دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه

کارشناسی ارشد قدرت

تنظیم و هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد با منظور نمودن منحنی خرابی کابلها

نگارنده

سید محمد موسوی آگاه

اساتید راهنما

دکتر حسین عسکریان ابیانه

دکتر حسام الدین صادقی

شهریور ۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه

کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: سید محمد موسوی آگاه دانشجوی آزاد ● بورسیه ○ معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۵۱۲۳۱۳۲ دانشکده: برق رشته تحصیلی: برق قدرت گروه: قدرت

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: آقای دکتر حسین عسکریان ابیانه درجه و رتبه: استاد

نام و نام خانوادگی: آقای دکتر حسام الدین صادقی درجه و رتبه: استاد

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : تنظیم و هماهنگی بهینه رله‌های جریان زیاد با منظور نمودن منحنی خرابی کابلها

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی:Optimum Coordination of Overcurrent Relays Considering Cable Damage Curve

نوع پروژه: کارشناسی○ ارشد● دکتر ا ○ سال تحصیلی:

کاربردی ○ بنیادی○ توسعه‌ای ○ نظری○

تاریخ شروع :۱۳۸۶ تاریخ خاتمه :۱۳۸۷ تعداد واحد :۶ سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: هماهنگی- بهینه سازی – الگوریتم ژنتیک – رله جریان زیاد – منحنی خرابی کابل – پیری کابل

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Coordination – Optimization – Genetic Algorithm – Overcurrent Relay – Cable Damage Curve – Cable Ageing

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات	تصویر ● جدول ● نمودار ● نقشه ○ واژه‌نامه ○		تعداد مراجع ۳۴	تعداد صفحات ضمائم ۲۰
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ●	انگلیسی ●
یادداشت					

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه

۲ : ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه مرکزی)

تقدیم به پدر دلسوز

مادر عزیز

و خواهر مهربانم

با سپاس فراوان از اساتید گرانقدر

آقای دکتر عسکریان ابیانه و آقای

دکتر حسام الدین صادقی که در تمام

مدت انجام پروژه و در طول

تحصیل راهنما و مشاوری دلسوز

بودند.

چکیده

هدف از این پروژه، هماهنگی رله‌های جریان زیاد در شبکه توزیع کابلی می‌باشد. از آنجا که شبکه توزیع مستقیما به مصرف کننده متصل می باشد، حفاظت بهینه شبکه توزیع می‌تواند در کاهش قطعی برق و افزایش قابلیت اطمینان و افزایش عمر تجهیزات نقش بسزایی داشته باشد.

برای هماهنگی رله جریان زیاد روشهای زیادی در مقالات مختلف پیشنهاد شده است. از جمله این روشها، روشهای هماهنگی بهینه می‌باشند که نسبت به روشهای هماهنگی معمولی دارای مزایایی هستند. از میان روشهای هماهنگی بهینه نیز روشهای هوشمند به دلیل انعطاف‌پذیری و قابلیت استفاده برای مسائل مختلف مناسب‌تر می‌باشند. در مقالات از الگوریتم ژنتیک که یک روش بهینه‌سازی هوشمند می‌باشد، برای مسئله هماهنگی استفاده شده است.

روشهای موجود برای تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد، اولا زمان عملکرد هر رله را برای خطای جلوی آن کمینه می‌کنند. ثانیا فاصله زمان عملکرد رله‌های اصلی و پشتیبان را برای خطای جلوی رله اصلی، به فاصله زمانی هماهنگی نزدیک می‌کنند. در این روشها اثر مشخصه جریان- زمان کابلهای شبکه توزیع در نظر گرفته نشده است.

سازندگان کابلهای توزیع، برای هر کابل مشخصه‌ای را ارائه می‌کنند که نشان دهنده حد تحمل جریان کابل بر حسب زمان است. این منحنی هنگام ساخت کابل ارائه می‌شود و با مستهلک شدن کابل در نتیجه تحمل تنشهای حرارتی و مکانیکی ناشی از جریانهای اتصال کوتاه شبکه، و نیز در اثر قرارگیری عایق آنها در محیط آزاد، به شدت تغییر می‌کند. در نظرگیری منحنی خرابی در مورد کابلهای مستهلک شبکه اهمیت ویژه‌ای دارد. بدون لحاظ این منحنی مشخصه در هماهنگی رله‌ها، ممکن است به ازای وقوع خطایی، کابلهای مستهلک شده‌ی شبکه، آسیب ببینند و یا عمر آنها کوتاه شود.

در این پروژه، با اضافه نمودن جمله دیگری به تابع هدف، هماهنگی به گونه‌ای انجام می‌شود که با وقوع خطا، کمترین آسیب حرارتی به کابلهای شبکه وارد شده و میزان استهلاک آنها کاهش یابد. همچنین احتمال وقوع خطا در خطوط شبکه و نیز احتمال عملکرد صحیح رله‌ها، در تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد وارد می‌شود. در انتهای پروژه، برنامه هماهنگی بدست آمده بر روی دو شبکه نمونه تست شده و نتایج آن در پروژه آمده است و مزایای روش ارائه شده در این پروژه، در نتایج نشان داده خواهد شد.

کلمات کلیدی: هماهنگی (*Coordination*)- بهینه‌سازی (*Optimization*)- الگوریتم ژنتیک (*Genetic Algorithm*)- رله جریان زیاد (*Overcurrent Relay*)- منحنی خرابی کابل (*Cable Damage Curve*) – پیری کابل (*Cable Ageing*)

فهرست مطالب

فصل اول: حفاظت شبکه توزیع کابل زیر زمینی توسط رله های جریان زیاد ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- شبکه توزیع ۱

۱-۲-۱- شبکه توزیع شعاعی ۲

۱-۲-۲- شبکه توزیع حلقوی ۳

۱-۲-۳- شبکه توزیع غربالی ٤

۱-۲-٤- شبکه توزیع کابل زیر زمینی ٥

۱-۳- حفاظت شبکه توزیع ٦

۱-۳-۱- رله جریان زیاد ۸

۱-۳-۲- روشهای مدلسازی رله جریان زیاد ۱۰

۱-۳-۳- تنظیم رله های جریان زیاد ۱۳

۱-۳-٤- تنظیم جریانی رله های جریان زیاد ۱٦

۱-۳-٥- تنظیم زمانی رله های جریان زیاد ۱۷

۱-۳-٦- روشهای هماهنگی ۲۱

۱-٤- اهداف پایان نامه ۲۳

۱-٥- ساختار پروژه ۲٥

فصل دوم: روشهای موجود هماهنگی بهینه رله های جریان زیاد و بررسی استهلاک کابلهای شبکه توزیع ۲۷

۲-۱- مقدمه ۲۷

۲-۲- روشهای هماهنگی بهینه ۲۸

۲-۲-۱- مزیت روشهای هماهنگی بهینه ۳۰

۲-۲-۲- محدودیتهای مساله بهینه سازی ۳۱

۲-۳- روشهای ریاضی هماهنگی بهینه ۳۳

۲-٤- روشهای بهینه سازی هوشمند ۳۸

۲-٤-۱- روشهای مختلف بهینه سازی هوشمند در هماهنگی رله ها ۳۸

۲-٤-۲- الگوریتم ژنتیک ٤۰

۲-٥- پیری کابل ٤۲

۲-٦- روش اخیر هماهنگی بهینه هوشمند رله های جریان زیاد و مشکل منظور نشدن پیری کابلها ٤٦

فصل سوم: روش جدید هماهنگی بهینه رله های جریان زیاد با در نظرگیری پیری کابل ٥٤

۳-۱- مقدمه ٥٤

۳-۲- اهمیت روش جدید ٥٤

۳-۳- ارائه راه حل ٥۷

۳-٤- پیاده سازی روش ارائه شده ٦۱

۳-٤-۱- دریافت اطلاعات شبکه ٦۲
۳-٤-۲- محاسبه تنظیم رله های جریان زیاد ٦٥
۳-٤-۳- محاسبه تابع هدف الگوریتم ژنتیک ٦۸
۳-٤-٤- چاپ نتایج خروجی ۷۳
فصل چهارم: اعمال برنامه کامپیوتری هماهنگی جریان زیاد بر روی شبکه نمونه ۷٥
٤-۱- مقدمه ۷٥
٤-۲- اعمال برنامه بر روی شبکه نمونه ۸ باسه ۷٦
٤-۲-۱- شبیه سازی ۷٦
٤-۲-۲- نتایج بدست آمده ۸۲
٤-۲-۳- تحلیل نتایج ۸۳
٤-۲-٤- تایید صحت نتایج ۸۷
٤-۳- اعمال برنامه بر روی شبکه نمونه توزیع انگلستان ۹۳
٤-۳-۱- شبیه سازی ۹۳
٤-۳-۲- نتایج بدست آمده ۹۷
٤-۳-۳- تحلیل نتایج ۹۸
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد ۱۰۱
٥-۱- نتیجه گیری ۱۰۱
٥-۲- پیشنهاد برای انجام کارهای آینده ۱۰۳
مراجع ۱۰٦
ضمیمه ۱: اصول الگوریتم ژنتیک ۱۰۸
ضمیمه ۲: مقدمه ای بر کابلهای شبکه توزیع ۱۲۱

فهرست شکلها

شکل۱-۱: شبکه توزیع شعاعی با فیدرهای اصلی و فرعی ۲
شکل۱-۲: شبکه توزیع حلقوی باز ۳
شکل ۱-۳: شبکه توزیع حلقوی بسته ٤
شکل ۱-٤: شبکه توزیع غربالی ٤
شکل ۱-۵: منحنی زمان- جریان معکوس،خیلی معکوس و بینهایت معکوس ۹
شکل ۲-۱: منحنی خرابی کابلهای *PVC* با رسانای مسی ۵۰
شکل ۲-۲: منحنی خرابی کابلهای *XLPE* با رسانای مسی ۵۱
شکل ۲-۳: چگونگی تغییر منحنی خرابی کابل در اثر مستهلک شدن ۵۳
شکل ۳-۱: منحنی خرابی کابل نمونه ۵۵
شکل ۳-۲: قسمت نمونه از یک شبکه توزیع ۵۵
شکل ۳-۳: فلوچارت روش ارائه شده ٦۲
شکل ۳-٤: منحنیهای رله جریان زیاد ٦٦
شکل ۳-۵: منحنی مشخصه واقعی و منحنی مشخصه برازش شده ٦۷
شکل ۳-٦: درصد خطای حاصل از برازش منحنی ٦۷
شکل ۳-۷: یک رشته کروموزوم ٦۸
شکل ۳-۸: رشته کروموزوم شامل تنظیم جریانی ٦۹
شکل ٤-۱: شبکه ۸ باسه نمونه ۷٦
شکل ٤-۲: نمودار تک خطی شبکه ۸ باسه نمونه شبیه سازی شده در نرم افزار پاشا ۸۸
شکل ٤-۳: منحنی مشخصه عملکرد رله رسم شده توسط نرم افزار پاشا ۸۸
شکل ٤-٤: تنظیمات رله های جریان زیاد پیاده شده در نرم افزار پاشا ۸۹
شکل ٤-۵: زمان عملکرد رله ها برای خطا در وسط کابل بین *SUB3* و *SUB4* ۹۱
شکل ۱-۱: زمان عملکرد رله ها برای خطا در جلوی باس *SUB1* ۹۲
شکل ٤-۷:زمان عملکرد رله ها برای خطا بر روی باس *SUB5* ۹۳
شکل ٤-۸: شبکه توزیع نمونه ۸ باسه انگلستان ۹٤
شکل ۱: ساختار یک کرموزوم ۱۱٤
شکل۲: روش چرخ رولت ۱۱۵
شکل۳: روش جابجایی تک نقطه‌ای ۱۱٦
شکل٤: روش جابجایی دو نقطه‌ای ۱۱٦
شکل ۵: جابجایی یکنواخت ۱۱۷
شکل ٦: یک نمونه جهش ۱۱۷
شکل۷: نمونه ای از کابل فشار قوی ۱۲۳
شکل ۸: نمودار برداری یک خازن ۱۳۱
شکل ۹: تغییرات مقاومت عایق نسبت به دما در یک کابل نمونه *PVC* ۱۳۲
شکل ۱۰: تغییر ضریب $\tan\delta$ کابل‌ها نسبت به دما ۱۳۲

فهرست جداول

جدول ۱-۱: معادلات وارینگتون برای انواع رله‌های کاهشی ۱۱
جدول ۲-۱: ثابت‌های مورد نیاز برای محاسبه اتصال کوتاه ٤٥
جدول ۲-۲: ازدیاد دمای قابل تحمل برای کابلها ٤٨
جدول ۳-۱: زمان رفع خطا به ازای دو دسته تنظیم فرضی ٥٦
جدول ۳-۲: ضرایب بدست آمده توسط برازش منحنی ٦٦
جدول ٤-۱: اطلاعات شینها ٧٦
جدول ٤-۲: اطلاعات ژنراتورها و ترانسفورماتورها ٧٧
جدول ٤-۳: اطلاعات خطوط ٧٧
جدول ٤-٤: اطلاعات رله‌های جریان زیاد ٧٨
جدول ٤-٥: شماره رله های اصلی و رله های پشتیبان مربوط به هرکدام ٧٩
جدول ٤-٦: پارامترهای الگوریتم ژنتیک ٨٠
جدول ٤-۷: تغییر پارامترها ٨١
جدول ٤-۸: احتمال عملکرد صحیح رله ها و کلیدهای متناظر آنها ٨٢
جدول ٤-۹: نتایج تنظیمات زمانی رله های جریان زیاد با استفاده از روش موجود و جدید ٨٣
جدول ٤-۱۰: نتایج تنشهای حرارتی وارد بر کابلهای شبکه با استفاده از روش موجود و جدید ٨٤
جدول ٤-۱۱: مقدار تابع هدف با استفاده از روشهای موجود و جدید ٨٥
جدول ٤-۱۲: توزیع خطا در کابلهای شبکه در گذشته ٨٦
جدول ٤-۱۳: تنشهای حرارتی وارد بر کابلهای شبکه برای ۱۰ خطای آینده شبکه با استفاده از روش موجود و جدید ٨٧
جدول ٤-۱٤: اطلاعات شینها ٩٤
جدول ٤-۱٥: داده های مدار معادل شبکه بالادست ٩٤
جدول ٤-۱٦: پارامترهای ترانسفورماتور توزیع ٩٤
جدول ٤-۱۷: اطلاعات کابلهای شبکه ٩٥
جدول ٤-۱۸: اطلاعات رله‌های جریان زیاد ٩٥
جدول ٤-۱۹: اطلاعات رله های اصلی و پشتیبان ٩٦
جدول ٤-۲۰: احتمال عملکرد صحیح رله های جریان زیاد و کلیدهای متناظر آنها در شبکه نمونه ٩٦
جدول ٤-۲۱: اندازه جریان اتصال کوتاه مقابل هر یک از رله های شبکه نمونه ٩٧
جدول ٤-۲۲: اندازه جریان اتصال کوتاه عبوری از جفت رله های اصلی و پشتیبان ٩٧
جدول ٤-۲۳: تنظیمات زمانی بدست آمده از دو روش موجود و جدید ٩٨
جدول ٤-۲٤: نتایج تنشهای حرارتی وارد بر کابلهای شبکه با استفاده از روش موجود و جدید ٩٩
جدول ٤-۲٥: مقدار تابع هدف با استفاده از روشهای موجود و جدید ٩٩
جدول ۱: ضریب تعیین مقاومت مواد رسانا در دماهای گوناگون و پایه دمای $20^{\circ}C$ ۱۲۹

فصل اول: حفاظت شبکه توزیع کابل زیر زمینی توسط رله های جریان زیاد

۱-۱- مقدمه

در این بخش ابتدا به شرح انواع شبکه‌های توزیع پرداخته می‌شود. انواع شبکه توزیع از لحاظ توپولوژی مورد بررسی قرار می‌گیرند. سپس شبکه‌های توزیع هوایی و زیر زمینی معرفی و مقایسه می‌شوند. سپس حفاظت شبکه توزیع، اهداف و معیارهای عملکرد صحیح آن بیان می‌گردد. در ادامه رله‌های جریان زیاد به همراه انواع و اصول عملکرد آنها تشریح شده و روشهای گوناگون مدلسازی رله‌های جریان زیاد جهت استفاده در فرآیند تنظیم و هماهنگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. روشهای ریاضی مورد استفاده مورد تاکید بیشتر قرار گرفته و انواع مختلف آنها تشریح و مزایا و معایب هر یک بیان می‌گردد. تنظیم جریانی و زمانی رله‌های جریان زیاد معرفی شده و اصول انجام تنظیم و هماهنگی آنها مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه روشهای مختلفی که در گذشته جهت تنظیم و هماهنگی رله های جریان زیاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند، با ذکر مراجع مربوطه، معرفی می‌گردند. توضیح بیشتر در مورد روشهای بهینه تنظیم و هماهنگی، به فصل دوم موکول می‌شود. در پایان این فصل، مختصری راجع به اهداف انجام پروژه و نیز موضوعات مندرج در فصول مختلف پایان‌نامه ذکر می‌گردد.

۱-۲- شبکه توزیع

دریافت انرژی الکتریکی از نیروگاه و تحویل آن به مصرف کننده‌ها، دربردارنده قسمتهای مختلفی است. قسمتی که تحت عنوان توزیع مورد توجه قرار می‌گیرد، از پست تغذیه تا محل مصرف کننده‌ها را شامل می‌شود [۱]. بخش توزیع یک شبکه قدرت را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود:

۱) توزیع اولیه که در آن سطح ولتاژ از ولتاژ مصرف بالاتر بوده و از پست توزیع تا محل مصرف ادامه می‌یابد تا انرژی مورد نیاز مصرف کننده تامین شود.

۲) توزیع ثانویه که شامل قسمتی از شبکه توزیع است که دارای ولتاژ مصرف کننده بوده و به لوازم اندازه‌گیری مصرف کننده‌ها منتهی می‌شود.

در این پروژه منظور از شبکه توزیع، شبکه توزیع اولیه می‌باشد. تنظیم تجهیزات حفاظتی قرار گرفته در بخش توزیع ثانویه، با توجه به نوع بارهای تغذیه شده تعیین می‌گردد، که در این پروژه مدنظر نمی‌باشد [۲].

شبکه توزیع اولیه، شامل سه نوع اساسی می‌باشند:

۱) شبکه شعاعی، شامل شبکه‌های دو گانه و تبدیلی

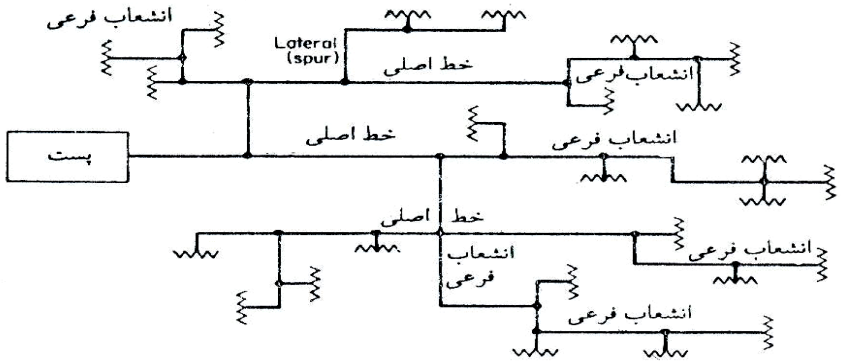
۲) شبکه حلقوی، شامل حلقوی باز و حلقوی بسته

۳) شبکه غربالی

شبکه توزیع در ایران بیشتر شعاعی می‌باشد و در مواردی که از شبکه حلقوی برای امکان تغذیه از دو سو در موارد قطعی در نظر گرفته شده، نوع شبکه، حلقوی باز می‌باشد [۱].

۱-۲-۱- شبکه توزیع شعاعی

شبکه توزیع شعاعی ساده ترین و پرکاربردترین نوع مورد استفاده است. این شبکه شامل فیدرهای شعاعی مجزا بوده که از پست توزیع منشعب می‌شوند. معمولا هر فیدر سطح معینی را تغذیه می‌کند. در این شبکه، شبکه توزیع شامل فیدر اصلی یا تنه مانندی است که با ترانسفورماتور توزیع مرتبط است و فیدرها و انشعابات فرعی به آن متصل می‌گردند [۲]. نمونه‌ای از این شبکه در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: شبکه توزیع شعاعی با فیدرهای اصلی و فرعی

معمولا انشعابات فرعی از طریق فیوز به شبکه فشار متوسط اصلی متصل می‌شود، به طوری که وقوع خطایی در انشعابات فرعی، نمی‌تواند موجب قطع برق در کل فیدر بشود. اگر فیوز نتواند این خطا را برطرف کند، یا اتصالی در فیدر اصلی توسعه یابد، آنگاه کلید قدرت موجود در پست توزیع، جریان خطا را قطع کرده و سرتاسر فیدر را بی‌برق خواهد کرد. برای پایین نگه داشتن وسعت و مدت

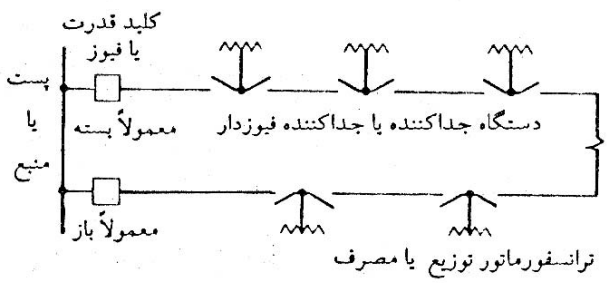
قطعی برق، تمهیداتی در نظر گرفته می‌شود تا قسمت‌های سالم هر چه سریع‌تر دوباره برق‌دار شوند. برای به حداکثر رساندن سرعت برق‌دار کردن مجدد، در هنگام طراحی و ساخت، از ارتباط اضطراری به فیدرهای مجاور استفاده می‌شود. بنابراین هر قسمتی از فیدر که مشکلی نداشته باشد، می‌تواند به فیدرهای مجاور متصل شود [۱].

۱-۲-۲- شبکه توزیع حلقوی

روش دیگری که طول قطعی برق را محدود می‌سازد، استفاده از فیدرهایی است که به صورت حلقوی طراحی شده و امکان تغذیه از دو سو را برای مصرف کننده‌ها فراهم می‌سازد. اگر فیدر از یکسو دچار مشکل شود، برق مورد نیاز مصرف کننده‌ها از سوی دیگر تامین می‌شود. در حالت عادی می‌توان از چنین شبکه ای به صورت حلقوی باز یا حلقوی بسته بهره‌برداری نمود [۱].

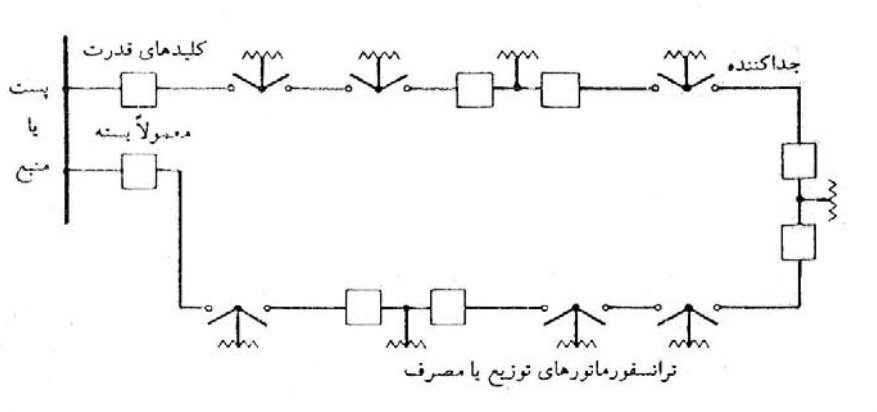
در سیستم حلقوی باز، بخش‌های متعدد فیدر توزیع از طریق وسایل جدا کننده (فیوز، کلید و غیره) به یکدیگر متصل شده و فیدر از دو نقطه به پست توزیع متصل شده است. در یک نقطه از پیش تعیین شده فیدر، وسیله جدا کنده به صورت باز نصب می‌گردد. به عبارت دیگر سیستم حلقوی باز از دو فیدر تشکیل می‌شود که انتهای آنها به وسیله جدا کننده‌ای مانند کلید قدرت به هم مرتبط هستند [۱].

به هنگام وقوع خطا، بخشی از مدار فشار متوسط که خطا در آن ناحیه رخ داده است، از دو سمت، قطع می‌شود و تداوم سرویس‌دهی به قسمتهای سالم ادامه می‌یابد [۲]. برای این منظور، حلقه در نقطه‌ای که در حالت عادی باز گذاشته شده بود، بسته می‌شود (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲: **شبکه توزیع حلقوی باز**

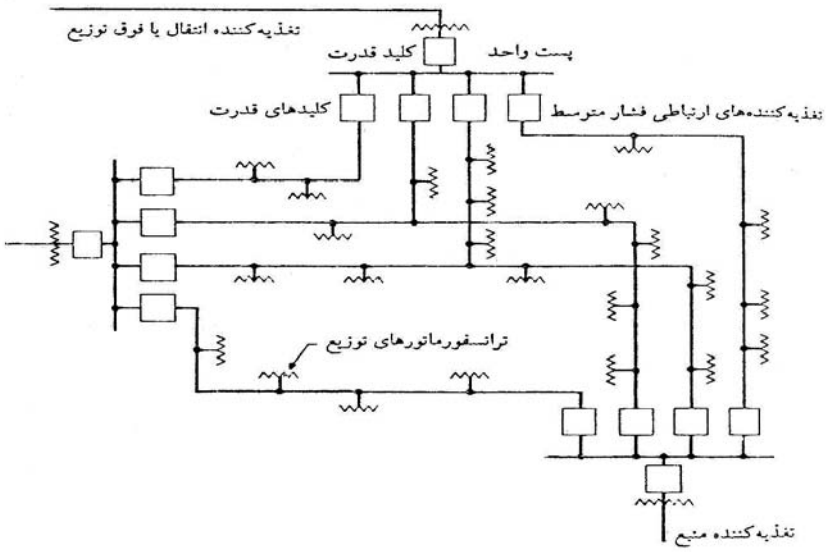
هنگامی که درجه بالاتری از قابلیت اطمینان موردنظر است، فیدر توزیع، به صورت حلقوی بسته مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در این حالت معمولا وسایل جدا کننده کلیدهای قدرت هستند که توسط رله‌هایی تحریک می‌شوند، تا فقط برای قطع ناحیه دارای خطا عمل نمایند. در این شرایط، بقیه قسمتهای فیدر توزیع برق‌دار باقی می‌مانند [۲]. جهت کاهش هزینه، می‌توان کلید قدرت را تنها بین قسمت‌های معینی از فیدر حلقوی نصب نمود. (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: شبکه توزیع حلقوی بسته

۱-۲-۳- شبکه توزیع غربالی

اگر چه مطالعات اقتصادی نشان داده است که شبکه غربالی در سمت اولیه شبکه توزیع، در برخی شرایط ممکن است کم هزینه تر و پایدارتر از سیستم شعاعی باشد، در عمل تعداد کمی از شبکه‌های غربالی در سمت اولیه مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند و فقط چند مورد از آنها در سرویس‌دهی باقی مانده‌اند. این شبکه از طریق به هم پیوستن شبکه‌های فشار متوسطی که به طور عادی در سیستم‌های شعاعی یافت می‌شوند، تشکیل شبکه یا غربال (مش) را می‌دهند. شبکه به وسیله چندین ترانسفورماتور قدرت تغذیه می‌شود که ترانسفورماتورها به نوبه خود از خطوط فوق توزیع و انتقال تغذیه می‌شوند (شکل ۱-٤).



شکل ۱-٤: شبکه توزیع غربالی

در این نوع شبکه، پست‌های معمولی و فیدرهای طولانی فشار متوسط اصلی، با تعداد زیادی از پست‌های کیوسکی (واحد) جایگزین شده‌اند. لذا مشکل دستیابی به زمین اضافی و ضروری در

پست‌های معمولی حل شده است. عـلاوه بـر آن، مشـکل نگهـداری و بهـره‌بـرداری مناسـب تنظـیم کننده‌های ولتاژ موجود در فیدرهای شعاعی نیز برطرف گردیده است [۲].

۱-۲-٤- شبکه توزیع کابل زیر زمینی

از نظر رعایت شرایط ایمنی، خطوط هوایی نمی‌توانند در شهرها و کارخانه‌ها کاربرد قابل ملاحظه‌ی داشته باشند و اگر تغییر و تکامل ساختمان‌ها در شهرسازی نیز در نظر گرفته شود، به اجبار باید انتقال و توزیع انرژی در شهرها، در مراحل پیشرفته خود، از طریق شبکه‌ای از کابل انجام گیرد. این شبکه بر طبق شرایط معین استاندارد شده‌ای، در داخل کانال‌هایی در زمین قرار می‌گیرد.

بررسی‌های همه جانبه نشان می‌دهند که برای انتقال و توزیع انرژی الکتریکی در مناطق روستایی و حومه شهرها، شبکه‌ها هوایی می‌باشند. لیکن برای مناطق پرتراکم شهری، تنها راه حل مناسب، نصب کابل‌های زمینی است. امروزه مدارهای کابلی به گستردگی در شبکه‌های شهری به ویژه در مراکز آنها و همچنین در کارگاه‌ها، کارخانه‌ها، ساختمان‌های بزرگ، آسمانخراشها و انشعاب‌های برق رسانی به مشترک‌ها، کاربرد یافته است.

در بیشتر شبکه‌های توزیع شهری (فشار ضعیف و فشار متوسط و گـاهی فـوق توزیـع)، کابـل مناسبترین وسیله انتقال توان یا انرژی برق به ایستگاه‌هـای توزیـع و سـرانجام بـه تجهیـزات، ماشـین افزارها و ابزارهای برقی، دستگاه‌ها و موتورهای برقی و کاربران توان و انرژی الکتریکی می‌باشد.

در طراحی سیستم‌های الکتریکی و تجهیزات قدرت، علاوه بر بررسی‌ها و محاسبات مکانیکی، دو کمیت ولتاژ و جریان نقش اساسی دارند. کمیت ولتاژ در طراحی عایقی اهمیت اهمیت دارد و درجه حرارت روی میزان جریان موثر است. مهندسین برق با مفاهیم ولتاژ و جریان آشنا هستند، ولی با مفهوم حرارت و انتقال و تاثیر آن در کابلهایی که در زیر زمین به کار برده می‌شوند، آشنایی کمتری دارند.

ارزیابی منطقی از زیاد شدن درجه حرارت و جریان و تاثیر این دو بـر هـم، از اهمیـت بـالایی برخوردار است. این مساله مخصوصا برای کابل‌های زیرزمینی که محـدودیت جریـان در آنهـا وجـود دارد، نسبت به سایر تجهیزات سیستم قدرت مهمتر است. دلایل این محدودیت این اسـت کـه هـادی به وسیله یک عایق الکتریکی که ناقل خوب حرارت نیست، پوشـیده شـده اسـت. بنـابراین حـرارت نمی‌تواند به راحتی به محیط اطراف منتقل شود. به همین دلیل محدودیتی برای جریان ایجاد می‌شـود که این محدودیت، ناشی از حرارت عایق است. خوب است که این موضوع، با خطوط هوایی کـه در آنها هادی حرارت خود را به هوای اطراف به راحتی منتقل می‌کند، مقایسه شود.

۱-۳- حفاظت شبکه توزیع

در یک شبکه قدرت، هدف، تولید، انتقال و تحویل انرژی الکتریکی به مصرف کننده‌ها است. شبکه توزیع باید بگونه‌ای طراحی شود که با مدیریت مناسب در بهره‌برداری از آن بتوان عملیات مربوط به توزیع انرژی را بصورت بهینه، یعنی با کمترین هزینه اقتصادی و با قابلیت اطمینان بالا انجام داد [۳].

نکته‌ای که از دیدگاه مصرف کننده بسیار اهمیت دارد، این است که توزیع انرژی الکتریکی، بصورت دائمی و بدون وقفه باشد. از طرفی شبکه توزیع که شامل ترانسفورماتورهای توزیع، کابلهای فیدرها و سایر تجهیزات می‌باشد، در معرض وقوع خطاست، که این خطاها در کارکرد عادی شبکه توزیع، اختلال ایجاد می‌نماید. تحت چنین شرایطی، یک سیستم نظارت و کنترل مورد نیاز است، تا هر بخش از شبکه توزیع را که در آن خطا رخ داده است، تشخیص داده و در سریعترین زمان ممکن از سایر بخشهای سالم شبکه جدا نماید. زیرا تا هنگامی که خطا از شبکه رفع نشده باشد، کل شبکه به خاطر تأثیرات ناشی از وقوع خطا، در معرض خطر است. چنین سیستم نظارت و کنترل کننده‌ای در واقع، یک سیستم حفاظت محسوب می‌گردد. در یک سیستم حفاظتی، مجموعه ای از رله ها و کلیدهای قدرت کار می‌کنند [۳].

با توجه به توضیحات ارائه شده، به طور کلی می‌توان دو نوع اهداف اصلی و فرعی را برای سیستم حفاظتی، برشمرد. اهداف اصلی در حفاظت شبکه توزیع عبارتند از:

۱) به حداقل رساندن زمان خطا
۲) به حداقل رساندن تعداد مصرف کنندگان تحت تأثیر خطا
۳) به حداقل رساندن آسیبهای وارد به شبکه توزیع در اثر خطا

اهداف فرعی در حفاظت شبکه توزیع عبارتند از:

۱) حذف سریع خطاهای دارای خطرجانی
۲) محدود نمودن قسمت قطع شده شبکه توزیع در اثر خطا
۳) حفاظت وسایل برقی مصرف کنندگان

برای یک شبکه توزیع، ممکن است سیستم‌های حفاظتی مختلفی مطرح شوند، که به منظور مقایسه و ارزیابی این سیستمها با یکدیگر، باید خصوصیات و معیارهای یک سیستم حفاظتی مناسب را در نظر داشت و سپس سیستم‌های حفاظتی مختلف را بر طبق این معیارها با یکدیگر مقایسه و مورد ارزیابی قرار داد. از مهمترین معیارها می‌توان به سرعت عمل سیستم حفاظتی[1]، قابلیت اطمینان[2]

---

1 - Speed
2 - Reliability

قابلیت انتخاب[1]، حساسیت[2] و اقتصادی بودن سیستم حفاظتی اشاره نمود [۳].

سیستمهای حفاظتی باید تا حد امکان به هنگام وقوع خطا سریع عمل نمایند، تا از بین رفتن تجهیزات جلوگیری کنند.

منظور از قابلیت اطمینان یک سیستم حفاظتی، اطمینان از عملکرد صحیح سیستم حفاظتی هنگام خطا و همچنین اطمینان از عدم عملکرد بی‌مورد آن می‌باشد. هر سیستمی که تعداد بیشتری عمل قطع را به طور صحیح هنگام خطا انجام دهد، قابلیت اطمینان بیشتری دارد.

یک سیستم حفاظتی باید تنها برای خطاهایی که در محدوده حفاظتی آن قراردارند، عمل نماید و برای خطاهای خارج از محدوده خود عمل نکند، تا بیشترین تداوم سرویس را با کمترین عمل قطع فراهم نماید. این خاصیت سیستم حفاظتی به عنوان قابلیت انتخاب آن مطرح می‌گردد.

خطاهای مختلف ممکن است آثار متفاوتی بر روی شبکه قدرت داشته باشند. یک سیستم حفاظتی مناسب باید توانایی تشخیص همه نوع خطاها را داشته باشد، تا اگر خطایی با شرایط مختلف رخ داد، بتواند آن را تشخیص دهد. یعنی در حقیقت به انواع خطاهای ممکن حساسیت داشته باشد. در نهایت سیستم حفاظتی از نظر اقتصادی نیز باید مقرون به صرفه باشد. البته افزایش قابلیت اطمینان با کاهش قیمت اقتصادی سیستم حفاظتی، در تضاد هستند؛ ولی می‌توان به گونه‌ای مناسب، مصالحه‌ای بین آنها برقرار ساخت [۳].

در سیستمهای حفاظتی، رله‌ها مهمترین نقش را ایفا می‌کنند. رله، عنصری است که با توجه به مقادیر پارامترهای شبکه، همچون جریان، ولتاژ یا فرکانس، وضعیت عادی را از غیرعادی تشخیص داده و در صورت غیر عادی بودن وضعیت، به کلیدهای قدرت فرمان می‌دهد تا عناصری را که در معرض خطا یا عملکرد نامطلوب قرار گرفته‌اند، جدا کند. بسته به نوع حفاظت، محدوده عملکرد رله نیز تعیین می‌شود. اگر حفاظت واحد[3]مد نظر باشد، رله فقط مجاز به حفاظت یک قسمت خاص از شبکه می‌باشد و در صورت وقوع خطا در نواحی دیگر، هیچ گونه عکس‌العملی از خود نشان نمی‌دهد. ولی اگر حفاظت غیر واحد یا درجه‌بندی شده[4] مد نظر باشد، هر رله علاوه بر حفاظت از محدوده اصلی خودش، می‌تواند به عنوان پشتیبان برای محدوده‌ای غیر از محدوده خود باشد و در صورتی که رله اصلی آن قسمت عمل نکند، عمل نموده و خطا را رفع نماید. بنابراین مفهوم حفاظت اصلی و پشتیبان و نحوه هماهنگی بین آنها مطرح می‌گردد [۳].

---

1 - Selectivity
2 - Sensivity
3 - Unit Protection
4 - Graded Protection

۱-۳-۱- رله جریان زیاد

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

در شبکه ایران، برای خطوط توزیع، از رله‌های جریان زیاد بعنوان حفاظت اصلی و درخطوط فوق توزیع، این رله‌ها گاهی بعنوان حفاظت اصلی و گاهی بعنوان حفاظت پشتیبان استفاده شده است. درخطوط انتقال نیز که بخاطر حساسیتشان از رله دیستانس به‌عنوان حفاظت اصلی استفاده می‌شود، به دلیل احتمال وقوع خطاهای زمین با مقاومت قوس بالا و امکان دیده نشدن این‌خطاها توسط رله دیستانس، از یک رله اتصال زمین برای حفاظت پشتیبان خط استفاده می‌کنند [۳].

رله‌های جریان زیاد را می‌توان بر حسب اندازه تاخیر زمانی موجود در مشخصه عملکردشان، طبقه بندی نمود. عموما این رله‌ها را به دلیل همین تاخیر زمانی در مشخص عملکردشان، به ازای جریان‌های اعمال شده به آنها، بکار می‌برند [٤]. انواع این رله‌ها در ذیل توضیح داده می‌شوند.

رله‌های جریان زیاد زمان ثابت به ازای یک جریان معین عمل قطع را انجام می‌دهند. این جریان، جریان آستانه[1] نام دارد و رله برای جریانهای کمتر از این جریان، عمل نمی‌کند و برای جریانهای بیشتر از آن، عمل می‌نماید. مقدار تاخیر زمانی عملکرد رله، یعنی زمان عملکرد رله برای جریانهای بیشتر از جریان آستانه، مقداری ثابت و قابل تنظیم است. مشخصه این رله، یک مشخصه زمان ثابت می‌باشد [۳].

در رله‌های جریان زیاد معکوس[2] زمان عملکرد با جریان عبوری از آنها نسبت عکس دارد. یعنی زمان عملکرد رله برای جریان‌های پائین، زیاد و برای جریانهای بالا، کم است. بطوری که زمان عملکرد رله برای جریانهای حدود جریان آستانه بسیار زیاد است و با افزایش جریان، زمان عملکرد رله کاهش می‌یابد. از این رله‌ها در جاهایی که جریان اتصال کوتاه با تغییر محل خطا افزایش می‌یابد، استفاده می‌شود. مشخصه عملکرد این رله معمولا روی محورهای لگاریتمی نمایش داده می‌شود [۳].

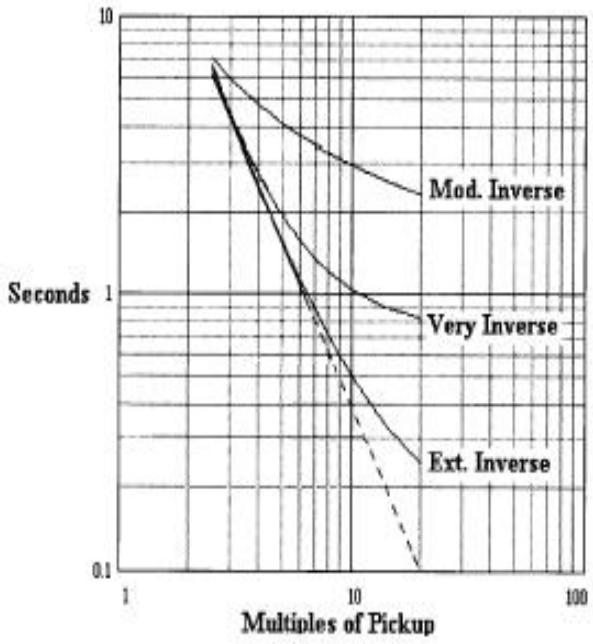
رله‌های جریان زیاد خیلی معکوس مانند رله اضافه جریان معکوس می‌باشند. ولی کاهش زمان عملکرد رله با افزایش جریان، بیشتر از رله اضافه جریان معکوس است. این نوع رله در جایی که با نزدیک شدن به منبع، جریان اتصال کوتاه شدیدا افزایش می‌یابد، بکار می‌رود [۳].

---

1 - Pickup
2 - Inverse Overcurrent Relays

مشخصه عملکرد رله‌های جریان زیاد بینهایت معکوس معمولا طوری است که زمـان عملکـرد آنها با مجذور جریان اتصال کوتاه نسبت معکوس دارد. این رله‌ها بـرای فیـدرهای توزیـع کـه دامنـه جریان در زمان سوئچینگ زیاد می‌باشد، مناسب است. از این رله در حفاظـت موتورهـایی کـه دارای جریان راه‌اندازی زیادی می‌باشند، نیز استفاده می‌شود [۳].

مشخصه عملکرد سه نوع رله ذکر شده، در شکل ۱-۵ با هم مقایسه شده است.



شکل ۱-۵: منحنی زمان- جریان معکوس،خیلی معکوس و بینهایت معکوس

انتخاب نوع مشخصه عملکرد رله‌های جریان زیاد، به عوامل مختلفی بستگی دارد، کـه بعـد از بررسی، مشخصه مناسب تعیین می‌گردد. درصورت امکان، بهتر است رله‌های مجـاور دارای مشخصـه یکسان یا تقریبا یکسان باشند. چون درشرایط مختلف تولید، هماهنگ نمودن آنهـا آسـانتر مـی‌باشـد. یکی از عوامل مهم در تعیین نوع مشخصه رله، طول خطوط می‌باشد. برای خطوط کوتاه که امپـدانس آنها در مقایسه با امپدانس معادل منبع کوچک می‌باشد، جریانهای اتصال کوتـاه بـرای ابتـدا و انتهـای خط تقریبا مساوی می‌شوند. در این شرایط، چون رله‌های کاهشی برای تمـام خطاهـا در طـول زمـان خطا، عملکرد تقریبا یکسانی دارند، بهتر است از رله‌های با مشخصه ثابت اسـتفاده شـود. زیـرا زمـان عملکرد این رله‌ها برخلاف رله‌های کاهشی، نسبت به تغییر جریان اتصال کوتاه تغییر نمی‌نماید. برای خطوط بلند و جاهایی که تغییر جریان اتصال کوتاه شدید است، بهتر است از رله های خیلی معکوس و بینهایت معکوس استفاده شود [۳].

۱-۳-۲- روشهای مدلسازی رله جریان زیاد

جهت حصول اطمینان از دقت شبیه‌سازی، نیاز است که در بررسی‌های شبکه‌های قدرت از مدل‌های دقیق استفاده گردد [۱]. ساده‌ترین و ابتدایی‌ترین روش مدلسازی رله‌های جریان زیاد، ذخیره نمودن نقاط منحنی مشخصه در حافظه کامپیوتر می‌باشد [۲]. در روش‌های دیگر، منحنی مشخصه بر اساس پارامترهای تنظیم بصورت یک معادله ریاضی مدل می‌گردد. در معادلات ریاضی، زمان عملکرد رله t بر حسب جریان عبوری I نشان داده می‌شود و به نحوی پارامترها نیز در آن دخالت دارند. جریان عبوری از رله بر حسب PSM [۱] نشان داده می‌شود (PSM نسبت جریان اتصال کوتاه به جریان تنظیمی رله است). ضریب تنظیم زمانی نیز به صورت TDS [۲] یا TSM [۳] بیان می‌شود [۲] و [٤]. در ذیل اهم روشهای مدلسازی رله‌های جریان زیاد بیان می‌گردند. در فصل ۲ بیان می‌شود که چگونه از این مدلها برای مدل‌سازی رله جریان زیاد استفاده می‌شود.

الف) روش ذخیره سازی: ساده‌ترین روش، ذخیره نمودن نقاط منحنی مشخصه رله‌ها در کامپیوتر می‌باشد. برای افزایش دقت، باید تعداد نقاط ذخیره شده زیاد باشد. در این روش برای تعیین زمان عملکرد رله در حالتی که نقطه عملکرد رله برابر با یکی از نقاط ذخیره شده نباشد، لازم است که با استفاده از روشهای برازش منحنی زمان عملکرد رله را تعیین نمود. برای وسایلی که دارای تنظیمات زیاد و یا پیوسته می‌باشند، استفاده از روشهای ریاضی متداول‌تر است [۵].

ب) روش مدلسازی ریاضی: در این روش برای مدلسازی ریاضی منحنی مشخصه رله‌های جریان زیاد، از روابط نمایی یا چند جمله‌ای استفاده می‌شود [۵]. مدل ریاضی مناسب برای رله‌های جریان زیاد، باید دارای شرایط ذیل باشد [٦] و [۷] و [۸] و [۹]:

۱) منحنی برازش شده، نسبت به منحنی مشخصه واقعی رله دارای خطای کوچکی باشد.
۲) منحنی بدست آمده توسط معادله ریاضی به ازای PSM برابر با یک، باید به سمت بی‌نهایت میل‌کند.
۳) منحنی برازش شده باید برای حداقل جریان عملکرد رله، تا مقادیر بزرگ PSM مشابه منحنی مشخصه واقعی رله باشد.
٤) معادله ریاضی دارای شکل ساده‌ای بوده و محاسبات آن به سادگی قابل انجام باشد.

برای رله‌های جریان زیاد چندین مدل پیشنهاد شده است که در ادامه به توضیح برخی از آنها پرداخته می‌شود.

---

1 - Plug Setting Multiplier
2 - Time Devision Setting
3 - Time Setting Multiplier

الف) مدل وارینگتون[1]: در این مدل رابطه زمان عملکرد رله با پارامترهـای TSM و I_b رلـه بـه صورت زیر بیان می‌شود [۳]:

$$t = c + \frac{k}{(\frac{I}{I_b})^n - 1} * TSM \qquad (۱-۱)$$

در این رابطه:

TSM : ضریب تنظیم جریانی

I: جریان عبوری از رله

I_b: جریان تنظیمی رله

k: ضریب ثابتی وابسته به نوع رله

n: عددی ثابت وابسته به نوع مشخصه کاهشی رله

c: ضریب ثابتی برای در نظر گرفتن اثر اصطکاک و هیسترزیس

جدول ۱-۱: معادلات وارینگتون برای انواع رله‌های کاهشی

رله کاهشی معکوس	$t = \frac{0.14}{(\frac{I}{I_b})^{0.02} - 1} * TSM$
رله کاهشی اتصال زمین	$t = \frac{0.11}{(\frac{I}{I_b})^{0.02} - 1} * TSM$
رله کاهشی خیلی معکوس	$t = \frac{13.5}{(\frac{I}{I_b})^{1} - 1} * TSM$
رله کاهشی بی‌نهایت معکوس	$t = \frac{80}{(\frac{I}{I_b})^{2} - 1} * TSM$
رله حرارتی	$t = \frac{35}{(\frac{I}{I_b})^{2} - 1} * TSM$
رله اتصال زمین با تاخیر زمانی زیاد	$t = \frac{120}{(\frac{I}{I_b})^{1} - 1} * TSM$

توسط این رابطه می‌توان انواع مختلف رله‌های کاهشی را مدل کرد. این معـادلات بـرای چنـد نوع رله در جدول ۱-۱ آورده شده است. چگونگی محاسبه ضـرایب k و c در TSM هـای ثابـت در

---

1 - Warrington