایزر با وصل‌کننده مجدد تاکنون در هیچ برنامه‌ای در نظر گرفته نشده است.

بطور کلی الگوریتم هماهنگی نوشته شده بصورتی است که همه تجهیزات شامل رله، فیوز و وصل‌کننده مجدد به نحوی مناسب و بهینه تنظیم و هماهنگ می‌شوند.

در انتها برنامه هماهنگی بر روی سه شبکه نمونه اجرا و نتایج آن ارائه شده است. البته قابل ذکر است که این برنامه را می‌توان برای هماهنگی تجهیزات شبکه‌های واقعی هم استفاده کرد.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک(Genetic Algorithm)، رله‌جریان‌زیاد(Overcurrent Relay)، فیوز(Fuse)، هماهنگی (Coordination)، وصل‌کننده مجدد(Recloser)، ارزیابی(Assesment).

فهرست مطالب

۱-مقدمه ۱
۱-۱- اهمیت حفاظت شبکه‌های توزیع ۲
۱-۲- تجهیزات شبکه‌های توزیع ۳
۱-۲-۱- فیوزهای فشار قوی ۴
۱-۲-۲- رله جریان زیاد ۵
۱-۲-۲-۱- رله‌های با منحنی مشخصه کاهشی ۵
۱-۲-۲-۲- ترکیب منحنی‌های زمان ثابت و زمان کاهشی ۵
۱-۲-۳-کلیدهای وصل مجدد(وصل مجدد) ۶
۱-۲-۴-کلیدهای قدرت(کلید با قابلیت قطع زیر بار) ۸
۱-۲-۵-کلیدهای مجزاکننده اتوماتیک خط (سکشنالایزرها) ۸
۱-۳- بررسی کارهای انجام شده در زمینه هماهنگی تجهیزات سیستم‌های توزیع ۸
۱-۴- شرح کلی فعالیت‌های انجام شده در این پایان‌نامه ۱۳
۱-۵- فصل‌بندی پایان‌نامه ۱۳
۲- شرح مسئله ۱۵
۲-۱- مقدمه ۱۶
۲-۲- قواعد هماهنگی تجهیزات حفاظتی در شبکه‌های توزیع ۱۶
۲-۲-۱- هماهنگی فیوز – فیوز ۱۶
۲-۲-۲- هماهنگی وصل‌کننده مجدد - فیوز ۱۶
۲-۲-۳- هماهنگی بین رله و فیوز ۱۷
۲-۲-۴- هماهنگی وصل‌کننده مجدد- وصل‌کننده مجدد ۱۷
۲-۲-۵- هماهنگی رله- وصل‌کننده مجدد ۱۷
۲-۲-۶- هماهنگی وصل‌کننده مجدد- سکشنالایزر ۱۷
۲-۲-۷- هماهنگی رله – رله ۱۸
۲-۳- جفت جریانهای لازم در انجام عمل هماهنگی عناصر جریان زیاد ۱۸
۲-۴- هماهنگی رله‌های شبکه‌های توزیع با استفاده از تکنیک بهینه سازی ۲۱
۲-۴-۱-کدگذاری متغیرها ۲۲
۲-۴-۲- تابع هدف الگوریتم هماهنگی ۲۲
۲-۴-۳- تعمیم روش هماهنگی بهینه برای سایر تجهیزات هماهنگی ۲۴
۲-۵- شرح مشکل ۲۶
۲-۶- نتیجه‌گیری ۲۶
۳- روش پیشنهادی جهت حل مشکلات ۲۷
۳-۱- مقدمه ۲۸

۳-۲- استفاده از رله‌های متفاوت با منحنی مشخصه‌های مختلف ۲۸
۳-۳- ارزیابی هماهنگی بین تجهیزات ۲۹
۳-۴- هماهنگی سکشنالایزر با وصل‌کننده مجدد ۲۹
۳-۵- نتیجه‌گیری ۳۰
۴- روند پیاده‌سازی برنامه هماهنگی ۳۱
4-1- مقدمه ۳۲
۴-۲- نرم‌افزارهای مورد استفاده جهت شبیه‌سازی ۳۲
۴-۳- ساختار برنامه‌های هماهنگی ۳۳
۴-۴- محاسبه تنظیم جریانی ۳۸
۴-۵- اطلاعات مورد نیاز جهت هماهنگی تجهیزات ۳۸
۴-۶- شبکه‌های مورد استفاده جهت شبیه‌سازی ۳۹
۴-۶-۱- اطلاعات شبکه نمونه اول ۳۹
۴-۶-۲- اطلاعات شبکه نمونه دوم ۴۱
۴-۶-۳- اطلاعات شبکه نمونه سوم ۴۳
۴-۶-۴- روند انجام شبیه سازی ۴۴
۴-۷- نتیجه‌گیری ۴۵
۵-نتایج شبیه‌سازی و تحلیل آنها ۴۶
۵-۱- مقدمه ۴۷
۵-۲- اعمال برنامه به شبکه نمونه اول ۴۷
۵-۲-۱- اطلاعات مربوط پارامترهای کنترل ژنتیک و ضرایب تابع هدف ۴۷
۵-۲-۲- نتایج ۴۷
۵-۳- اعمال برنامه بر روی شبکه نمونه دوم ۵۵
۵-۳-۱- اطلاعات مربوط پارامترهای کنترل ژنتیک و ضرایب تابع هدف ۵۵
۵-۳-۲- نتایج ۵۶
۵-۴- اعمال برنامه بر روی شبکه نمونه سوم ۶۰
۵-۴-۱- اطلاعات مربوط پارامترهای کنترل ژنتیک و ضرایب تابع هدف ۶۰
۵-۴-۲- نتایج ۶۰
۵-۵- ارزیابی عملکرد تجهیزات ۶۸
۵-۵-۱- ارزیابی عملکرد رله جریان‌زیاد ۶۸
۵-۵-۲- ارزیابی عملکرد فیوز ۷۳
۵-۵-۲-۱- بررسی هماهنگی فیوزها با استفاده از معیار انرژی ۷۸
۵-۵-۳- ارزیابی عملکرد وصل‌کننده مجدد ۷۹
۵-۵-۳-۱- ارزیابی عملکرد وصل‌کننده مجدد و فیوز ۷۹

۵-۵-۳-۲- ارزیابی عملکرد وصل‌کننده مجدد و سکشنالایزر ۸۲
۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۵
۷-مراجع ۸۸

فهرست جداول

جدول۲-۱: مجموعه قیود هماهنگی ۱۹
جدول۴-۱: رنج فیوزهای استفاده شده ۳۹
جدول۴-۲: اطلاعات خطوط ۳۹
جدول۴-۳: اطلاعات ترانسفورماتور ۳۹
جدول۴-۴: اطلاعات ترانسفورماتور ۴۱
جدول۴-۵: اطلاعات خطوط ۴۱
جدول۴-۶: تنظیمات رله و وصل‌کننده‌های مجدد ۴۳
جدول۴-۷: اطلاعات خطوط ۴۴
جدول۴-۸: رله‌های انتخاب شده و تنظیمات مربوط به آنها ۴۴
جدول۵-۱: پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۴۷
جدول ۵-۲: ضرایب تابع هدف ۴۷
جدول ۵-۳: شش جفت اتصال‌کوتاه، زمانهای عملکرد پشتیبان و اصلی و همچنین فاصله زمانی عملکرد برای همه تجهیزات بجز ترکیبات وصل‌کننده‌های مجدد ۴۸
جدول ۵-۴: زمانهای عملکرد پشتیبان و اصلی برای همه تجهیزات مرتبط با وصل‌کننده‌های مجدد ۵۱
جدول ۵-۵: نتایج جریان تنظیمی و تنظیم زمانی رله‌های جریان زیاد ۵۲
جدول ۵-۶: نتایج جریان تنظیمی و تنظیم زمانی وصل‌کننده‌های مجدد ۵۲
جدول ۵-۷: نتایج انتخاب فیوزها ۵۳
جدول۵-۸: پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۵۵
جدول ۵-۹: ضرایب تابع هدف ۵۵
جدول ۵-۱۰: شش جفت اتصال‌کوتاه و فاصله زمانی عملکرد برای همه تجهیزات بجز ترکیبات وصل‌کننده‌های مجدد ۵۷
جدول ۵-۱۱: مقایسه فاصله زمانی‌های عملکرد برای همه تجهیزات مرتبط با وصل‌کننده‌های مجدد ۵۸
جدول ۵-۱۲: نتایج انتخاب فیوزها ۵۹
جدول ۵-۱۳: نتایج جریان تنظیمی و تنظیم زمانی رله‌های جریان زیاد ۵۹
جدول ۵-۱۴: نتایج جریان تنظیمی و تنظیم زمانی وصل‌کننده‌های مجدد ۶۰
جدول۵-۱۵: پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۶۰
جدول ۵-۱۶: ضرایب تابع هدف ۶۰
جدول ۵-۱۷: شش جفت جریان اتصال‌کوتاه، زمانهای عملکرد پشتیبان و اصلی و همچنین فاصله زمانی برای همه تجهیزات بجز ترکیبات وصل‌کننده‌های مجدد ۶۱
جدول ۵-۱۸: زمانهای عملکرد پشتیبان و اصلی برای همه تجهیزات مرتبط با وصل‌کننده‌های مجدد ۶۲

جدول ۵-۱۹: نتایج جریان تنظیمی و تنظیم زمانی رله‌های جریان زیاد ۶۳
جدول ۵-۲۰: نتایج جریان تنظیمی و تنظیم زمانی وصل‌کننده‌های مجدد ۶۳
جدول ۵-۲۱: نتایج انتخاب فیوزها ۶۳
جدول ۵-۲۲: شش جفت جریان اتصال‌کوتاه، زمانهای عملکرد پشتیبان و اصلی و همچنین فاصله زمانی برای همه تجهیزات بجز ترکیبات وصل‌کننده‌های مجدد ۶۵
جدول ۵-۲۳: زمانهای عملکرد پشتیبان و اصلی برای همه تجهیزات مرتبط با وصل‌کننده‌های مجدد ۶۶
جدول ۵-۲۴: نتایج جریان تنظیمی و تنظیم زمانی رله‌های جریان زیاد ۶۷
جدول ۵-۲۵: نتایج جریان تنظیمی و تنظیم زمانی وصل‌کننده‌های مجدد ۶۷
جدول ۵-۲۶: نتایج انتخاب فیوزها ۶۷
جدول۵-۲۷: اطلاعات بدست آمده از ارزیابی رله.....۷۲
جدول۵-۲۸: اطلاعات بدست آمده از ارزیابی عملکرد فیوز ۷۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: منحنیهای حداقل زمان ذوب فیوز و حداکثر زمان رفع خطا ۴
شکل ۱-۲: منحنی‌های جریان – زمان رله‌ها با مشخصه معکوس ۵
شکل ۱-۳: منحنی‌های جریان–زمان ترکیب زمان ثابت و معکوس اشکالات و معایب رله‌های جریان زیاد ۶
شکل ۱-۴: ترتیب عملکرد چهارتایی یک وصل‌کننده مجدد ۷
شکل۱-۵: مشخصه‌های جریان – زمان تأخیری و سریع یک وصل‌کننده مجدد ۷
شکل ۱-۶: چگونگی جستجو در روشهای ریاضی و روشهای هوشمند ۱۲
شکل ۲-۱: شش جفت جریان اتصال‌کوتاه ۲۱
شکل ۲-۲: یک رشته کروموزم شامل تنظیم جریانی و تنظیم زمانی انواع رله‌ها و جریان نامی فیوز ۲۲
شکل ۲-۳: شبکه نمونه ۲۳
شکل ۳-۱: شکل رله‌های موجود در کتابخانه نرم‌افزار ۲۸
شکل۴-۱: محیط DPL در نرم‌افزار DIgSILENT ۳۳
شکل۴-۲: ساختار کلی برنامه‌های نوشته شده جهت برنامه هماهنگی ۳۴
شکل۴-۳: دیاگرام ترتیب عملکرد برنامه هماهنگی ۳۴
شکل ۴-۴: دیاگرام فلوچارت استفاده شده در برنامه هماهنگی ۳۷
شکل۴-۵: شبکه نمونه ۱ ..... ۴۰
شکل۴-۶: شبکه نمونه ۲ ..... ۴۲
شکل۴-۷: شبکه نمونه ۳ ..... ۴۳
شکل۵-۱: هماهنگی فیوز ۳۰۰۱ با فیوز ۳۰۰۲ ..... ۵۳
شکل۵-۲: هماهنگی رله ۱۰۰۱ با رله ۱۰۰۲ ..... ۵۴
شکل۵-۳: هماهنگی رله ۱۰۰۲ با فیوز ۳۰۰۱ ..... ۵۴
شکل۵-۴: هماهنگی وصل‌کننده مجدد ۲۰۰۱ با فیوز ۳۰۰۳ ..... ۵۵
شکل۵-۵: هماهنگی تجهیزات واقع شده در مسیر ۸۰۰۱–۸۰۰۲–۸۰۰۳–۸۰۰۴ ..... ۶۴
شکل۵-۶: هماهنگی تجهیزات واقع شده در مسیر ۸۰۰۱–۸۰۰۲–۸۰۰۶–۸۰۰۷ ..... ۶۴
شکل۵-۷: هماهنگی تجهیزات واقع شده در مسیر ۸۰۰۱–۸۰۰۲–۸۰۰۳–۸۰۰۴ ..... ۶۷
شکل۵-۸: هماهنگی تجهیزات واقع شده در مسیر ۸۰۰۱–۸۰۰۲–۸۰۰۶–۸۰۰۷ ..... ۶۸
شکل۵-۹: تعیین زمان عملکرد رله ۶۹
شکل۵-۱۰: مکان رخ دادن خطا و کلیدی که جریان اتصال‌کوتاه را قطع کرده است ۷۰
شکل۵-۱۱: تغییرات جریان در خط جلوی رله(خط ۸۰۰۲) ۷۰
شکل۵-۱۲: تغییرات جریان در خط ۸۰۰۱ ..... ۷۱
شکل۵-۱۳: تغییرات جریان در خط ۸۰۰۵ ..... ۷۱

شکل۵-۱۴: قطع جریان توسط رله ۱۰۰۱ ..... ۷۲
شکل۵-۱۵: تغییرات جریان در خط ۸۰۰۲..... ۷۳
شکل۵-۱۶: محاسبه زمان عملکرد فیوز براساس حداقل زمان ذوب..... ۷۴
شکل۵-۱۷: محاسبه زمان عملکرد فیوز براساس حداکثر زمان رفع خطا ۷۴
شکل۵-۱۸: رخ دادن خطا در خط ۸۰۰۴ و فیوزی که جریان اتصال‌کوتاه را قطع کرده است ۷۵
شکل۵-۱۹: تغییرات جریان در خط جلوی فیوز ۷۵
شکل۵-۲۰: تغییرات جریان در خط ۸۰۰۲..... ۷۶
شکل۵-۲۱: تغییرات جریان در خط ۸۰۱۰..... ۷۶
شکل۵-۲۲: شکل موج ولتاژ در خط ۸۰۰۴..... ۷۷
شکل۵-۲۳: بزرگنمایی شده قمست دارای خطا ۷۸
شکل۵-۲۴: تغییرات جریان خطا در خط ۸۰۱۰ ..... ۷۸
شکل۵-۲۵: وقوع خطا در خط ۸۰۱۱ و فیوزی که جریان اتصال‌کوتاه را قطع کرده است ۸۰
شکل۵-۲۶: تغییرات جریان خطا در خط جلوی فیوز(خط ۸۰۱۱) ۸۱
شکل۵-۲۷: تغییرات جریان خطا در خط ۸۰۱۲ ..... ۸۱
شکل۵-۲۸: تغییرات جریان خطا در خط ۸۰۱۰ ..... ۸۱
شکل۵-۲۹: مکان رخ دادن خطا و سکشنالایزری که جریان اتصال‌کوتاه را قطع کرده است..... ۸۳
شکل۵-۳۰: جریان خطا در خط جلوی سکشنالایزر(خط ۸۰۰۸) ۸۳
شکل۵-۳۱: تغییرات جریان خطا در خط ۸۰۰۵ ..... ۸۴
شکل۵-۳۲: تغییرات جریان خطا در خط ۸۰۰۲ ..... ۸۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- اهمیت حفاظت شبکه‌های توزیع

با توجه به نزدیکی شبکه‌های توزیع به مصرف‌کننده‌ها و همچنین با توجه به اینکه عمده خطاهای سیستم قدرت در این شبکه‌ها اتفاق می‌افتد حفاظت از آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هر چند این شبکه‌ها با ولتاژ بالایی سروکار ندارند اما به دلیل ساختار، تنوع و تعدد تجهیزات به کار رفته در آنها، این شبکه‌ها بیشترین سهم را در کاهش قابلیت اطمینان سیستم قدرت به خود اختصاص داده‌اند. آمارها و بررسی‌ها نشان می‌دهد تقریباً ۷۰٪ خاموشی‌های مشترکین به سیستم توزیع مربوط می‌شود.

با وقوع هر خطا، تعدادی از بارها بی برق شده و از شبکه جدا می‌گردند که این مسئله باعث نارضایتی مشترکین می‌گردد. از طرف دیگر، وقوع خاموشی باعث افزایش میزان انرژی توزیع نشده و وارد آمدن زیان به شرکت‌های برق می‌شود. از این رو بهبود ارتباط تولید و مصرف و کاهش تعداد خاموشی‌ها در شبکه‌های توزیع، توجه بسیاری از متخصصین و کارشناسان صنعت برق را به خود جلب کرده است. در این میان نقش سیستم حفاظتی در برآوردن این خواسته، بسیار مهم و برجسته است.

حفاظت اضافه‌جریان برای تمام سیستمهای قدرت امری مهم و غیر قابل اجتناب است. سیستمهای توزیع هم از این قاعده مستثنی نیستند. این عمل با اهداف متعددی انجام می‌گیرد که بعضی از این اهداف مهمتر هستند. اما مهمترین وظیفه سیستم‌های حفاظتی کاهش اثرات الکتریکی و مکانیکی خطاها بر روی شبکه‌های توزیع است. بنابراین زمانی که در شبکه‌های توزیع خطایی رخ می‌دهد یک سیستم حفاظتی باید با حداکثر سرعت وارد عمل شده و قسمت تحت خطا را از شبکه جدا کند تا هم خسارت وارده به شبکه را به حداقل برساند و هم پایداری شبکه تضمین شود. بطور کلی اهداف حفاظت سیستم‌های توزیع بشرح زیر هستند:

۱- جداسازی خطاهای ماندگار:

اولین انتظار از سیستم حفاظتی آن است که خطاهای ماندگار را از قسمتهای سالم سیستم توزیع جدا کند.

۲- کاهش تعداد خطاهای ماندگار و قطعی‌ها:

دومین وظیفه سیستم حفاظتی، قطع سریع خطاهای گذرا، قبل از تبدیل شدن به خطاهای ماندگار می‌باشد.

۳- حداقل کردن زمان جایابی خطای ماندگار:

سومین عملکرد یک سیستم حفاظتی، حداقل‌کردن زمان لازم برای پیدا کردن محل خطای ماندگار در شبکه است.

۴- جلوگیری از آسیب دیدگی تجهیزات:

چهارمین وظیفه سیستم حفاظتی، جلوگیری از آسیب دیدگی تجهیزات سیستم (هادی‌ها ، کابلها، ترانسفورماتور و غیره) به واسطه عبور جریان خطا از تجهیزات است.

۵- حداقل کردن مشکلات ایمنی:

انتظار دیگری که از سیستم حفاظتی می‌رود، قطع برق هادیهای خطوط هوایی است که قطع شده و بر روی زمین قرار گرفته است و ایمنی مردم عادی را به خطر می‌اندازد.

۶- سرعت، حساسیت[1] و انتخاب پذیری[2] سیستم:

سیستم حفاظتی علاوه بر عملکردهای معرفی شده در قسمت قبل، باید دارای سرعت، حساسیت و انتخاب‌پذیری نیز باشد. سیستم باید از عملکردهای غلط و قطع مدار به واسطه عدم تعادل بار، جریان هجومی، جریان راه‌اندازی، هارمونیکها و دیگر شرایط حالت گذرا و ماندگار که برای تجهیزات سیستم مضر نیستند جلوگیری کند. ضمن اینکه برای حالاتی که خطای ماندگار در ناحیه‌ای اتفاق می‌افتد باید نزدیکترین تجهیز به سرعت، قسمت دارای خطا را از سایر قسمتهای شبکه جدا کند.

یکی از مهمترین وظایف مهم مهندسین حفاظت برقراری تعادل بین خصوصیات خطاها و نحوه قطع‌کردن رله‌ها است. در طراحی سیستم حفاظتی شبکه‌های توزیع باید اطمینان حاصل شود که رله‌ها می‌توانند وضعیت‌های نامطلوب را شناسایی و براساس زمان‌های مربوطه، آنها را از قسمتهای سالم مدار جدا کنند. در واقع الگوریتم هماهنگی باید بصورتی باشد که همه تجهیزات به نحو مناسبی هماهنگ گردند. البته فرآیند تعیین توالی و زمان عملکرد هم به دلیل هزینه نسبتا بالای تجهیزات، بایستی کاملا بهینه باشد(معمولا هزینه تجهیزات حفاظتی ۵ تا ۱۵٪ هزینه کل تجهیزات است).

بنابراین در مجموع می‌توان گفت که یک سیستم حفاظتی با تنظیمات مناسب و بهینه، می‌توانند بیشتر قسمت‌های یک سیستم توزیع را در برابر اغتشاشات و خطاها بیمه کنند.

با توجه به گسترش روزافزون مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی، سیستم‌های توزیع امروزه نیاز به سیستم حفاظتی پیشرفته‌تری دارد. با پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی‌های حفاظت و مخابرات، امروزه امکان توسعه میدان دید سیستم‌های حفاظتی، فراهم شده است.

۱-۲- تجهیزات شبکه‌های توزیع

جهت عملکرد مناسب سیستم‌های توزیع، خطاهای بوجود آمده در هر یک از قسمتهای شبکه باید از سایر بخش‌های سیستم مجزا شود. یکی از مسایل اصلی در حفاظت، تعیین کمیتهایی است که در شرایط عادی و خطا باهم فرق می‌کنند. برای نمونه طول خط تاثیر مستقیم بر انتخاب نوع حفاظت و نوع رله دارد[2]. برای انتخاب تجهیزات حفاظتی جهت حفاظت خطوط توزیع لازم است که از انواع تجهیزات حفاظتی مورد استفاده در شبکه و مشخصه‌های عملکرد آنها اطلاعاتی دردست باشد. تجهیزات عمده حفاظت شبکه توزیع عبارتند از: فیوز، رله‌جریان‌زیاد، وصل‌کننده مجدد (رکلوزر یا کلید بازبست[3]) و سکشنالایزر[4]. در ادامه در مورد هرکدام از تجهیزات نامبرده شده توضیحات مختصری ارائه می‌شود.

---

[1] Sensitivity
[2] Selectivity
[3] Recloser

۱-۲-۱- فیوزهای فشار قوی

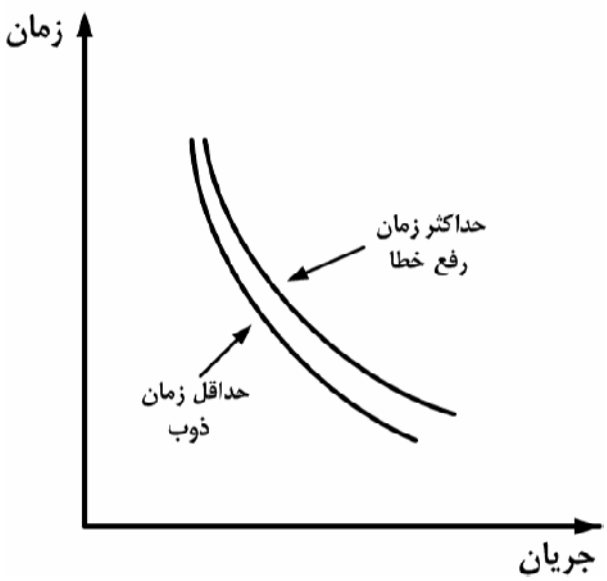
فیوزها از اساسی‌ترین وسایل حفاظت اضافه‌جریان هستند که از سالها پیش در سیستم‌های توزیع کاربرد داشته و هنوز هم از عناصر اصلی سیستم‌های پیشرفته هستند. برای فیوزها دو منحنی جریان – زمان درنظرگرفته می‌شود که در مسائل هماهنگی بسیار مهم هستند. این مشخصه‌ها بصورت زیر هستند:

الف) منحنی حداقل زمان ذوب یا[1] MMT: که حداقل زمان ذوب شدن یک فیوز، برحسب جریان لازم را مشخص می‌کند.

ب) منحنی حداکثر زمان رفع خطا یا [2] TCT: حداکثر زمان رفع خطا و خاموش شدن قوس را مشخص می‌کند.

شکل ۱-۱ مشخصه TCT و MMT یک فیوز 10K را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، بین دو منحنی فاصله‌ای وجود دارد که این فاصله زمانی مربوط به ظهور و قطع قوس بعد از ذوب شدن فیوز است.

فیوزها با وجود مزایای فراوان بعضی اشکالات هم دارند. یکی از این اشکالات این است که هماهنگی فیوزها با توجه به شیب زیاد آنها با سایر تجهیزات مشکل است و دیگر اینکه فیوزها مانند سایر تجهیزات مانند رله‌ها قابل کنترل نیست و سبب ضعف حفاظت در مقابل جریانهای کم می‌شود. همچنین سوختن فیوز در یکی از فازها می‌تواند موجب دو فاز شدن سیستم شود[5].



شکل ۱-۱: منحنی‌های حداقل زمان ذوب فیوز و حداکثر زمان رفع خطا

[1] Minimum Melting Time
[2] Total Clearing Time

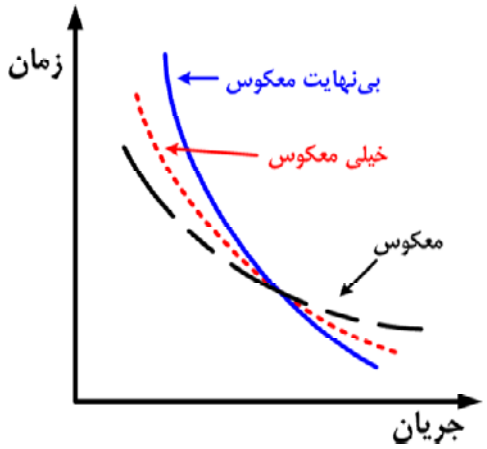
۱-۲-۲-رله جریان زیاد

از میان روشهای حفاظتی موجود جهت حفاظت خطوط، حفاظت جریان زیاد بخاطر ارزانی و سادگی آن بسیار متداول است. بسته به نوع شبکه از نظر شعاعی یا حلقوی‌بودن آن و همین‌طور سطح ولتاژ، می‌توان از انواع مختلف این رله شامل رله جریان‌زیاد زمان ثابت، رله جریان زیاد با مشخصه معکوس، رله جریان‌زیاد آنی، رله جریان زیاد جهت دار، رله اتصال زمین و یا ترکیبی از آنها استفاده نمود[5].

درشبکه ایران برای خطوط توزیع از رله‌های جریان‌زیاد بعنوان حفاظت اصلی و در خطوط فوق توزیع، این رله‌ها گاهی بعنوان حفاظت اصلی و گاهی بعنوان حفاظت پشتیبان استفاده می‌شوند.

۱-۲-۲-۱- رله‌های با منحنی مشخصه کاهشی[1]

در این نوع رله‌ها زمان عملکرد رله بطور معکوس با جریان عبوری از رله تغییر می‌کند. از آنجا که عملکرد رله‌های زمان ثابت صرفاً وابسته به جریان پیک تنظیمی آنها است و سطح اتصال‌کوتاه‌های متفاوت تاثیری در زمان عملکرد رله ندارد جهت رسیدن به هماهنگی بهتر بویژه در فیدرهای شعاعی طولانی استفاده از منحنی‌های کاهشی در رله‌ها اجتناب ناپذیر است بخصوص اینکه در استراتژی حفاظتی، این رله‌ها باید پشتیبان رله‌های بعد از خود باشند. منحنی جریان – زمان این نوع رله‌ها در شکل ۱-۲ نشان داده شده است[5]. روابط منحنی‌های مشخصه کاهشی طبق استانداردهای IEC و ANSI/IEEE در ضمیمه ۱ ارائه شده است.



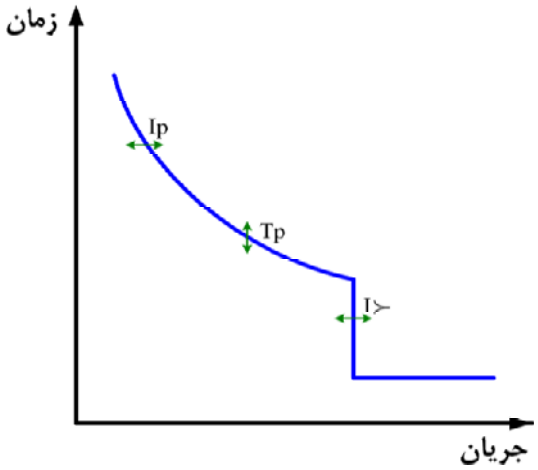
شکل ۱-۲: منحنی‌های جریان – زمان رله‌ها با مشخصه معکوس

۱-۲-۲-۲- ترکیب منحنی‌های زمان ثابت و زمان کاهشی

در کاربردهای عملی بطور ترکیبی از منحنی‌های زمان ثابت و زمان کاهشی استفاده می‌شود[5]. در جریانهای خیلی زیاد رله بطور آنی و در سایر مواقع رله از مشخصه کاهشی استفاده می‌کند(شکل ۱-۳). رله‌های جریان زیاد فازی دارای

[1] Inverse-Time Delay Overcurrent Relays

دو عنصر آنی و تأخیری می‌باشد که برای عنصر آنی باید تنظیم جریانی(I) و برای عنصر تأخیری بایستی تنظیم جریانی(Ip) و تنظیم زمانی (Tp) را انجام داد.



شکل ۱-۳: منحنی‌های جریان–زمان ترکیب زمان ثابت و معکوس اشکالات و معایب رله‌های جریان زیاد

رله‌های جریان زیاد با وجود همه مزایا دارای عیبهایی هستند. بعضی از اشکالات این رله‌ها بشرح زیر هستند:

- ✓ در خطوط شهری و تجاری تغییرات جریان بار در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز وجود دارد و در طول سال نیز متناسب با گسترش شبکه و افزایش تعداد مصرف‌کنندگان تغییر می‌یابد. لذا تنظیم رله بطور مداوم ضروری می‌باشد.
- ✓ با توجه به اینکه جریان تنظیمی و ضریب حساسیت رله به جریان خطا بستگی دارد، در ناحیه محافظت رله، جریان خطا در فاصله وسیع برحسب قدرت اتصال‌کوتاه و ظرفیت شبکه و محل خطا تغییر می‌کند. با توجه به فاکتورهای یاد شده طول ناحیه حفاظتی رله بسته به حالت عملکرد شبکه تغییر می‌کند[6].
- ✓ در جریانهای خیلی کم زمان عملکرد رله‌های پشتیبان زیاد می‌شود و در نتیجه تاثیرات مکانیکی و حرارتی اتصال‌کوتاه روی تجهیزات شبکه افزایش می‌یابد[7].

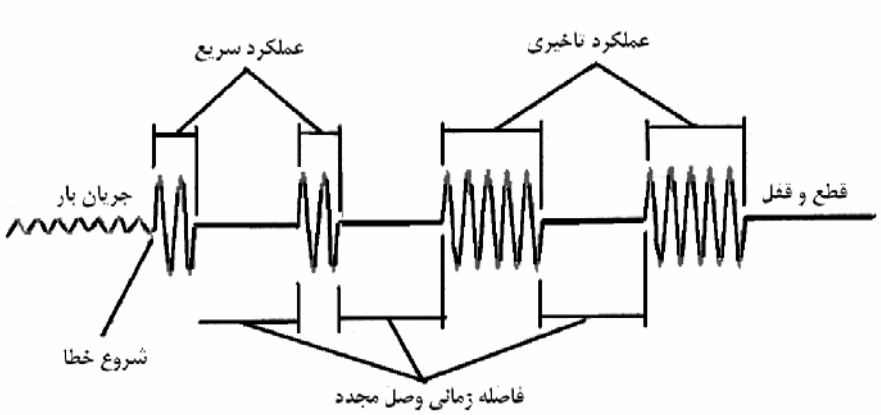
۱-۲-۳-کلیدهای وصل مجدد(وصل مجدد)[1]

کلیدهای وصل مجدد، تجهیزات کاملی هستند که برای قطع و وصل خطا و حفاظت اضافه جریان در شبکه‌های توزیع استفاده می‌شوند. براساس استاندارد $ANSI-C37.104-2002$ تعریف یک وصل‌کننده مجدد خودکار مدار چنین است: وصل‌کننده مجدد، یک وسیله خود کنترل برای قطع و وصل مجدد یک مدار جریان متناوب با توالی از پیش تعیین شده جهت بازشدن و بسته شدن است که با تنظیم وصل مجدد در حالت وصل نگه داشته و یا اینکه در عملکرد قفل نگه داشته می‌شود[4].

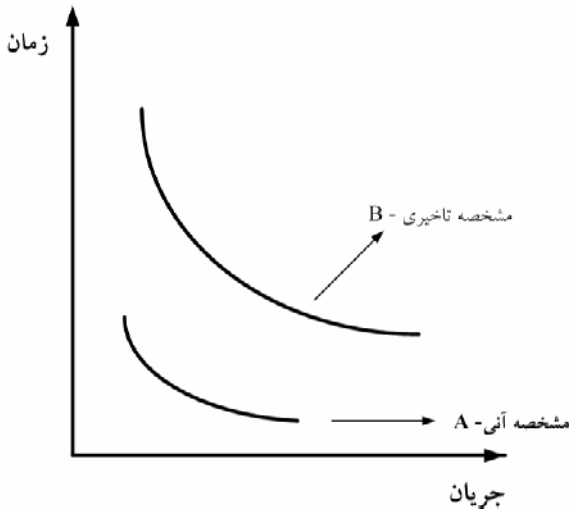
[1] Automatic Circuit Recloser

در سیستم توزیع هوایی در حدود ۶۰ تا۸۰ درصد از خطاها دارای طبیعتی گذرا هستند و حداکثر پس از چند سیکل خودبخود از بین می‌روند[8]. در شرایط فعلی بیشتر از کلیدهای وصل مجدد با عملکرد قفل شونده استفاده می‌شود که طی یک توالی با چهار بار قطع و سه بار وصل مجدد قبل از باز شدن نهایی اتصال‌ها، خطاهایی که ماهیت ماندگار دارند را برطرف می‌کنند[9].

اگر یکی از وصل مجددها موفقیت آمیز باشد (خطا رفع شود)، مکانیزم عملکرد وصل‌کننده مجدد باید پس از یک تأخیر زمانی (زمان پس‌گرد) به موقعیت اولیه خود پس‌گرد شود تا برای تعداد از پیش‌تعیین‌شده‌ای از قطع‌شدن‌ها در خطای بعدی آماده شود. در شکل ۱-۴ توالی عملکرد یک وصل‌کننده مجدد با دو عملکرد سریع و دو عملکرد تأخیری تا عمل قفل نشان داده شده است. مشخصه‌های عملکرد سریع(A) و تأخیری(B) یک وصل‌کننده مجدد نمونه در شکل۱-۵ نشان داده شده است[8]و[9].



شکل ۱-۴: ترتیب عملکرد چهارتایی یک وصل‌کننده مجدد



شکل۱-۵: مشخصه‌های جریان – زمان تأخیری و سریع یک وصل‌کننده مجدد