

مشخصات فنی عمومی و اجرایی

پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال

سیستم های حفاظتی در پست های فشار قوی

نشریه شماره ۲ - ۵۰۲

جمهوری اسلامی ایران

مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال
سیستم های حفاظتی در پست های فشار قوی
نشریه شماره ۲ - ۵۰۲

وزارت نیرو - شرکت توانیر
طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق
www.tavanir.ir

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mporg.ir>



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

شماره: ۱۰۰/۵۰۴۶۹	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۸/۶/۲	
موضوع: مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال- سیستم‌های حفاظتی در پست‌های فشار قوی	
به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۵۰۲ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال- سیستم‌های حفاظتی در پست‌های فشار قوی (جلد اول) و (جلد دوم)» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست. عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی ارسال کنند. امیر منصور برقی معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور	

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست. از این رو، **از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:**

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

سازمان مرکزی - تهران ۱۱۴۹۹۴۳۱۴۱ - خیابان صفی علی شاه

<http://tec.mporg.ir>

بسمه تعالی

پیشگفتار

در اجرای ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور و به منظور تعمیم استانداردهای صنعت برق و ایجاد هماهنگی و یکنواختی در طراحی و اجرای پروژه‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع نیروی برق، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور (معاونت نظارت راهبردی - دفتر نظام فنی اجرائی) با همکاری وزارت نیرو - شرکت توانیر (دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی) در قالب طرح «ضوابط و معیارهای فنی صنعت برق» اقدام به تهیه مجموعه کاملی از استانداردهای مورد لزوم نموده است.

نشریه حاضر با عنوان «مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - سیستم‌های حفاظتی در پست‌های فشار قوی - جلد دوم» در برگیرنده مباحث مربوط به این سیستم‌ها شامل کلیات و تعاریف، معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب سیستم‌های حفاظتی، دستورالعمل نگهداری و آزمون‌های سیستم‌های مزبور در پست‌های فشار قوی می‌باشد. سیستم‌های حفاظتی مورد بحث عبارت است از حفاظت خطوط، حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت، حفاظت راکتورها، حفاظت کلیدهای قدرت، حفاظت بانک‌های خازنی و حفاظت شینه‌ها. معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از کوشش‌های دست‌اندرکاران به ثمر رسیدن این نشریه و همچنین سازمان‌ها و شرکت‌های مهندسی مشاور که با اظهارنظرهای سازنده خود این معاونت را در جهت غنا بخشیدن به آن یاری نموده‌اند سپاسگزاری و قدردانی نموده و توفیق روزافزون آنان را از درگاه ایزد یکتا آرزومند است.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۸

مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال - سیستم های حفاظتی در پست های فشار قوی - نشریه شماره ۲-۵۰۲

تهیه کننده

این مجموعه به وسیله شرکت مهندسين مشاور نیرو با همکاری آقایان مهندسين پوريا معقولى، خسرو طلوعيان، جمشيد خانشى و آقایان دکتر فرامرز رهبر و دکتر عارف درودى تهيه و تدوين شده است و توسط آقای اسماعيل زارعى مورد ويراستارى قرار گرفته است.

کمیته فنی

این نشریه همچنین در کمیته فنی طرح با مشارکت مجری و مشاور طرح و نمایندگان شرکت های مهندسی مشاور تحت پوشش وزارت نیرو به شرح زیر بررسی، اصلاح و تصویب شده است.

وزارت نیرو - سازمان توانیر - مجری طرح	آقای مهندس جمال بیاتی
کارشناس معاونت هماهنگی تولید	آقای مهندس حسین آخوندی
شرکت مشانیر	آقای مهندس نادر افشار
سازمان توسعه برق ایران	آقای مهندس بهمن الله مرادی
دفتر استانداردها - وزارت نیرو	آقای مهندس علیرضا خیری
مهندسين مشاور نیرو	آقای دکتر عارف درودی
شرکت مشانیر	آقای مهندس ابراهیم سعید زاده
شرکت مشانیر	آقای مهندس منصور سعیدی
شرکت مشانیر	آقای مهندس رضا صائمی
مهندسين مشاور قدس نیرو	آقای مهندس سید حسن عرب اف
دفتر استانداردها - وزارت نیرو	آقای مهندس رضا عفت نژاد
سازمان توسعه برق ایران	آقای مهندس بهروز قهرمانی
مهندسين مشاور نیرو	آقای مهندس پوريا معقولى
پژوهشگاه نیرو	آقای مهندس فرشید منصور بخت
مشاور معاون هماهنگی و نظارت بر بهره برداری سازمان توانیر	آقای مهندس اباذر میرزائی
پژوهشگاه نیرو	آقای مهندس سید جمال الدین واسعی
مهندسين مشاور قدس نیرو	آقای مهندس امیر رضا یزدان دوست
وزارت نیرو - سازمان توانیر - دبیر کمیته فنی	آقای مهندس احسان الله زمانی

مسوولیت کنترل و بررسی نشریه در راستای اهداف دفتر نظام فنی اجرائی به عهده آقایان مهندسین
پرویز سیداحمدی و محمدرضا طلاکوب بوده است.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول- اهداف، کلیات و تعاریف

۳	مقدمه
۳	۱-۱- کلیات.....
۳	۲-۱- ساختار عملکرد رله.....
۴	۳-۱- انواع رله‌ها.....
۴	۱-۳-۱- رله اضافه جریان
۵	۲-۳-۱- رله دیستانس
۷	۳-۳-۱- رله دیفرانسیل.....
۹	۴-۳-۱- رله ولتاژی.....
۱۰	۵-۳-۱- رله اضافه شار یا اضافه تحریک.....
۱۰	۶-۳-۱- رله فرکانسی.....
۱۱	۷-۳-۱- رله سنکرونیزم.....
۱۱	۸-۳-۱- رله زمانی.....
۱۲	۹-۳-۱- رله تریپ سرعت بالا.....
۱۲	۱۰-۳-۱- سایر رله‌ها.....
۱۲	۴-۱- تعاریف.....
۱۲	۱-۴-۱- زمان پاک شدن خطا.....
۱۲	۲-۴-۱- زمان عملکرد رله.....
۱۲	۳-۴-۱- زمان عملکرد رله‌های تریپ و کمکی.....
۱۲	۴-۴-۱- زمان بازشدن کلید قدرت.....
۱۲	۵-۴-۱- حفاظت اصلی.....
۱۳	۶-۴-۱- حفاظت پشتیبان.....
۱۳	۷-۴-۱- محدوده حفاظتی.....
۱۳	۸-۴-۱- قابلیت اطمینان.....
۱۳	۹-۴-۱- حساسیت
۱۳	۱۰-۴-۱- قدرت تمیز (قدرت تشخیص).....
۱۳	۱۱-۴-۱- ورودی/ خروجی رله.....
۱۳	۱۲-۴-۱- بلوک شدن رله.....

فصل دوم- معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب سیستم حفاظتی

۱۷	مقدمه
۱۷	۱-۲- کلیات.....
۱۸	۱-۱-۲- توسعه پستهای موجود.....
۱۸	۲-۲- حفاظت خطوط انتقال
۱۹	۱-۲-۲- حفاظت دیستانس.....
۱۹	۱-۱-۲-۲- محدوده‌های حفاظتی.....

۲۰	 ۲-۱-۲-۲- کارایی و حداقل ولتاژ پایانه رله
۲۱	 ۳-۱-۲-۲- مقاومت جرقه
۲۲	 ۴-۱-۲-۲- تزریق جریان در پایانه دور (کاهش دسترسی /افزایش دسترسی)
۲۳	 ۵-۱-۲-۲- خطوط چند مداره
۲۳	 ۶-۱-۲-۲- حفاظت دیستانس همراه با سیگنال حامل
۲۴	 ۷-۱-۲-۲- نظارت بر مدار ترانسفورماتور ولتاژ
۲۴	 ۸-۱-۲-۲- واحد سدکننده نوسانات قدرت
۲۵	 ۹-۱-۲-۲- واحد تشخیص خطا در هنگام برقرار نمودن
۲۵	 ۲-۲-۲- حفاظت اتصال زمین خطوط
۲۸	 ۳-۲-۲- حفاظت اضافه جریان خطوط (حفاظت ناحیه کور)
۲۹	 ۴-۲-۲- حفاظت اضافه / کاهش ولتاژ
۲۹	 ۵-۲-۲- حفاظت پیلوت خطوط انتقال
۳۱	 ۳-۲-۳- حفاظت شینه
۳۲	 ۱-۳-۲- حفاظت دیفرانسیل امپدانس بالا
۳۶	 ۲-۳-۲- حفاظت دیفرانسیل امپدانس پایین
۳۷	 ۴-۲-۳- حفاظت کلید قدرت
۳۷	 ۱-۴-۲- حفاظت اشکال کلید
۳۹	 ۲-۴-۲- نظارت بر مدار تریپ
۳۹	 ۳-۴-۲- حفاظت عدم هماهنگی کنتاکتهای کلید
۴۰	 ۵-۲-۳- حفاظت ترانسفورماتور قدرت
۴۱	 ۱-۵-۲- حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور قدرت
۴۲	 ۱-۱-۵-۲- بایاس رله دیفرانسیل
۴۳	 ۲-۱-۵-۲- ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه و اتوترانسفورماتور
۴۴	 ۲-۵-۲- حفاظت خطای زمین محدود شده
۴۵	 ۳-۵-۲- حفاظت افزایش شار/ولتاژ
۴۵	 ۴-۵-۲- حفاظت کاهش ولتاژ
۴۵	 ۵-۵-۲- حفاظت اضافه جریان فاز و نوترال
۴۶	 ۶-۵-۲- حفاظت تپ چنجر
۶۴	 ۷-۵-۲- حفاظت اضافه بار (حرارتی)
۴۶	 ۸-۵-۲- سایر حفاظتها
۴۷	 ۶-۲-۳- حفاظت راکتور
۴۹	 ۷-۲-۳- حفاظت بانک خازنی
۵۰	 ۱-۷-۲- حفاظت جریان زیاد یک واحد مجزا
۵۰	 ۲-۷-۲- حفاظت جریان زیاد بانک خازنی
۵۰	 ۳-۷-۲- حفاظت قوس الکتریکی در میان خازن
۵۰	 ۴-۷-۲- حفاظت ولتاژ زیاد بانک خازنی
۵۱	 ۵-۷-۲- حفاظت عدم تقارن جریان
۵۱	 ۸-۲-۳- طرحهای حفاظتی پیشنهادی
۵۱	 ۱-۸-۲- حفاظت خطوط ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت
۵۱	 ۲-۸-۲- حفاظت خطوط ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت
۵۱	 ۳-۸-۲- حفاظت ترانسفورماتورهای با ولتاژ اولیه ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت

۵۱	۲-۸-۴- حفاظت ترانسفورماتورهای با ولتاژ اولیه ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت
۵۲	۲-۸-۵- حفاظت کلید قدرت (در سطوح ولتاژی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت)
۵۲	۲-۸-۶- حفاظت شینه (در سطوح ولتاژی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت)
۵۲	۲-۸-۷- حفاظت راکتور
۵۲	۲-۸-۸- حفاظت بانک خازنی
۵۲	۲-۸-۹- حفاظت فیدر (۳۳) ۲۰ کیلوولت در پستهای ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت
۵۲	۲-۸-۱۰- جدول خلاصه حفاظتهای مورد استفاده در سطوح ولتاژ مختلف
۵۳	۲-۹- نیازمندیهای ترانسفورماتورهای جریان
۵۳	۲-۱۰- نمونه‌هایی از انتخاب طرحهای حفاظتی پستهای فوق توزیع و انتقال
۵۳	۲-۱۰-۱- رله‌گذاری یک پست ۶۳/۲۰ کیلوولت نمونه
۵۳	۲-۱۰-۱-۱- حفاظت خطوط ۶۳ کیلوولت
۵۴	۲-۱۰-۱-۲- حفاظت ترانسفورماتور ۶۳/۲۰ کیلوولت
۵۵	۲-۱۰-۱-۳- حفاظت فیدر ۲۰ کیلوولت، باس کوپلر و خازن
۵۵	۲-۱۰-۲- رله‌گذاری یک پست ۲۳۰/۶۳ کیلوولت نمونه
۵۵	۲-۱۰-۲-۱- حفاظت خطوط ۲۳۰ کیلوولت
۵۶	۲-۱۰-۲-۳- حفاظت ترانسفورماتور قدرت
۵۷	۲-۱۰-۲-۴- حفاظت شینه و باس کوپلر
۵۸	۲-۱۰-۲-۵- حفاظت کلید قدرت
۵۸	۲-۱۰-۲-۶- حفاظت فیدرهای خط ۴۰۰ کیلوولت با آرایش ۱/۵ کلیدی

فصل سوم- دستورالعمل نگهداری سیستم حفاظت

۶۳	مقدمه
۶۳	۳-۱- آزمونهای راهاندازی
۶۳	۳-۱-۱- آزمونهای عایقی
۶۳	۳-۱-۲- آزمون ترانسفورماتورهای جریان
۶۴	۳-۱-۳- آزمون ترانسفورماتور ولتاژ
۶۴	۳-۱-۴- بررسی صحت تنظیمات بر روی رله
۶۴	۳-۱-۵- آزمون رله به کمک تزریق جریان در ثانویه
۶۴	۳-۱-۶- آزمون سیستم حفاظتی به کمک تزریق جریان در اولیه
۶۶	۳-۱-۷- سایر موارد
۶۶	۳-۲- آزمونهای دوره‌ای تجهیزات حفاظتی
۶۷	۳-۲-۱- آزمایش دوره‌ای رله دیستانس (21,21N)
۶۷	۳-۲-۱-۱- مراحل اجرا
۶۷	۳-۲-۱-۲- مهارتهای مورد نیاز
۶۷	۳-۲-۱-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۶۷	۳-۲-۲- آزمایش دوره‌ای فاصله‌یاب خط(96)
۶۷	۳-۲-۲-۱- مراحل اجرا
۶۸	۳-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله وصل مجدد (79)
۶۸	۳-۲-۳-۱- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۶۸	۳-۲-۳-۲- مهارتهای مورد نیاز
۶۸	۳-۲-۳-۳- مراحل اجرا

۶۸	 ۲-۳-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۶۸	 ۳-۳-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۶۹	 ۴-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله سنکرون چک (25)
۶۹	 ۱-۴-۲-۳- مراحل اجرا
۶۹	 ۲-۴-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۶۹	 ۳-۴-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۶۹	 ۵-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله ولتاژ کم یا ولتاژ صفر (27)
۶۹	 ۱-۵-۲-۳- مراحل اجرا
۶۹	 ۲-۵-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۶۹	 ۳-۵-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۶۹	 ۶-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان مولفه منفی (46)
۶۹	 ۱-۶-۲-۳- مراحل اجرا
۷۰	 ۲-۶-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۷۰	 ۳-۶-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۷۰	 ۷-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان آنی (50,50N)
۷۰	 ۱-۷-۲-۳- مراحل اجرا
۷۰	 ۲-۷-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۷۰	 ۳-۷-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۷۰	 ۸-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان با زمان معین (51,51N)
۷۰	 ۱-۸-۲-۳- مراحل اجرا
۷۱	 ۲-۸-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۷۱	 ۳-۸-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۷۱	 ۹-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان با زمان معکوس (51, 51N)
۷۱	 ۱-۹-۲-۳- مراحل اجرا
۷۱	 ۲-۹-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۷۱	 ۳-۹-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۷۱	 ۱۰-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله تشخیص اشکال کلید (50 BF)
۷۱	 ۱-۱۰-۲-۳- مراحل اجرا
۷۲	 ۲-۱۰-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۷۲	 ۳-۱۰-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۷۲	 ۱۱-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله اضافه ولتاژ (59)
۷۲	 ۱-۱۱-۲-۳- مراحل اجرا
۷۲	 ۲-۱۱-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۷۲	 ۳-۱۱-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۷۲	 ۱۲-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله حفاظت اتصال زمین با ولتاژ باقی‌مانده (64)
۷۲	 ۱-۱۲-۲-۳- مراحل اجرا
۷۳	 ۲-۱۲-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز
۷۳	 ۳-۱۲-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز
۷۳	 ۱۳-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان جهت‌دار با زمان معین (67,67N)
۷۳	 ۱-۱۳-۲-۳- مراحل اجرا
۷۳	 ۲-۱۳-۲-۳- مهارت‌های مورد نیاز

۷۳	 ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۳-۱۳-۲-۳
۷۳	 آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان جهت‌دار با زمان معکوس (67,67N) ۱۴-۲-۳
۷۳	 مراحل اجرا ۱-۱۴-۲-۳
۷۴	 مهارت‌های مورد نیاز ۲-۱۴-۲-۳
۷۴	 ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۳-۱۴-۲-۳
	 آزمایش دوره‌ای رله دیفرانسیل ترانسفورماتور نوع درصدی (87NT,87T) ۱۵-۲-۳
۷۴	 مراحل اجرا ۱-۱۵-۲-۳
۷۴	 مهارت‌های مورد نیاز ۲-۱۵-۲-۳
۷۴	 ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۳-۱۵-۲-۳
۷۵	 آزمایش دوره‌ای رله اتصال زمین محدودشده نوع امپدانس بالا (87N) ۱۶-۲-۳
۷۵	 مراحل اجرا ۱-۱۶-۲-۳
۷۵	 مهارت‌های مورد نیاز ۲-۱۶-۲-۳
۷۵	 ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۳-۱۶-۲-۳
۷۵	 آزمایش دوره‌ای رله دیفرانسیل شینه (87B) ۱۷-۲-۳
۷۵	 مراحل اجرا ۱-۱۷-۲-۳
۷۵	 مهارت‌های مورد نیاز ۲-۱۷-۲-۳
۷۵	 ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۳-۱۷-۲-۳
۷۶	 آزمایش دوره‌ای ترانسفورماتور جریان (CT) ۱۸-۲-۳
۷۶	 مراحل اجرا ۱-۱۸-۲-۳
۷۶	 مهارت‌های مورد نیاز ۲-۱۸-۲-۳
۷۶	 ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۳-۱۸-۲-۳
۷۷	 آزمایش دوره‌ای ترانسفورماتور ولتاژ ۱۹-۲-۳
۷۷	 مراحل اجرا ۱-۱۹-۲-۳
۷۷	 مهارت‌های مورد نیاز ۲-۱۹-۲-۳
۷۷	 ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۳-۱۹-۲-۳
۷۷	 آزمایش دوره‌ای رله اضافه شار (98) ۲۰-۲-۳
۷۷	 مراحل اجرا ۱-۲۰-۲-۳
۷۷	 مهارت‌های مورد نیاز ۲-۲۰-۲-۳
۷۸	 ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۳-۲۰-۲-۳
۷۸	 آزمایش دوره‌ای مدارات قطع و وصل و اینترلاک کلید و سکسیونرهای ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت ۲۱-۲-۳
۷۸	 مراحل اجرا ۱-۲۱-۲-۳
۷۸	 مهارت‌های مورد نیاز ۲-۲۱-۲-۳
۷۸	 ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز ۳-۲۱-۲-۳
۷۹	 منابع و مراجع



Three horizontal lines of varying lengths, centered on the page. The lines are black and have a slight shadow or offset, giving them a three-dimensional appearance.

مقدمه

هدف از این فصل معرفی و شناخت سیستمهای حفاظتی در پستهای فشارقوی و المانهای آنها می باشد. همچنین تعاریف کلی مرتبط با سیستم حفاظتی نیز از دیگر مباحث این فصل خواهد بود. محدوده این نشریه تنها پستهای فشارقوی انتقال بوده و پستهای نیروگاهی را شامل نمی گردد.

۱-۱- کلیات

وظیفه سیستم حفاظت آن است که هر جزء از شبکه الکتریکی که دچار خطا یا اتصالی شده را در کمترین زمان ممکن از مدار خارج سازد، به شکلی که احتمال خطر از بین رفته و کوچکترین بخش از شبکه الکتریکی مجزا گردد. همین امر در شرایط بهره برداری غیرعادی نیز صادق است.

سیستمهای حفاظتی نقش اساسی در ایمنی، پایداری و قابلیت اطمینان سیستم برق رسانی را عهده دار بوده و از شروع یا گسترش دامنه خسارت ناشی از خطاهای مختلف جلوگیری می نمایند. همچنین عملکرد مناسب و انتخابی^۱ سیستم حفاظتی باعث کاهش سطح خاموشی می شود چرا که حداقل ناحیه ای را که برای رفع عیب کافی است از شبکه جدا نموده و باعث تداوم برق رسانی به قسمتهای دیگر شبکه می شود.

اجزاء اصلی یک سیستم حفاظتی شامل رله ها، ترانسهای جریان، ترانسهای ولتاژ و کلیدها هستند که اختلال یا عدم کارکرد صحیح هر یک از این اجزاء باعث عملکرد نادرست سیستم حفاظتی می گردد. در این میان رله ها وظیفه شناسایی خطا را برعهده داشته و مهمترین جزء سیستم حفاظتی می باشند که در ادامه مورد بررسی قرار می گیرند.

۱-۲- ساختار عملکرد رله

رله ها از نظر تکنولوژی ساخت به سه نوع الکترومکانیکی، استاتیک و دیجیتال^۲ تقسیم می گردند. نوع الکترومکانیکی رله ها در حال جایگزین شدن با انواع دیجیتال بوده و استفاده از آنها بسیار محدود شده است. در نوع استاتیکی طراحی بر مبنای ادوات الکترونیکی آنالوگ بوده و لذا فاقد امکان برنامه ریزی می باشند. در نوع دیجیتال از پردازنده جهت آنالیز جریان خطا و اعمال فرمان مناسب استفاده می شود و با توجه به این امر امکان برنامه ریزی رله و داشتن چندین مشخصه عملکردی متفاوت امکانپذیر خواهد بود. در این نوع رله ها چندین عملکرد مختلف که پیش از آن به کمک رله های مجزا انجام می گرفت را می توان بصورت مجتمع در یک رله قرارداد که البته این امر می تواند باعث کاهش قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی گردد. با این حال استفاده از رله های دیجیتال در حال حاضر گزینه اصلی حفاظتی بوده و پیشنهادات بر این مبنا ارائه می شوند.

1 . Selective

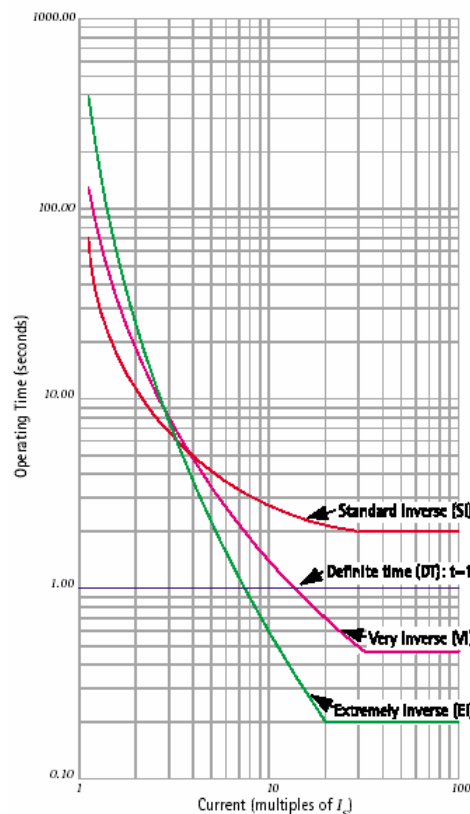
2 . Digital / numerical

۱-۳- انواع رله‌ها

جهت تشخیص انواع مختلف خطا و با توجه به مشخصه‌های مورد نیاز، انواع مختلفی از رله در سیستم حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در ادامه به اجمال معرفی می‌شوند.

۱-۳-۱- رله اضافه جریان^۱

متداولترین نوع رله که در شبکه استفاده می‌گردد، رله جریان زیاد است. رله‌های جریان زیاد تأخیری دارای چند مشخصه زمان – جریان بوده و زمان قطع آنها وابسته به مقدار جریان خطا می‌باشد. مطابق استاندارد IEC سری ۶۰۲۵۵ این نوع رله‌ها حداقل بایستی دارای چهار مشخصه مختلف باشند که زمانهای قطع متفاوتی را ارائه می‌کنند. این رله‌ها می‌توانند از نوع جهت‌دار باشند که در این صورت رله تنها به خطاهای در یک جهت پاسخ می‌دهد. رله جریان زیاد تأخیری می‌تواند به واحد آنی نیز مجهز گردد که در این صورت در جریانهای بسیار زیاد، زمان عملکرد رله ثابت و مقدار کوچکی خواهد بود. رله‌های اضافه جریان آنی می‌توانند بصورت واحد مجزا نیز مورد استفاده قرار گیرند. شکل شماره (۱-۱) مشخصه‌های زمان – جریان رله اضافه جریان را مطابق با استاندارد IEC نشان می‌دهد. رله‌های اضافه جریان دارای دو تنظیم زمانی و جریانی می‌باشند. به کمک تنظیم جریان می‌توان حد جریان شروع عملکرد^۲ رله را تنظیم کرد و به کمک تنظیم زمانی هماهنگی بین رله‌های مختلف امکانپذیر می‌گردد.



شکل ۱-۱: مشخصه‌های رله اضافه جریان

1 . Overcurrent relay
2 . Pick up current

۱-۳-۲- رله دیستانس

رله دیستانس نامی عمومی برای رله‌های امپدانس است که از ورودیهای ولتاژ و جریان استفاده کرده و یک سیگنال خروجی را تهیه می‌کنند. فرمان قطع زمانی صادر می‌شود که فاصله نقطه خطا از محل نصب رله کوچکتر از یک مقدار مشخص باشد. این نوع رله بطور گسترده‌ای برای حفاظت خطوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. رله دیستانس همچنین برای حفاظت اتصال حلقه به حلقه سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتورهای قدرت نیز می‌تواند استفاده شود.

مشخصه عملکردی رله دیستانس معمولاً بصورت گرافیکی و بر حسب دو متغیر X و R نشان داده می‌شود. دیاگرام مشخصه رله نشان‌دهنده امپدانسهایی است که در جهت قطع رله واقع می‌شوند و همچنین شامل امپدانسهایی است که رله به ازای آنها عمل نمی‌کند. رله‌های دیستانس بر حسب مشخصه عملکردی خود به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الف - رله دیستانس نوع راکتانسی

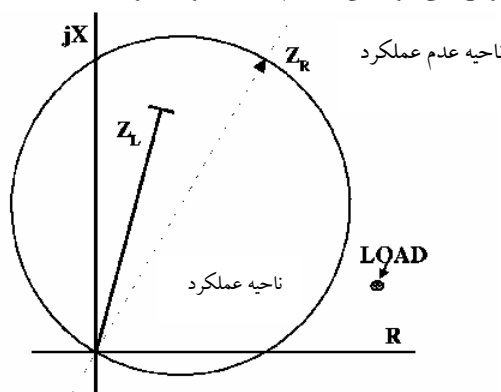
این نوع رله جزء موهومی امپدانس یعنی راکتانس (X) را اندازه می‌گیرد و مشخصه آن در صفحه $R-X$ بصورت یک خط موازی با محور R است. رله راکتانسی هنگامی عمل می‌کند که مقدار راکتانس خطا از محل رله تا نقطه خطا، کوچکتر از مقدار تنظیم شده باشد. این نوع رله نسبت به مقاومت خطا و بالطبع مقاومت جرقه حساس نیست اما لازمست به امکاناتی برای جهت‌دار شدن و عملکرد مناسب در مقابل امپدانس بار مجهز گردد. این نوع رله جهت حفاظت خطوط کوتاه که مقاومت جرقه در مقایسه با امپدانس خط قابل توجه است مناسب می‌باشد.

ب - رله دیستانس نوع امپدانس

رله امپدانس به اندازه امپدانس ($|Z|$) پاسخ می‌دهد و به این ترتیب مشخصه این رله بصورت یک دایره به مرکز مبدا مختصات صفحه $R-X$ می‌باشد. برای اینکه رله جهت‌دار شود لازم است که دارای امکانات اضافی دیگری باشد تا جهت منفی (ربعهای دوم، سوم و چهارم) را جدا کند.

ج - رله دیستانس نوع مهو

مشخصه رله مهو همانطور که در شکل (۱-۲) دیده می‌شود به صورت دایره‌ای است که قطر آن برابر امپدانس تنظیم شده است. رله مهو هنگامی عمل می‌کند که امپدانس دیده شده از محل رله تا نقطه خطا درون مشخصه قرار گیرد. از آنجا که قسمت اعظم مشخصه دایره‌ای شکل در ربع اول واقع می‌شود این رله جهت‌دار خواهد بود.



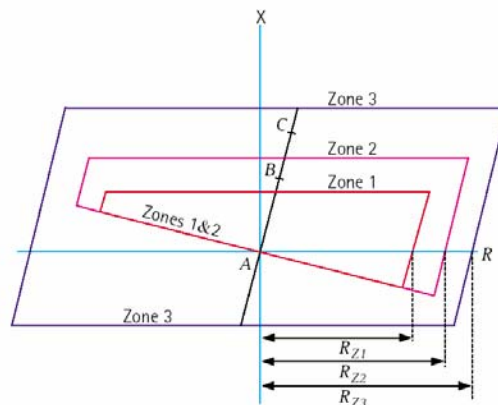
شکل ۱-۲: مشخصه عملکردی رله مهو

این مشخصه بخاطر سادگی و جهت‌دار بودن بسیار مورد استفاده قرار گرفته و در قیاس با رله امپدانس دارای حساسیت کمتری در مقابل نوسانات قدرت در شبکه است. این مشخصه همچنین دارای فاصله کافی با امپدانس بار می‌باشد. با این حال به دلیل آنکه این مشخصه دارای پوشش کمی در جهت محور حقیقی (R) است، در خطوط کوتاه ممکن است دچار مشکل در تشخیص ناحیه حفاظتی گردد (تأثیر مقاومت جرقه می‌تواند به حدی باشد که رله خطای موجود در یک ناحیه را در ناحیه بعدی ببیند).

در بعضی موارد زون سوم رله مهو کمی به سمت ربع سوم صفحه مختصات تغییر مکان داده می‌شود که این مشخصه به افسست مهو^۱ مشهور است. این موضوع باعث می‌شود که برای خطاهای حوالی شینه پشت خط حفاظت پشتیبان فراهم شود. نوع دیگری از انواع رله‌های مهو که به آن Cross Polarized می‌گویند دارای مشخصه مهو برای خطاهای سه فاز بوده و برای سایر خطاها، مشخصه در امتداد محور مقاومت باز می‌شود تا بتواند خطاهای جرقه را پوشش دهد.

د- رله دیستانس با مشخصه چهارضلعی

مشخصه این رله در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. تنظیم رله بر روی محور X و R بطور مستقل امکانپذیر بوده و این امر باعث بهبود مشخصه مقاومتی رله در مقایسه با رله مهو می‌گردد و امکان در نظر گرفتن مقاومت جرقه را به طور موثری فراهم می‌آورد.



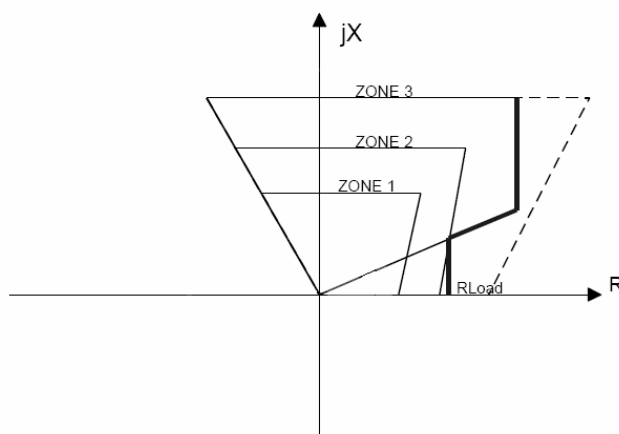
شکل ۱-۳: مشخصه چهارضلعی رله دیستانس

ه- سایر مشخصه‌ها

بجز موارد ذکر شده، رله‌ها می‌توانند دارای مشخصه بیضوی، ترکیبی و حالات خاص باشند. در مشخصه ترکیبی معمولاً از نوع راکتانس نظارت شده توسط مشخصه مهو استفاده می‌شود. رله بیضوی دارای مشخصه بیضوی (عدسی شکل^۲) در راستای زاویه خط بوده و به این ترتیب در مقابل امپدانس بار از پایداری مناسبی برخوردار است.

جهت پایداری بهتر رله دیستانس در مقابل امپدانس بار، می‌توان مشخصه چهارگوش رله‌ها را به نحوی اصلاح کرد که نسبت به امپدانس بار پایداری بیشتری نشان دهد. برای این کار مشخصه چهارگوش با توجه به حدود زاویه امپدانس بار بریده می‌شود. شکل شماره (۱-۴) این موضوع را نشان می‌دهد.

1 . Offset mho
2 . Lenticular



شکل ۱-۴: مشخصه چند ضلعی بریده شده

۱-۳-۳- رله دیفرانسیل

رله دیفرانسیل بر پایه جمع جبری جریانهای ورودی و خروجی در منطقه حفاظت شده عمل می‌نماید. در حالت عادی، جریانی که به یک نقطه وارد می‌شود برابر با جریانی است که از آن خارج می‌گردد، بنابراین تفاضل آنها صفر بوده و جریانی از رله نمی‌گذرد. اگر در نقطه حفاظت شده اتصالی رخ دهد، قسمتی از جریان به سمت نقطه اتصالی ریخته و جریان خروجی کمتر از جریان ورودی است، بنابراین جریانی از رله عبور می‌کند. اگر این جریان تفاضلی، بیشتر از مقدار تنظیم شده باشد، رله فرمان قطع را صادر می‌کند. این نوع حفاظت در اکثر قسمتهای سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. قابل ذکر است که این نوع حفاظت، اضافه بار و یا اتصالیهای خارج از منطقه حفاظت‌شده را نمی‌بیند و همچنین این رله تمامی اتصالیهای بین دوره‌های سیم پیچی در موتورها، ژنراتورها و ترانسفورماتور را تشخیص نمی‌دهد.

رله دیفرانسیل، حفاظتی با سرعت بالا و حساس را ارائه می‌نماید و به انواع زیر تقسیم می‌گردد:

- رله دیفرانسیل جریان زیاد
- رله دیفرانسیل درصدی
- رله دیفرانسیل امپدانس زیاد
- رله دیفرانسیل پایلوت

در رله‌های دیفرانسیل، انتخاب ترانسفورماتورهای جریان بسیار مهم بوده و برای عملکرد صحیح و مناسب حفاظت حیاتی می‌باشد.

الف - رله دیفرانسیل جریان زیاد

رله دیفرانسیل جریان زیاد در یک تفاضل جریان ثابت عمل کرده و به راحتی توسط خطاهای ترانسفورماتورهای جریان تأثیر می‌پذیرد. این نوع رله، در مقایسه با بقیه رله‌های دیفرانسیل دارای حساسیت کمتری است بخصوص زمانی که برای اتصالیهای زمین با مقادیر کم مورد استفاده قرار گیرد. در شرایط عادی، جریانی که از ترانسفورماتورهای جریان دو طرف می‌گذرد (با احتساب نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان) برابر است و بنابراین باید جریان ثانویه ترانسفورماتورها نیز یکسان باشند تا جریانی از رله عبور نکند.

معمولاً ترانسفورماتورهای جریان دقیقاً نسبت تبدیل نامی را ارائه نمی‌نمایند. بنابراین اگر از رله دیفرانسیل جریان زیاد استفاده می‌گردد، این رله باید بطریقی تنظیم گردد که ماکزیمم جریان خطای ترانسفورماتورهای جریان را تحمل نموده و فرمان قطع صادر نگردد. بهمین خاطر برای بدست آوردن حساسیت مورد نظر معمولاً از رله دیفرانسیلی درصدی بهره گرفته می‌شود.

ب - رله دیفرانسیل درصدی (بایاس شده)

رله‌های دیفرانسیل درصدی در شینه‌ها، ترانسفورماتورها، موتورها و ژنراتورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رله‌ها به سه نوع تقسیم می‌شوند. رله با درصد ثابت، رله با درصد متغیر که برای تمام موارد فوق بکار می‌روند و رله دارای فیلتر هارمونیک که تنها برای ترانسفورماتور بکار می‌رود.

رله‌های درصد متغیر برای تشخیص اتصالیهای سطح پایین در منطقه حفاظتی نسبت به رله‌های با درصد ثابت حساستر است. رله دیفرانسیل درصدی که برای ترانسفورماتور استفاده می‌شود، دارای حساسیت کمتری نسبت به رله‌هایی است که برای شینه، ژنراتور و موتور بکار می‌رود.

جهت بدست آوردن حساسیت مناسب در محدوده جریان خطا، رله‌های دیجیتالی دارای مشخصه بایاس متغیر می‌باشند. در این رله‌ها هرچه جریان دیفرانسیل ناشی از جریان خطا افزایش یابد، جریان بایاس نیز افزایش می‌یابد و رله در تمامی جریانها دارای حساسیت مناسب خواهد بود. در این رله‌ها از فیلتر هارمونیک دوم جهت پایداری رله دیفرانسیل در مقابل جریان هجومی ترانسفورماتور استفاده می‌شود.

ج - رله دیفرانسیل امپدانس زیاد

رله دیفرانسیل امپدانس زیاد برای حفاظت شینه و سیم‌پیچی ترانسفورماتور و به صورت رله دیفرانسیل جریانی و یا رله دیفرانسیل ولتاژی بکار می‌رود. در این رله‌ها، یک مقاومت بزرگ در مسیر جریان دیفرانسیل قرار می‌گیرد تا از عملکرد نادرست رله در شرایط خطاهای سنگین خارجی جلوگیری کند. عبور جریانهای دیفرانسیل بزرگ از این مقاومت باعث بروز اضافه ولتاژهای غیر مجازی در ترمینال ترانسفورماتورهای جریان می‌گردد که برای محافظت آنها در برابر این اضافه ولتاژها، یک مقاومت غیرخطی بصورت موازی با رله استفاده می‌شود تا دامنه این اضافه ولتاژها کنترل گردد.

د- رله دیفرانسیل امپدانس پایین^۱

بر خلاف رله‌های امپدانس بالا، در این رله‌ها از تکنیکهای دیگری همچون استفاده از بایاس (بند ب) جهت پایداری رله استفاده می‌شود و از مقاومت برای اینکار استفاده نمی‌گردد لذا به رله‌های امپدانس پایین معروف هستند.

ه- رله دیفرانسیل پایلوت

این نوع رله دارای سرعت بالایی بوده و برای حفاظت اتصالیهای فاز و زمین در خطوط کوتاه، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم حفاظتی، پایلوت در حقیقت کانالی است که دو انتهای خط انتقال را به هم ارتباط می‌دهد. این کانال معمولاً به سه شکل وجود دارد. اولین نوع آن همان پایلوت وایر و یا کانال سیمی (کابل) است و ارتباط جریانی از طریق کابل تامین می‌گردد.

نوع دوم پایلوت جریان کاربر (PLC) است. در این سیستم جریان فرکانس زیاد که فرکانس آن بین ۳ تا ۲۰۰ کیلو هرتز می باشد، از طریق یکی از سیمهای خط انتقال به گیرنده ای واقع در سر دیگر خط منتقل می شود. در این سیستم معمولاً زمین و سیم زمین بجای سیم برگشت عمل می کنند.

پایلوت میکروویو، سیستم رادیویی با فرکانس بالای ۹۰۰ مگاهرتز است. جهت فواصل کوتاه از حفاظت پایلوت وایر استفاده می شود و برای فواصل بیشتر پایلوت کاربر مورد استعمال دارد. موارد کاربرد پایلوت میکروویو زمانی است که از لحاظ فنی و اقتصادی پایلوت کاربر جوابگو نباشد.

این نوع رله گذاری شامل دو رله در دو انتهای خط است که توسط سیم پایلوت، جریان کاربر و یا میکروویو بهم متصل می شوند. خروجی سه ترانسفورماتور جریان به یک ترانسفورماتور جمع کننده اعمال می شود که در ثانویه آن جریانی ترکیبی که متناسب با جریان خط است تولید می شود و ولارپه آن متناسب با جهت جریان است. هر رله شامل یک عضو محدودکننده و یک عضو عمل کننده می باشد. عضو محدودکننده با مسیر جریانی پایلوت سری بوده و عضو عمل کننده هر رله، موازی با مسیر جریانی پایلوت واقع می شود.

در حالت کار عادی و در حالتی که اتصالی در خارج از منطقه حفاظتی رخ دهد جهت جریانه ها بگونه ای است که جریانی از اعضای عمل کننده عبور نمی کند.

اما زمانی که اتصالی در منطقه حفاظتی رخ دهد، جریان یک طرف در همان جهت باقی مانده ولی جریان طرف دیگر در جهت خلاف جاری می شود و نتیجتاً جریان را به سیم پیچهای اعضای عمل کننده تزریق می نماید. اگر جریان اتصالی تنها از یک کلید عبور کند رله واقع در محل آن کلید، جریان را از طریق مسیر پایلوت ارسال می کند و کلید در طرف مقابل نیز عمل می کند.

با توجه به توسعه استفاده از فیبر نوری و مزایای این روش، در حال حاضر طرحهای دیفرانسیل پایلوت عملاً توسط فیبر نوری اجرا می شوند. در این حالت صرفاً اطلاعات جریان خطا (اندازه و فاز) توسط فیبر نوری به رله دیفرانسیل ارسال می گردد. با توجه به مشخصه رله دیفرانسیل پایلوت، در خطوطی که از یک طرف توسط یک منبع ضعیف^۱ تغذیه می شوند می توان از این نوع حفاظت استفاده کرد. این حفاظت همچنین جهت حفاظت حدفاصل ترانسفورماتورهای نیروگاهی و شینه پست کاربرد دارد.

۱-۳-۴ رله ولتاژی

رله های ولتاژی به دو نوع ولتاژ کم و ولتاژ زیاد تقسیم می شوند که در حالت های نقصان و ازدیاد ولتاژ در شبکه عمل می نمایند. علاوه بر این، حالت عدم تقارن ولتاژ در سه فاز سیستم را حس نموده و فرمانهای کنترلی لازم را صادر می کنند. در بعضی از موارد، از رله ولتاژ زیاد در ترکیب حفاظت تفاضل ولتاژ بهره گرفته می شود، بنابراین چنانچه اختلاف دو ولتاژ از یک حد مشخص فراتر رود، رله عمل می کند.

الف - رله ولتاژ کم^۲

رله ولتاژ کم رله ای است که با کاهش ولتاژ مجموعه ای از کنتاکتها را متصل می کند و به دو نوع زیر تقسیم می گردد:

- رله با تأخیر زمانی: تنظیم ولتاژ با تپ های گسسته قابل انجام است و زمان تأخیر در ارسال فرمان قطع نیز قابل تنظیم می باشد.

1 . Weak infeed

2 . Under voltage relay

- رله آنی: در این حالت نیز تنظیم تپ‌های ولتاژ وجود دارد و زمان در یک محدوده کوچک قابل تغییر است.

ب - رله ولتاژ زیاد^۱

رله ولتاژ زیاد در مقابل افزایش ولتاژ عمل نموده و فرمانهای کنترلی را صادر می‌نماید. این نوع رله در حفاظت سیستم و تجهیزات در مقابل اضافه ولتاژ به کار می‌رود.

این رله می‌تواند در مقابل افزایش ولتاژ، سیگنال خبردهنده ارسال کند و یا در صورت لزوم بارها و مدارهای حساس به ولتاژ را قطع نماید و از صدمه دیدن آنها جلوگیری نماید.

رله‌های ولتاژ زیاد نیز دارای دو نوع تأخیری و آنی هستند. در رله‌های ولتاژ زیاد آنی تنها تنظیم ولتاژ آستانه مطرح است و پس از افزایش ولتاژ از حد مربوطه، رله بلافاصله عمل خواهد کرد.

ج - رله عدم تقارن ولتاژ فازها

این رله عدم تقارن ولتاژ در فازها را در حالت اتصال کوتاه و اشکال در فیوز ثانویه ترانس ولتاژ را حس می‌کند که این کار با اندازه‌گیری توالی صفر و منفی ولتاژها انجام می‌گیرد.

رله عدم تقارن ولتاژ برای ایزوله کردن رله‌ها یا وسایلی که با قطع ولتاژ در یک یا هر سه فاز ثانویه ترانس ولتاژ یا وجود اشکال در فیوز ثانویه ترانس ولتاژ نادرست عمل می‌کنند، بکار می‌رود. بعنوان مثال رله دیستانس یا رله سنکرونیزم، در این صورت فرمان نادرست صادر می‌کنند. بنابراین زمان قطع رله بالانس ولتاژ باید بحدی کوچک باشد تا قبل از اینکه رله‌های نامبرده باعث قطع کلید شوند، آنها را از مدار خارج کند.

۱-۳-۵ - رله اضافه شار یا اضافه تحریک

از آنجا که شار هسته ترانسفورماتور وابسته به نسبت ولتاژ به فرکانس است، رله اضافه شار نیز بر مبنای اندازه‌گیری نسبت ولتاژ به فرکانس (V/Hz) عمل می‌نماید. این رله دارای مشخصه عملکرد زمان معکوس می‌باشد، به این معنی که برای تغییرات زیاد (V/Hz)، در زمان کوتاه‌تری عمل می‌کند و تغییرات کوچک ولتاژ به فرکانس دارای تأخیری بیشتری خواهد بود. از آنجا که فرکانس در شبکه تقریباً ثابت است لذا افزایش ولتاژ در شبکه به معنی افزایش شار خواهد بود. به همین دلیل در بسیاری از موارد بجز در ترانسفورماتورهای نیروگاهی و ترانسفورماتورهای بزرگ از این نوع رله استفاده نمی‌شود. این رله بایستی در سمتی نصب شود که فاقد تپ بوده و در اتوترانسفورماتورها مناسبترین محل نصب سیم‌پیچ سوم خواهد بود.

۱-۳-۶ - رله فرکانسی

این رله‌ها برای اندازه‌گیری و نظارت بر روی فرکانس شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این رله‌ها به کاهش یا افزایش فرکانس و یا نرخ تغییرات فرکانس حساس می‌باشند.

کاربرد رله‌های فرکانس پائین زمانی است که در یک شبکه بارها بطور مستقل توسط ژنراتورهای داخلی و یا با ترکیب ژنراتورها و خطوط ارتباطی با شبکه‌های دیگر تغذیه گردند. زمانی که یک ژنراتور بطور ناگهانی از شبکه خارج می‌شود رله‌های فرکانس پایین بطور اتوماتیک تعدادی از بارها را خارج نموده تا مصرف با باقیمانده تولید هماهنگ شود. در شبکه قدرت از این رله به همراه رله ولتاژی جهت حذف بار^۱ استفاده می‌شود. در این مورد می‌توان به استاندارد حذف بار فرکانسی و ولتاژی که توسط شرکت مدیریت شبکه تهیه گردیده است مراجعه نمود.

۱-۳-۷- رله سنکرونیزم

این رله زمانی بکار می‌رود که دو یا چند فیدر به یک باس مشترک متصل می‌گردند. اتصال موفقیت‌آمیز دو منبع به یکدیگر بستگی به اختلاف دامنه‌های ولتاژ طرفین، زاویه‌های فاز و فرکانسهای دو منبع در زمان اتصال دارد. رله کنترل سنکرونیزم در صورت نزدیک بودن مقادیر دو طرف، اجازه اتصال را خواهد داد.

رله سنکرون کننده، رله‌ای است که در رابطه با اتصال ژنراتور به شبکه و یا اتصال دو شبکه مجزا مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رله سنکرون کننده برای کنترل یک یا چند کلید در یک نیروگاه و ارتباط با سیستم کنترل نیز بکار می‌رود. بر خلاف رله کنترل سنکرونیزم، رله سنکرون کننده می‌تواند فرمان وصل کلید را در نقطه دقیق سنکرونیزم صادر نماید.

سنکرون کردن دستی نیازمند آموزش، استفاده از قدرت تشخیص، تجربه و دقت کافی از طرف اپراتور است. کلیدها و ژنراتورها در صورت عدم دقت اپراتور دچار صدمه می‌شوند. بنابراین فرمان وصل کلید، تنها وقتی که رله سنکرونیزم اجازه دهد، صادر می‌گردد. رله کنترل سنکرونیزم برای نظارت بر اتصال دستی کلید بکار می‌رود. بنابراین اپراتور مقادیر سنکرونیزم را کنترل کرده و بطور دستی فرمان وصل می‌دهد ولی کنتاکت باز رله کنترل سنکرونیزم که بصورت سری قرار گرفته است از اتصال جلوگیری می‌کند. کنتاکت باز رله کنترل سنکرونیزم وقتی بسته می‌شود که اختلاف زاویه فاز در دو طرف کلید از مقدار مشخص کمتر بوده و همچنین اختلاف ولتاژ بین دو طرف مقدار کمی را دارا باشد.

از رله سنکرونیزم می‌توان جهت اتصال اتوماتیک ژنراتور به شبکه استفاده کرد. در این حالت علاوه بر اینکه شرایط سنکرونیزم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، فرمانهایی از طرف رله سنکرونیزم به سیستمهای تنظیم فرکانس و ولتاژ ژنراتور ارسال می‌گردد و اتصال کاملاً اتوماتیک صورت می‌گیرد.

۱-۳-۸- رله زمانی

رله زمانی در مواردی بکار می‌رود که تأخیر عمدی در ارسال سیگنال یا عمل قطع و وصل مورد نیاز باشد. بدین خاطر این رله اغلب به تنهایی بکار نمی‌رود و در کنار رله‌های سنجشی در حفاظت شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت رله‌های زمانی زیاد و قابل تنظیم می‌باشند.

نوع دیجیتالی این رله‌ها دارای قسمتی است که تابع تأخیر را تهیه نموده و فرمان قطع یا وصل کنتاکتهای کنترلی را صادر می‌نماید. این رله‌ها علاوه بر سیستم حفاظت در تجهیزات کنترل اتوماتیک و فرآیند صنعتی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

۱-۳-۹- رله تریپ سرعت بالا^۱

فرمان تریپ کلیه رله‌ها ابتدا به یک رله تریپ اعمال شده و سپس این فرمان از طریق رله تریپ به کلید ارسال می‌شود. مهمترین مشخصه رله‌های تریپ سرعت پاسخ آنهاست چرا که مستقیماً در زمان رفع خطا دخالت دارند. در حال حاضر رله‌های تریپ سریعی ساخته شده‌اند که باعث کاهش کلی زمان رفع خطا می‌گردند.

۱-۳-۱۰- سایر رله‌ها

انواع رله‌ها به موارد گفته شده در قبل محدود نمی‌شوند و از تنوع بسیار زیادی برخوردار هستند. از انواع دیگر رله می‌توان به رله نظارت بر قطع مدار تریپ، رله جابجایی نقطه صفر، رله کاهش امپدانس، رله تریپ، رله Lock out، رله وصل و رله اتوریکلوز اشاره کرد که در بخش مشخصات فنی بسته به کاربرد در پروژه توضیح داده شده‌اند. در مورد حفاظت‌های ویژه، فرکانسی و ولتاژی بایستی به استانداردهای شرکت مدیریت شبکه مراجعه کرد چرا که این حفاظتها در واقع حفاظتهایی سیستمی محسوب می‌شوند.

۱-۴- تعاریف

۱-۴-۱- زمان پاک شدن خطا

فاصله زمانی مابین وقوع خطا و لحظه قطع نهایی خطا توسط کلید قدرت که مجموع زمان عملکرد رله اصلی، رله‌های تریپ و کمکی و بازشدن کلید می‌باشد.

۱-۴-۲- زمان عملکرد رله

فاصله زمانی بین وقوع خطا و بسته شدن کنتاکتهای رله

۱-۴-۳- زمان عملکرد رله‌های تریپ و کمکی

زمانی که طول می‌کشد تا رله‌های کمکی و تریپ سیگنال عملکرد را از رله اصلی دریافت نموده و سیگنال لازم جهت باز نمودن کلید قدرت را ارسال دارند.

۱-۴-۴- زمان بازشدن کلید قدرت

عبارتست از کل زمانی که صرف می‌شود تا مکانیسم عمل کننده، کنتاکتهای کلید را باز کرده و جرقه خاموش شود.

۱-۴-۵- حفاظت اصلی

حفاظتی را که وظیفه اصلی پاک نمودن خطا به عهده آن می‌باشد را حفاظت اصلی می‌نامند.

1 . High speed trip relay

۱-۴-۶- حفاظت پشتیبان

حفاظتی است که در صورت عدم موفق بودن حفاظت اصلی در رفع خطا، با یک فاصله زمانی از قبل تعیین شده وظیفه پاک نمودن خطا را به عهده دارد.

۱-۴-۷- محدوده حفاظتی

ناحیه یا قسمتی از شبکه است که حفاظت آن به عهده یک سیستم حفاظتی مشخص واگذار شده است.

۱-۴-۸- قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی دارای دو جنبه است:

الف - قابلیت اتکا: سیستم در زمانی که به آن نیاز است عملکرد مناسب و صحیح داشته باشد.^۱

ب - امنیت: سیستم در زمانی که به آن نیاز نیست، عمل نکند.^۲

۱-۴-۹- حساسیت

یک سیستم حفاظت حساس است اگر جریان اولیه عملکرد کوچکی داشته باشد. چنانچه حساسیت در مورد یک رله مجزا مطرح گردد به معنای مصرف ولت آمپر در حداقل جریان عملکرد می باشد.

۱-۴-۱۰- قدرت تمیز (قدرت تشخیص)^۳

عبارتست از توانایی سیستم حفاظتی در تشخیص ناحیه معیوب و جداسازی حداقل ناحیه از شبکه بطوریکه خطا پاک گردد. به عبارت دیگر قدرت تمیز به معنای عدم عملکرد به ازای خطای خارج از زون حفاظتی رله می باشد.

۱-۴-۱۱- ورودی / خروجی رله

جهت ارتباط با تجهیزات پست و ارسال فرمان و دریافت وضعیت تجهیزات، رله ها بایستی مجهز به تعدادی ورودی و خروجی مناسب باشند که تعداد آنها با توجه به مشخصات پروژه تعیین می شود.

۱-۴-۱۲- بلوک شدن رله

در مواردی لازم است که از عملکرد یک رله ممانعت به عمل آید. به عنوان مثال در اتوریکلوز تکفاز امکان عملکرد نادرست رله خطای زمین وجود دارد (به دلیل دو فاز شدن سیستم) و به همین دلیل عملکرد اتوریکلوز بایستی باعث بلوک شدن رله خطای زمین گردد.

1 . Dependability

2 . Security

3 . Selectivity



Three horizontal lines of varying lengths, centered on the page. The lines are black and have a consistent thickness. The top line is the longest, the middle line is slightly shorter, and the bottom line is the shortest. They are all parallel to each other.

مقدمه

در این فصل به بررسی طرح حفاظتی استاندارد المانهای مختلف شبکه قدرت پرداخته می‌شود و برای هر المان بسته به سطح ولتاژ یک طرح پیشنهادی ارائه می‌شود.

۲-۱- کلیات

با توجه به اهمیت عملکرد و پاسخ سیستم به خطاها در شبکه، رله‌گذاری همواره بر مبنای رله‌گذاری اصلی و پشتیبان انجام می‌شود. مهمترین دلایل بکارگیری حفاظت پشتیبان به شرح زیر است:

- عدم عملکرد احتمالی یا ایراد در هر یک از المانهای تشکیل دهنده حفاظت اصلی اعم از ترانسفورماتور جریان، ترانسفورماتور ولتاژ، رله‌های اصلی، رله‌های کمکی و... که موجب عدم کارکرد صحیح حفاظت اصلی شود.

- تعمیرات و آزمایش حفاظت اصلی باعث خروج این سیستم از مدار می‌گردد که در این حالت حفاظت پشتیبان وظیفه حفاظت سیستم را برعهده می‌گیرد.

حفاظت پشتیبان به دو روش محلی یا از راه دور قابل اجراست. در حفاظت پشتیبان محلی، هر دو سیستم حفاظتی اصلی و پشتیبان به کلید واقع در پست فرمان می‌دهند. هر یک از سیستمهای حفاظت اصلی و پشتیبان از هسته‌های مجزای ترانس جریان تغذیه می‌شوند و به یکی از مدارهای قطع کلید فرمان می‌دهند و هریک دارای سیستم تغذیه DC مستقل و سیستم تغذیه مدار تریپ مستقل می‌باشند. در صورتی که رله‌های مورد استفاده در حفاظت پشتیبان یکسان باشند (به عنوان مثال استفاده از رله دیستانس هم در حفاظت اصلی و هم در حفاظت پشتیبان)، سیستم به نام SUB I و SUB II شناخته می‌شود (اولیه و ثانویه). در این حالت بایستی سعی شود رله‌ها در دو حفاظت از تپه‌ها و یا سازندگان مختلف انتخاب شوند تا ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی افزایش یابد. این امکان وجود دارد که رله‌ها در حفاظتهای SUB I و SUB II یکسان نباشند اما لازم است که بین عملکرد رله‌ها در دو حفاظت اختلاف زمانی وجود نداشته باشد.

روش دیگر پیاده‌سازی حفاظت پشتیبان محلی، استفاده از اختلاف زمانی عملکرد بین دو حفاظت می‌باشد. در این روش رله‌های پشتیبان به نحوی انتخاب و تنظیم می‌شوند که همواره پس از رله‌های اصلی عمل کنند و به این ترتیب در صورت عدم موفقیت رله‌های اصلی، رله‌های پشتیبان خطا را با تأخیر قطع می‌کنند.

لازم به ذکر است که در صورت استفاده از رله‌گذاری پشتیبان محلی، همچنان حفاظت پشتیبان راه دور نیز توسط نواحی حفاظتی سایر رله‌های غیر واحد پستهای دیگر و همچنین رله اشکال کلید^۱ فراهم می‌گردد.

در رله‌گذاری شبکه قدرت این امر بایستی همواره مورد توجه قرار گیرد که مرز اجزاء مختلف شبکه توسط کلیدها از یکدیگر مشخص می‌شوند اما مرزهای حفاظتی توسط ترانسفورماتورهای جریان از یکدیگر تفکیک می‌شوند. یکی از اصول مهمی که در رله‌گذاری بایستی رعایت شود آنست که مرزهای حفاظتی سیستم‌های مختلف تا حد امکان بایستی با یکدیگر همپوشانی داشته باشند تا این اطمینان حاصل شود که هیچ یک از بخشهای شبکه بدون حفاظت باقی نمانده است. بنا به توصیه استاندارد IEEE شماره C37.113، محل ترانسفورماتور جریان بایستی به گونه‌ای انتخاب شود که خطاهای به وقوع پیوسته بر روی کلید متناظر خود را نیز

1 . Breaker failure protection

ببیند. به عنوان مثال در یک فیدر متصل به یک شینه با طرح ساده، محل ترانسفورماتورهای جریان بین شینه و کلید خواهد بود که البته این امر در طرحهای استاندارد سیستم حفاظتی شبکه برق ایران متداول نیست. در حال حاضر سیستمهای حفاظتی متشکل از رله‌های میکروپرسسوری (دیجیتال / نیومریک) بوده که عملکردهای مختلف در یک رله بصورت مجتمع ارائه می‌گردند. با توجه به استفاده از سیستمهای کنترل جدید (DCS) و سیستمهای اتوماسیون پست (SAS)، این رله‌ها بایستی به گونه‌ای انتخاب شوند که قابلیت ارتباط با سیستمهای DCS را داشته و برای تبادل اطلاعات از پروتکل‌های استاندارد (همچون IEC 61850) استفاده کنند. در این حالت تعداد پورتهای ورودی و خروجی رله‌ها با توجه به نیازمندیهای کنترلی - حفاظتی پست و مشخصات سیستم کنترل DCS تعیین می‌گردد.

۲-۱-۱- توسعه پستهای موجود

در بسیاری موارد لازم است که سیستمهای قدیمی توسعه داده شوند. در این گونه موارد ممکن است رله‌های موجود پست از نوع استاتیکی و حتی الکترو مکانیکی باشند. در این حالت توسعه می‌تواند به دو شکل انجام شود:

- تعویض کلیه رله‌های قدیمی با رله‌های دیجیتال جدید که در این صورت سیستم حفاظتی پست بصورت یکپارچه و کاملاً هماهنگ خواهد بود.
- حفظ سیستم حفاظتی موجود و استفاده از رله‌های دیجیتال جدید تنها در بخش توسعه. در این حالت لازم است که ارتباطات رله‌های جدید با رله‌های قدیمی به درستی انجام و هماهنگ گردد و نحوه طراحی بسته به نظر مهندس طراح خواهد بود.

۲-۲- حفاظت خطوط انتقال

خطوط انتقال هوایی با توجه به شرایط محیط و آب و هوا و دیگر مسائل در معرض انواع مسائل طبیعی و حوادث می‌باشند که هر کدام از این حوادث ممکن است به نحوی باعث اتصال فازها با یکدیگر و یا با زمین شود. در بعضی موارد پارگی فاز و یا برخورد به بدنه برجهای خط انتقال نیز اتفاق می‌افتد. در فیدرهای کابلی و یا فیدرهای هوایی که از مناطق خاص جنگلی و یا زمینهای با مقاومت بالا عبور می‌کنند احتمال بروز جریانهای ناشی خطای زمین بسیار پایین نیز وجود دارد که نیازمندیهای حفاظتی خاص خود را دارد. با توجه به طیف گسترده خطاها در خطوط انتقال، سیستم حفاظتی بایستی توانایی تشخیص این خطاها و اعمال فرمان مناسب جهت رفع عیب را داشته باشد. به طور معمول در رله‌گذاری خطوط انتقال از رله‌های دیستانس، جریان زیاد فاز و زمین، دیفرانسیل پایلوت، اضافه و کاهش ولتاژ و در پاره‌ای موارد حفاظت خطای زمین حساس^۱ استفاده می‌شود.

در حال حاضر با توجه به توسعه سیستمهای GPS، امکان استفاده از حفاظت واحد^۲ وجود دارد. در این حالت با مقایسه فاز ولتاژ دو طرف خط می‌توان به وجود خطا پی برد^۳.

1 . Sensitive earth fault

2 . Unit protection

3 . phase measurement unit

۲-۲-۱- حفاظت دیستانس

رله‌های دیستانس جزء حفاظت‌های اصلی غیرواحد بوده و علاوه بر اقتصادی بودن مزایای فنی قابل ملاحظه‌ای دارند. این نوع حفاظت ساده و از نوع حفاظت‌های سریع می‌باشد. با ترکیب این سیستم با کانال سیگنال می‌توان حفاظت واحد را فراهم نمود و به این ترتیب هماهنگی رله‌های وصل مجدد دو طرف خط امکانپذیر می‌گردد.

اصول عملکرد رله دیستانس بر مبنای اندازه‌گیری امپدانس از محل رله بوده و این امر به کمک سنجش ولتاژ و جریان در محل پایانه رله انجام می‌گیرد. در هنگام وقوع خطا و اتصال کوتاه، امپدانس اندازه‌گیری شده متناسب با امپدانس از پایانه رله تا نقطه خطا بوده که بسیار کوچکتر از امپدانس دیده شده توسط رله در حالت عادی کار سیستم است. جهت سنجش امپدانس، بسته به نوع خطا، رله مقادیر مختلفی را اندازه‌گیری می‌کند و به عبارتی ورودی‌های جریان و ولتاژ متفاوتی در نظر گرفته می‌شود. رله‌ها بسته به استفاده از یک واحد اندازه‌گیر و یا چند واحد اندازه‌گیری به رله‌های سوئیچ‌شونده و غیرسوئیچ‌شونده تقسیم‌بندی می‌گردند. در رله‌های غیرسوئیچ^۱ شونده، به ازای هر فاز و جهت هر نوع خطا یک واحد سنجش مجزا تعبیه شده که این امر سرعت و کارایی رله را افزایش می‌دهد و توصیه می‌شود همواره از اینگونه رله‌ها استفاده شود.

در هنگام بروز خطای فاز به زمین، جهت اندازه‌گیری صحیح امپدانس خطا لازمست که $\frac{k-1}{3}$ برابر جریان باقیمانده یعنی $(I_a+I_b+I_c)$ به جریان اندازه‌گیری شده در فاز a افزوده شود. ضریب k که ضریب جبران‌سازی باقیمانده^۲ خوانده می‌شود به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$k = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \quad (۱-۲)$$

که در آن Z_0 و Z_1 امپدانس‌های مؤلفه مثبت و صفر خط مورد حفاظت هستند. بایستی دقت شود که رله‌های دیستانس به عنوان ورودی امپدانس تنها مقادیر امپدانس مؤلفه مثبت خط را دریافت کرده و به کمک ضریب k محدوده‌های حفاظتی خطاهای فاز به زمین را تشخیص می‌دهند.

۲-۲-۱-۱- محدوده‌های حفاظتی

در عمل به علت خطاهایی از قبیل تفاوت بین امپدانس محاسباتی و امپدانس واقعی خط، خطای ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ و همچنین عدم دقت رله‌ها، محدوده اول حفاظتی رله دیستانس در ۱۰۰ درصد طول خط تنظیم نشده بلکه محدوده تنظیمی ناحیه اول حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد خط انتقال خواهد بود. زمان عملکرد رله در این ناحیه آنی بوده و هیچ گونه تأخیری بر روی رله منظور نمی‌گردد. به این ترتیب ۱۵ تا ۲۰ درصد انتهای خط توسط ناحیه دوم رله دیستانس حفاظت خواهد شد که این حفاظت از نوع تأخیری می‌باشد.

جهت حفاظت آنی کل طول خط و هماهنگی رله‌های وصل مجدد دو طرف خط، از روشهایی همچون توسعه زون اول^۳ و یا ترکیب با سیگنال حامل استفاده می‌شود که در بخشهای بعد بدان پرداخته خواهد شد. فرمان قطع ناحیه اول رله دیستانس به رله

1 . Non switch
2 . Residual compensation
3 . Zone extension

وصل مجدد ارسال می‌شود (در خطوط هوایی). در بسیاری موارد، رله وصل مجدد به عنوان یک واحد در داخل رله دیستانس تعبیه شده است.

تنظیم ناحیه دوم رله دیستانس بایستی حداقل برابر با ۱۲۰ درصد امپدانس خط مورد حفاظت باشد. حد بالای تنظیم ناحیه دوم رله دیستانس برابر کل خط مورد حفاظت به علاوه ۵۰ درصد کوتاه‌ترین خط بعدی می‌باشد. از آنجا که عملکرد ناحیه دوم رله در واقع حفاظت پشتیبان می‌باشد بایستی با تأخیری در حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌ثانیه همراه باشد.

ناحیه سوم رله دیستانس را می‌توان در ۱/۲ برابر مجموع امپدانس خط مورد حفاظت و کوتاه‌ترین خط بعدی تنظیم کرد و تأخیر زمانی آن را بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌ثانیه نسبت به ناحیه دوم در نظر گرفت. در تنظیم ناحیه سوم رله دیستانس بایستی دقت کرد که به هیچ عنوان ناحیه سوم با امپدانس بار تداخل نداشته باشد. جهت محاسبه امپدانس بار بایستی بدترین شرایط یعنی حداکثر جریان و حداقل ولتاژ مجاز را در نظر گرفت. این امپدانس را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$Z_{load}^{min} = \frac{U_{min}}{\sqrt{3}I_{max}} = \frac{0.9U_n}{\sqrt{3}I_{max}} \quad (2-2)$$

که U_n ولتاژ نامی سیستم و I_{max} بیشترین جریان خط در شرایط بهره‌برداری پیک می‌باشد. در رله‌های جدید امکان استفاده از نواحی حفاظتی بیشتر و معکوس جهت حفاظت شینه نیز وجود دارد که جهت تنظیم این نواحی بایستی دستورات سازنده رله مورد مشورت قرار گیرد.

همچنین جهت تنظیم ناحیه سوم رله دیستانس نظرات متفاوتی وجود دارد. به عنوان مثال توصیه سازمان NERC تنظیم این ناحیه برابر مجموع طول خط اصلی و کوتاه‌ترین خط بعدی به علاوه ۲۵ درصد خط سوم می‌باشد. ممکن است سازندگان رله‌ها دستورالعمل‌های دیگری برای تنظیم این ناحیه داشته باشند که بسته به کاربرد می‌توان از آنها نیز استفاده نمود.

۲-۱-۲-۲- کارایی و حداقل ولتاژ پایانه رله

دقت عملکرد رله دیستانس و زمان عملکرد آن بستگی به حداقل ولتاژی دارد که در هنگام خطا در پایانه رله ظاهر می‌شود و رله از این نظر دارای محدودیت بوده و ولتاژ ورودی به آن که از طریق ترانس ولتاژ تأمین می‌شود بایستی از یک مقدار حداقل بالاتر باشد. این امر بخصوص در رله‌های قدیمی الکترومکانیکی و استاتیکی از اهمیت زیادی برخوردار است. ولتاژ ظاهر شده در پایانه رله را می‌توان به شکل زیر بیان داشت:

$$V_R = I_R Z_L = \frac{V}{Z_S + Z_L} Z_L = \frac{1}{(Z_S/Z_L) + 1} V \quad (3-2)$$

که در این رابطه:

Z_S : امپدانس منبع

Z_L : امپدانس خط

V : ولتاژ نامی سیستم

I_R : جریان خطا

V_R : ولتاژ ظاهر شده در پایانه رله می‌باشد.

برای خطاهای فاز، V در رابطه (۳-۲) ولتاژ فاز به فاز و برای خطاهای زمین، ولتاژ فاز به زمین می‌باشد.

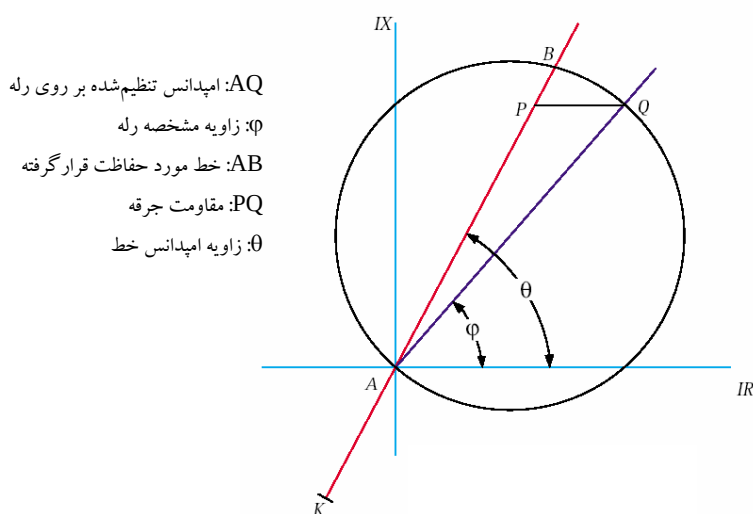
برای خطاهای زمین مقدار Z_S/Z_L بایستی به شکل زیر تصحیح شود:

$$\begin{cases} Z_S = 2Z_{S1} + Z_{S0} \\ Z_L = 2Z_{L1} + Z_{L0} \end{cases} \quad (۴-۲)$$

همانطور که در رابط (۳-۲) دیده می شود حداقل ولتاژ ظاهر شده در پایانه رله وابسته به نسبت امپدانس منبع به خط^۱ می باشد و لذا سازندگان ممکن است به جای ارائه حداقل ولتاژ پایانه جهت عملکرد رله، محدوده این امپدانس را تعیین کنند. با مشخص بودن حداقل ولتاژ عملکرد رله می توان حداقل طول خط که امکان حفاظت آن وجود دارد را تعیین کرد، در عین حال خطاهای بسیار نزدیک^۲ به رله باعث ایجاد ولتاژ بسیار کمی در پایانه رله می شوند که در این حالت رله معمولاً به کمک استفاده از حافظه قبلی مقدار ولتاژ اندازه گیری شده عمل می کند.

۲-۱-۳- مقاومت جرقه

تحت شرایط خطاهای سه فاز و یا تکفاز که در مسیر عبور جریان خطا، مقاومت جرقه و یا سایر انواع مقاومتها مثل مقاومت برج خط انتقال وجود داشته باشد، مقدار جزء اهمی امپدانس خط افزایش یافته و این امر زاویه امپدانس خط را تغییر می دهد. بنابراین دسترسی رله ای که بر مبنای زاویه امپدانس خط تنظیم شده باشد کاهش می یابد. شکل (۱-۲) این امر را در مورد یک رله با مشخصه مهو نشان می دهد.



شکل شماره ۱-۲: تأثیر مقاومت جرقه در امپدانس اندازه گیری شده

جهت جلوگیری از کاهش دسترسی رله همانطور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است می توان زاویه مشخصه رله را در مقداری کوچکتر از زاویه امپدانس خط تنظیم کرد. جهت تعیین این اختلاف زاویه لازمست که مقدار مقاومت جرقه تعیین گردد. این مقاومت را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

1 . Source to line impedance
2 . Close in faults

$$R_a = \frac{28710}{I^{1.4}} L \quad (5-2)$$

که در آن:

R_a : مقاومت جرقه بر حسب اهم

L : طول جرقه بر حسب متر و

I : جریان خطا بر حسب آمپر می‌باشد.

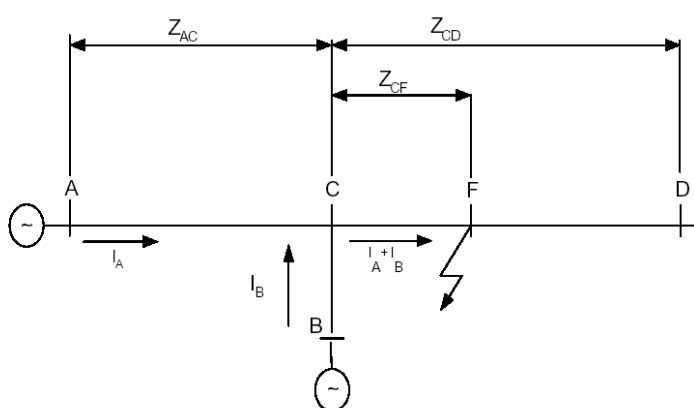
در خطوط طولانی می‌توان از اثر مقاومت جرقه صرف‌نظر کرد اما در خطوط کوتاه و در جریانهای خطای پایین تأثیر این مقاومت قابل ملاحظه خواهد بود. جهت حل این مشکل در خطوط کوتاه می‌توان از رله راکتانسی استفاده کرد که اصولاً به بخش مقاومتی امپدانس خطا حساس نیست. در عین حال مشخصه چهارگوش (چند ضلعی) رله‌های دیجیتالی امکان حفاظت مناسب را چه در خطوط کوتاه و چه بلند فراهم می‌آورند چرا که دسترسی مقاومتی این گونه رله‌ها بطور مستقل قابل تنظیم است.

۲-۱-۲-۴- تزریق جریان در پایانه دور (کاهش دسترسی / افزایش دسترسی)

تأثیر عمده تزریق جریان در پایانه دور کاهش دسترسی رله می‌باشد. کاهش دسترسی^۱ (کاهش برد) بدان معناست که امپدانس اندازه‌گیری شده توسط رله بیش از مقدار واقعی امپدانس خطا باشد. درصد کاهش دسترسی رله بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{Z_R - Z_F}{Z_R} \times 100\% \quad (6-2)$$

که Z_R امپدانس تنظیم شده بر روی رله و Z_F مقدار موثر دسترسی رله می‌باشد. شکل (۲-۲) تأثیر تزریق جریان پایانه دور را بر امپدانس اندازه‌گیری شده توسط رله نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲: تأثیر تزریق جریان پایانه دور بر دسترسی رله دیستانس

همانطور که در شکل (۲-۲) دیده می‌شود، امپدانس خطا برابر $Z_{AC} + Z_{CF}$ می‌باشد در حالیکه امپدانس اندازه‌گیری شده توسط رله که برابر نسبت ولتاژ به جریان در پایانه آن است بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \frac{V_A}{I_A} = \frac{Z_{AC} I_A + Z_{CF} (I_A + I_B)}{I_A} = Z_{AC} + Z_{CF} + \frac{I_B}{I_A} Z_{CF} \quad (7-2)$$

1 . Under reach

در این حالت رله امپدانس بیش از مقدار واقعی اندازه گیری می کند و لذا دسترسی آن کاهش می یابد. مقدار کاهش این دسترسی بستگی به نسبت $\frac{I_B}{I_A}$ دارد. جهت حل این مشکل می توان تنظیم رله را افزایش داد که این امر بایستی به دقت انجام گیرد چرا که در آینده ساختار شبکه و به تبع آن مقدار جریان تزریقی در پایانه دور تغییر خواهد کرد و چه بسا این جریان به صفر برسد که در این صورت رله با پدیده فرا دسترسی مواجه خواهد شد.

۲-۱-۵- خطوط چند مداره

اثر امپدانس متقابل در اندازه گیری مؤلفه های مثبت و منفی خطوط دو مداره ناچیز و در حد ۲ تا ۳ درصد امپدانس واقعی می باشد اما تأثیر امپدانس متقابل مؤلفه صفر قابل ملاحظه بوده می تواند باعث افزایش یا کاهش قابل ملاحظه دسترسی رله دیستانس گردد. جهت حل این مشکل می توان از واحد جبران امپدانس متقابل که بر روی رله دیستانس وجود دارد استفاده کرد. تنظیم این واحد بایستی مطابق با دستورالعمل سازنده انجام شود.

تنظیم واحد جبران سازی متقابل باعث عملکرد صحیح رله نصب شده بر روی خط اتصال کوتاه شده، می شود اما رله واقع در خط سالم جریان صحیح را اندازه گیری نمی کند و به همین دلیل عملکرد رله روی خط سالم بایستی قفل شود و یا واحد جبران امپدانس متقابل از مدار خارج گردد. در رله های دیجیتال جدید این مشکل رفع شده و لذا واحد جبران ساز همواره در مدار خواهد بود.

یکی از راه حل های پیشنهادی عبارتست از مقایسه جریان های زمین هر دو خط و آنگاه آزاد ساختن عامل جبران سازی بر روی خطی که جریان بیشتری دارد که طبعاً خط آسیب دیده می باشد. لازم به ذکر است که در واحد تشخیص محل خطا، بایستی جبران سازی امپدانس متقابل حتماً انجام گیرد چرا که در غیر این صورت محل خطا به درستی تشخیص داده نمی شود.

۲-۱-۶- حفاظت دیستانس همراه با سیگنال حامل

همانطور که قبلاً ذکر شد، رله دیستانس تنها ۸۰ درصد خط را تحت پوشش حفاظت سریع زون اول خود قرار می دهد و به این ترتیب خطاهای رخ داده در ۲۰ درصد انتها یا ابتدای خط توسط یک رله در زون اول و توسط طرف دیگر در زون دوم دیده می شود. این امر باعث می شود که خطاها در این دو محدوده به اندازه تأخیر زون دوم دیستانس (حدود ۴۰۰ میلی ثانیه) از یک طرف تغذیه شوند و از طرفی عمل وصل مجدد در دو طرف خط ناهماهنگ باشد. برای رفع این مشکل به کمک یک کانال مخابراتی و استفاده از طرح های اینترتریپ، عملکرد هماهنگ و همزمان رله های دو طرف خط به ازای بروز خطا روی خط مورد نظر تضمین می شود. طرح های استاندارد اینترتریپ در نشریه «اینترتریپ و اینترلاک در پست های فشار قوی» از سری همین استانداردها مورد بررسی قرار گرفته است.

بجای استفاده از طرح های اینترتریپ که نیازمند استفاده از کانال های مخابراتی است می توان از روش توسعه زون اول نیز استفاده نمود. در این حالت رله دیستانس در زون اول خود بر روی ۱۲۰ درصد امپدانس خط تنظیم می شود و به این ترتیب رله های دو طرف خط، کل خط را در زون اول خود می بینند. پس از اولین فرمان قطع که به رله وصل مجدد ارسال می شود، اگر خطا رفع نگردد دسترسی ناحیه اول رله های دیستانس به ۸۰ درصد تغییر می کند. به این ترتیب به ازای خطاهای روی خط رله های وصل مجدد دارای یک عملکرد کاملاً هماهنگ خواهند بود اما در صورت دائمی بودن خطا، همچنان مشکل عدم هماهنگی در باز شدن کلیدهای دو طرف خط وجود دارد. با این حال از آنجا که اکثر خطاها بصورت گذرا هستند طرح توسعه ناحیه اول دارای کارایی مناسبی می باشد.

لازم به ذکر است که روش توسعه زون اول نبایستی در سطوح ولتاژ انتقال مورد استفاده قرار گیرد. در این سطوح ولتاژی همواره از طرحهای اینترتریپ استفاده می‌شود.

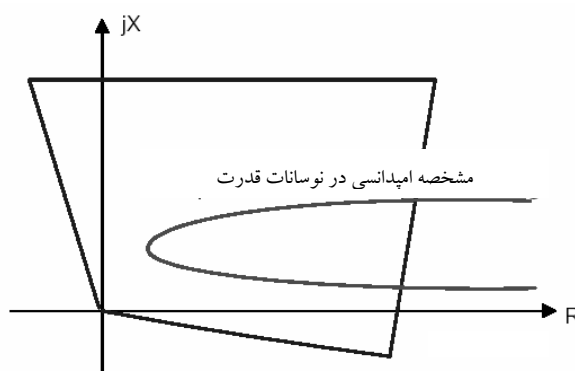
۲-۱-۷- نظارت بر مدار ترانسفورماتور ولتاژ

هر گاه سیگنال ولتاژ از ترانسفورماتور ولتاژ به رله دیستانس ارسال نشود، ولتاژ اعمالی به رله جهت اندازه‌گیری امپدانس صفر شده و از دیدگاه رله می‌تواند دلیل بر وجود خطا باشد. عدم ارسال سیگنال ولتاژ می‌تواند به دلیل عملکرد فیوز یا کلید مینیاتوری مدار ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ و یا پارگی کابل‌های مسیر باشد. در این گونه مواقع بایستی به نحوی جلوی عملکرد نابجای رله دیستانس را گرفت که این کار با روشهای مختلفی انجام می‌شود.

یکی از روشها استفاده از رله‌های ناظر بر مدار ولتاژ است که به کمک تشخیص ولتاژها و جریانهای مؤلفه منفی و صفر، وجود خطا در مدار ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ را نشان می‌دهد. در رله‌های دیستانس مدرن معمولاً این واحد به همراه رله دیستانس ارائه می‌شود.

۲-۱-۸- واحد سدکننده نوسانات قدرت^۱

بروز اغتشاشات مختلف در شبکه می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در دامنه و زوایای ولتاژ دو سر خطوط در شبکه گردد. این تغییرات از دید رله دیستانس بصورت تغییر در امپدانس اندازه‌گیری شده مشاهده می‌شود. در صورتیکه تغییرات امپدانس به نحوی باشد که امپدانس دیده شده توسط رله وارد یکی از نواحی حفاظتی گردد رله عمل خواهد کرد. شکل (۲-۳) محدوده تغییرات امپدانس ناشی از نوسانات قدرت را در مقایسه با ناحیه حفاظتی سوم یک رله دیستانس نمونه با مشخصه چهارضلعی نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳: منحنی تغییرات امپدانس ناشی از نوسانات قدرت

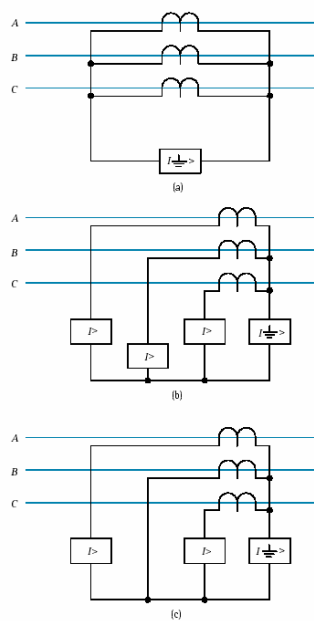
رله دیستانس می‌بایستی بین تغییرات امپدانس ناشی از نوسانات قدرت و خطا تفاوت قائل شود و در صورتیکه این تغییرات امپدانس ناشی از نوسانات قدرت باشد عمل ننماید. بدین منظور یک واحد اضافی به نام سدکننده نوسانات قدرت به رله دیستانس اضافه می‌شود تا عملکرد رله را در هنگام بروز این نوسانات بلوکه نماید. جهت تمایز بین تغییرات امپدانس ناشی از خطا و نوسانات قدرت، از نرخ تغییرات امپدانس استفاده می‌شود. سرعت تغییرات امپدانس در هنگام بروز نوسانات قدرت بسیار کمتر از هنگام بروز خطاست و همین امر جهت تشخیص آن بکار می‌رود.

۲-۲-۱-۹- واحد تشخیص خطا در هنگام برقدار نمودن^۱

به دلایل مختلف ممکن است فرمان وصل کلید زمانی صادر شود که خط همچنان دچار اتصالی باشد. این امر می‌تواند به دلیل باقی ماندن وسایل زمین کردن موقتی مورد استفاده در پروسه تعمیر خطوط و یا عدم رفع خطا بعد از باز شدن کلید باشد. در این مواقع به دلیل عدم وجود ولتاژ در واحد حافظه رله دیستانس، رله عمل نکرده و کلید، خط دچار اتصالی را برقدار می‌کند. جهت جلوگیری از این امر یک واحد اضافی جریان زیاد سریع به رله دیستانس افزوده می‌شود که تنها در هنگام وصل خط وارد مدار شده و پس از آن از مدار خارج می‌گردد.

۲-۲-۲- حفاظت اتصال زمین خطوط

به کمک تعیین جریان باقیمانده در سیستم که تنها در هنگام بروز خطای زمین وجود دارد، می‌توان حفاظت موثری جهت خطاهای زمین فراهم کرد. به این ترتیب رله خطای زمین کاملاً در برابر جریان بار پایدار بوده و به آن پاسخ نمی‌دهد. شکل (۲-۴) نحوه اتصال ترانسفورماتورهای جریان را جهت حفاظت خطای زمین و حفاظت اضافه جریان نشان می‌دهد. با توجه به اینکه رله‌های خطای زمین به جریان بار حساس نیستند تنظیم جریانی آنها معمولاً بر روی ۳۰ تا ۴۰ درصد جریان بار حداکثر و یا حداقل جریان خطای زمین قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۴: اتصالات ترانسفورماتورهای جریان جهت حفاظت اتصال زمین

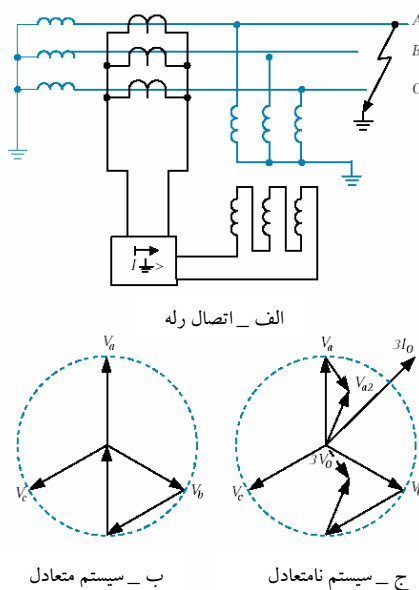
رله جریانی اتصال زمین جهت‌دار در بیشتر خطوط انتقال نیرو به عنوان پشتیبان رله‌های دیستانس، جهت حفاظت اتصالیهای فاز به زمین به کار می‌رود. در خطوط کوتاهی که حفاظت اصلی آنها دیفرانسیل پایلوت است نیز رله‌های جریان زیاد به عنوان پشتیبان حفاظت اتصال زمین در نظر گرفته می‌شوند.

1 . Switch on to fault feature

جریانهای اتصال زمین بستگی به نوع زمین کردن شبکه دارند و زمانیکه شبکه زمین نشده باشد، از ترانسفورماتور زمین بهره گرفته می‌شود. در این روش یک عنصر جهت‌دار برای تشخیص جهت جریان خطا و فیدر اتصالی منظور می‌گردد. در این حالت رله با یک سیم‌پیچ ولتاژ (جهت اندازه‌گیری ولتاژ باقیمانده) و یک سیم‌پیچ جریان (جهت اندازه‌گیری جریان باقیمانده) عمل می‌نماید. به طور معمول میزان تنظیم رله خطای زمین در سمت اولیه – مانند سایر رله‌های جریانی – برابر حاصلضرب تنظیم رله و نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان می‌باشد. این امر تا زمانی صادق است که تغییرات ولت آمپر مصرفی^۱ رله در محدوده تنظیم رله به ازای انتخاب مقادیر مختلف تنظیم جریانی کوچک باشد. این موضوع در مورد رله‌های دیجیتال و استاتیک صادق است، با این حال بایستی مورد بررسی قرار گیرد. اگر تغییرات ولت آمپر مصرفی این گونه رله‌ها در بازه تنظیم آنها زیاد باشد، بایستی از روشهایی که در مورد رله‌های الکترومکانیکی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند، تنظیم موثر رله را بدست آورد.

فاصله زمانی بین عملکرد رله‌های خطای زمین جهت‌دار در فرآیند هماهنگی رله‌ها می‌تواند همانند رله‌های جریانی فاز در نظر گرفته شود اما در پاره‌ای موارد این زمان به خاطر وجود خطاهای مختلف بیشتر از ۴۰۰ میلی‌ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

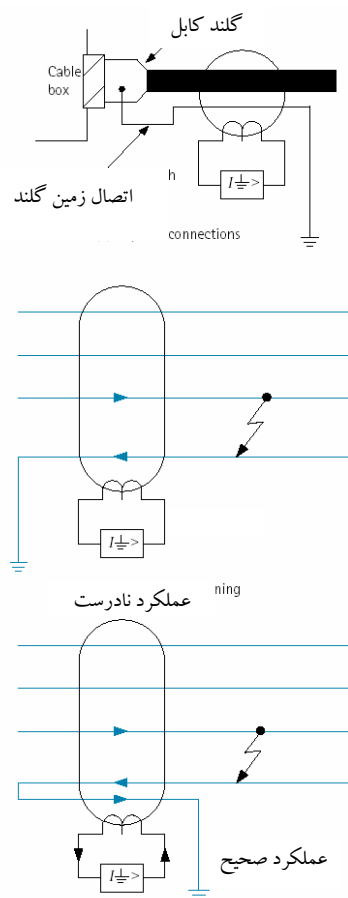
رله‌های خطای زمین بکار رفته در سطوح ولتاژی ۶۳ تا ۴۰۰ کیلوولت بایستی از نوع جهت‌دار باشند. برای تعیین جهت، ولتاژ باقیمانده سیستم که از جمع برداری ولتاژهای فازها بدست می‌آید به رله اعمال می‌شود. شکل شماره (۲-۵) ترکیب این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵: رله خطای زمین جهت‌دار پلاریزه شده توسط ولتاژ

در بسیاری موارد جریان خطای زمین در شبکه بسیار کوچک بوده و در نتیجه رله‌های خطای زمین متداول قادر به تشخیص و جداسازی این خطاها نیستند. این موارد شامل شبکه‌های زمین شده با مقاومت و شبکه‌های با مقاومت زمین بالا می‌باشد. همچنین در مواردی که پارگی خط انتقال رخ می‌دهد جریان نشتی به زمین می‌تواند بسیار کوچک باشد و در عین حال اتصال خط برقرار به زمین

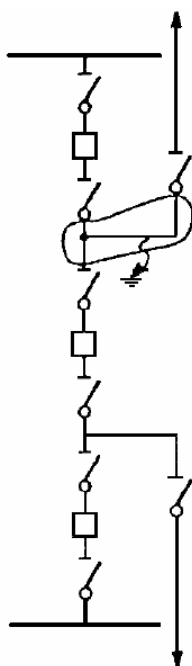
باعث ایجاد خطرات خاصی خواهد شد. در این موارد می‌توان از رله خطای زمین حساس استفاده کرد. جهت دستیابی به حساسیت موردنظر لازمست که در صورت امکان (همچون فیدرهای ۲۰ کیلوولت) بجای ترانسفورماتورهای جریان متداول از ترانسهای جریان حلقوی^۱ استفاده نمود. تنظیم جریانی این رله‌ها می‌تواند تا حد ۱۰ درصد جریان عادی مدار باشد و از آنجا که هماهنگی این حفاظتها با سایر دیگر حفاظتها ممکن نیست، تأخیر زمانی قابل ملاحظه‌ای (تا ۱۵ ثانیه) برای این رله‌ها در نظر گرفته می‌شود. پیشنهاد می‌شود که فرمان این رله‌ها به جای تریپ کلید مربوطه صرفاً بصورت آلارم وارد پست گردد چرا که به دلایل مختلف این رله می‌تواند فرمانهای اشتباه صادر کند. به عنوان مثال در خطوطی که از مناطق جنگلی عبور می‌کنند معمولاً جریانهای ناشی ناچیزی وجود دارد که رله نباید به آنها پاسخ دهد. به هر حال بسته به دلیل استفاده از رله خطای زمین حساس و مشخصات محیطی که خط از آن عبور می‌کند می‌توان از این رله جهت تریپ و یا آلارم استفاده کرد. در فیدرهای کابلی این رله جهت تشخیص جریانهای ناشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت بایستی دقت کرد که اتصالات ترانسفورماتور جریان حلقوی به گونه‌ای باشد که بتواند جریان ناشی را تشخیص دهد. اگر غلاف کابل زمین شده باشد، اتصال زمین گلد نیز بایستی وارد حلقه ترانسفورماتور جریان گردد تا امکان تشخیص جریانهای ناشی از اتصال فاز به غلاف وجود داشته باشد. این امر در شکل (۶-۲) نشان داده شده است. این حفاظت عمدتاً در فیدرهای کابلی و ترانسهای فوق توزیع (۶۳/۲۰ یا ۱۳۲/۲۰ کیلوولت) استفاده می‌شود.



شکل ۶-۲: اتصال صحیح ترانسفورماتور حلقوی در فیدرهای کابلی

۳-۲-۲- حفاظت اضافه جریان خطوط (حفاظت ناحیه کور)

رله‌های اضافه جریان در واقع ساده‌ترین نوع رله قابل استفاده جهت حفاظت خطوط می‌باشند. در سطوح ولتاژی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، رله‌های اضافه جریان جهت حفاظت ناحیه کور مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از موارد کاربرد این نوع رله در پستهای ۱/۵ کلیدی می‌باشد. در این آرایش هنگامی که سکسیونر خط باز و خط برقرار باشد، چنانچه در حد فاصل فیدر خروجی از بی و سکسیونر خط (این ناحیه در شکل ۲-۷ مشخص شده است) اتصالی پیش آید رله ولتاژ کار سیستم را عادی دیده و به همین دلیل تحت تأثیر این اتصالی نخواهد بود و امکان برطرف شدن این خطا توسط رله دیستانس وجود ندارد. در این حالت از یک رله اضافه جریان تحت عنوان حفاظت ناحیه کور^۱ استفاده می‌شود که وظیفه قطع مدار در این مواقع را برعهده خواهد داشت.



شکل ۲-۷: ناحیه حفاظت شده در آرایش ۱/۵ کلیدی توسط حفاظت ناحیه کور

در سطوح ولتاژی ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت، رله‌های اضافه جریان جهت‌دار به عنوان حفاظت پشتیبان خطوط بکار می‌روند. در صورتیکه این رله‌ها از نوع غیر جهت‌دار انتخاب شوند لازمست که با رله‌های اضافه جریان داخل پست نیز هماهنگ گردند که این امر باعث بالا رفتن زمان عملکرد این رله‌ها می‌گردد و به همین دلیل لازمست که از نوع جهت‌دار انتخاب شوند. تنظیم جریانی این رله‌ها باید به گونه‌ای باشد که در شرایط حداکثر بار عمل نکنند و در عین حال به ازای حداقل جریان خطا واکنش نشان دهند. تنظیم زمانی این رله‌ها بر مبنای نیازمندیهای هماهنگی^۲ بین سایر رله‌ها انجام می‌شود. لازمست که بین عملکرد

1 . Stub proection
2 . Coordination

رله‌های اضافه جریان بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌ثانیه (بسته به زمان عملکرد کلیدها) فاصله وجود داشته باشد. جهت حصول فواصل زمانی مناسب، جدای از تغییرات تنظیم زمانی رله می‌توان از منحنی‌های مختلف مانند (Standard inverse/very inverse/extremely inverse) استفاده کرد.

۲-۲-۴- حفاظت اضافه / کاهش ولتاژ

حفاظت اضافه ولتاژ در خطوط بلند ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت جهت حفاظت در مقابل اضافه ولتاژهای ناشی از جریان شارژ خط (اثر فرانتی) بکار می‌رود. این خطوط به طور معمول مجهز به راکتور موازی بوده و اگر این راکتور به شینه پست متصل و از نوع سوئیچ‌شونده باشد، حفاظت اضافه ولتاژ جزء حفاظت‌های راکتور خواهد بود. کاربرد دیگر رله اضافه ولتاژ در پستهای نیروگاهی است. رله کاهش ولتاژ به دو منظور در حفاظت خطوط منظور می‌گردد:

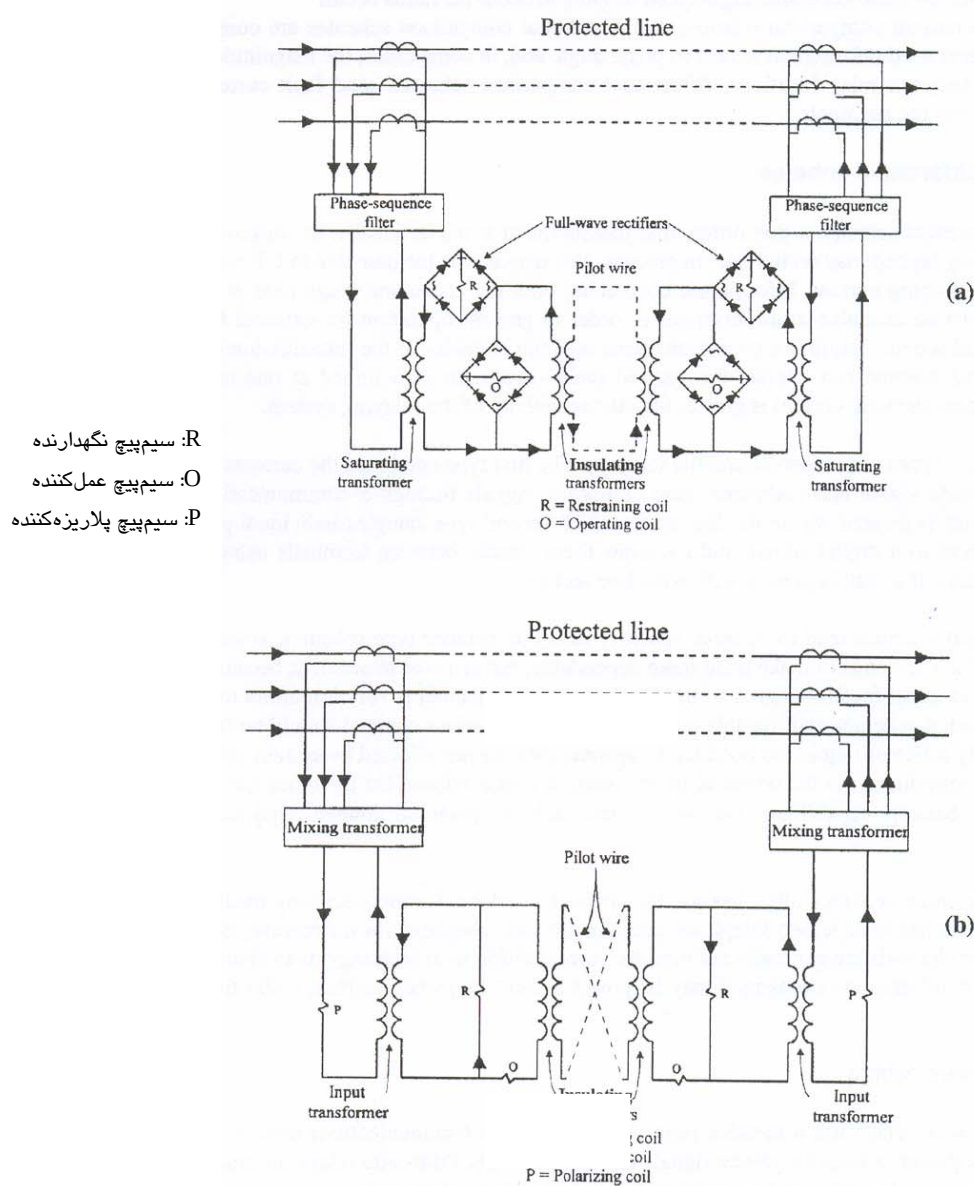
الف) پس از وقوع خاموشی سراسری در شبکه، جهت بازیابی^۱ ساده شبکه لازمست کلیه بارها و خطوط مجزا شده باشند که این امر توسط رله‌های کاهش ولتاژ (ولتاژ صفر) انجام می‌گیرد. محدوده تنظیم زمانی این رله‌ها معمولاً بصورت تأخیری و در حدود ۲ تا ۷ ثانیه و در مواردی ۵ تا ۷ ثانیه می‌باشد. رله کاهش ولتاژ در کلیه سطوح ولتاژ انتقال و فوق توزیع به عنوان حفاظت اصلی (SUB I) در نظر گرفته می‌شود.

ب) مجاز نمودن عمل بستن سکسیونر زمین خط: به کمک اینترلاک مناسب از این رله جهت جلوگیری از زمین کردن خط برقرار استفاده می‌شود.

لازم به ذکر است که در خطوط از رله کاهش ولتاژ به عنوان رله ولتاژ صفر استفاده می‌شود.

۲-۲-۵- حفاظت پایلوت خطوط انتقال

این نوع حفاظت جزو حفاظت‌های واحد بوده و جهت حفاظت خطوط کوتاه و یا هادیهای محوطه پست استفاده می‌شود. این حفاظت تنها به حفاظت‌های داخل محدوده پاسخ می‌دهد و به دو شکل سیستم جریان چرخشی و سیستم توازن ولتاژ اجرا می‌شود. در این طرحها، رله‌های دو طرف خط توسط یک جفت سیم پایلوت به یکدیگر متصل شده و مقادیر جریانهای یکطرف خط از طریق سیم پایلوت به طرف دیگر منتقل می‌شود. شکل شماره (۲-۸) دو طرح مختلف حفاظت پایلوت را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸: حفاظت پایلوت (a) طرح جریان چرخشی (b) طرح توازن ولتاژ

در این طرح‌ها، سیگنال‌های جریان فازها و جریان باقیمانده به یک سیگنال تبدیل می‌شوند تا از طریق سیم پایلوت قابل انتقال باشند.

در طرح‌های حفاظتی پایلوت می‌توان از رله‌های دیفرانسیل امپدانس بالا^۱ و یا امپدانس پایین^۲ استفاده کرد و در هر یک از موارد بایستی اطمینان داشت که در شرایط اشباع ترانسفورماتورهای جریان، سیستم حفاظتی عملکرد مناسبی خواهد داشت

1 . High impedance differential relay
2 . Low impedance differential relay

جهت جلوگیری از القای ولتاژ توسط هادیهای فاز بر روی سیم پایلوت، می‌توان از فیبر نوری جهت انتقال سیگنال استفاده کرد. در غیر اینصورت بایستی نیازمندیهای عایقی لازم را در مورد سیم پایلوت رعایت نمود.

طرحهای معرفی شده با توجه به استفاده روز افزون از فیبر نوری در حال حاضر متداول نبوده و در طرحهای جدید جهت تبادل اطلاعات از فیبر نوری استفاده می‌شود. استفاده از فیبر نوری مشکل وجود تلفات و احتمال عملکرد نادرست رله‌ها را نیز از بین می‌برد. در این حالت بجای خود جریان، اطلاعات جریان از طریق فیبر نوری منتقل می‌گردد. بنا به توصیه بعضی سازندگان بهتر است ارتباط فیبر نوری به صورت دابل باشد.

در صورتی که ترانسفورماتور قدرت نیز جز زون حفاظتی دیفرانسیل پایلوت باشد، رله‌ها بایستی در مقابل جریان هجومی (هارمونیک دوم) پایدار باشند.

این رله‌ها در صورت بروز خطا بر روی خط انتقال رله اتوریکلوز را فعال می‌کنند. در مورد خطوط انشعاب دار (دارای ۳ ترمینال) بایستی از سه رله استفاده شود که دو به دو هم ارتباط داشته باشند. در واقع رله دیفرانسیل پایلوت مناسبترین نوع حفاظت برای خطوط T-off دار است که در این حالت بایستی با توجه به تعداد انشعابها طرح حفاظت دیفرانسیل مناسب تعیین گردد.

۲-۳- حفاظت شینه

وقوع خطا در شینه، شبکه را دچار تنش کرده و مشکلات عدیده‌ای را فراهم می‌آورد. حتی ممکن است فرم فیزیکی شینه را تغییر داده و برای مدتی از سرویس‌دهی ممانعت به عمل آورد. چنانچه شینه به قسمتهای کوچکتر تقسیم شده و یا شینه‌های دابل بکار رفته باشد، بایستی برای هر بخش حفاظتی جداگانه منظور شود تا خطا در یک قسمت نتواند وقفه‌ای در سرویس‌دهی سایر قسمتها ایجاد نماید. در عین حال باید دقت کافی مبذول داشت که از عملکرد اتفاقی حفاظت در اثر تداخل خارجی جلوگیری به عمل آید. غالب خطاهای شینه از نوع فاز به زمین هستند و بالا بودن سرعت رفع خطای شینه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. جهت دستیابی به این سرعت معمولاً از رله‌های دیفرانسیل امپدانس بالا جهت حفاظت شینه استفاده می‌شود. از آنجا که عملکرد نادرست حفاظت شینه بر روی کلیه فیدرهای متصل به آن تأثیر نامطلوبی دارد، لذا در طراحی و تنظیم این حفاظت بایستی دقت کافی مدنظر قرار گیرد. اغتشاشات زیر نبایستی باعث عملکرد نادرست رله دیفرانسیل حفاظت شینه گردند:

- اشکال در ثانویه یک ترانسفورماتور جریان که توازن جریانی را بر هم می‌زند.

- شوکهای مکانیکی با شدت بالا

به منظور حفظ پایداری در اثر اشکال در ثانویه ترانسفورماتور جریان، رله بازبینی ثانویه ترانس جریان بکار می‌رود تا در صورت تشخیص اشکال در ثانویه جریان، رله مذکور از عملکرد نابجای رله حفاظت شینه جلوگیری کند.

حفاظت شینه در اکثر پستهای ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت بکار نمی‌رود و تنها محدود به پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت می‌باشد. این حفاظت فاقد حفاظت پشتیبان بوده و حفاظت پشتیبان شینه توسط نواحی حفاظتی دوم و سوم رله‌های دیستانس پستهای مجاور فراهم می‌شود.

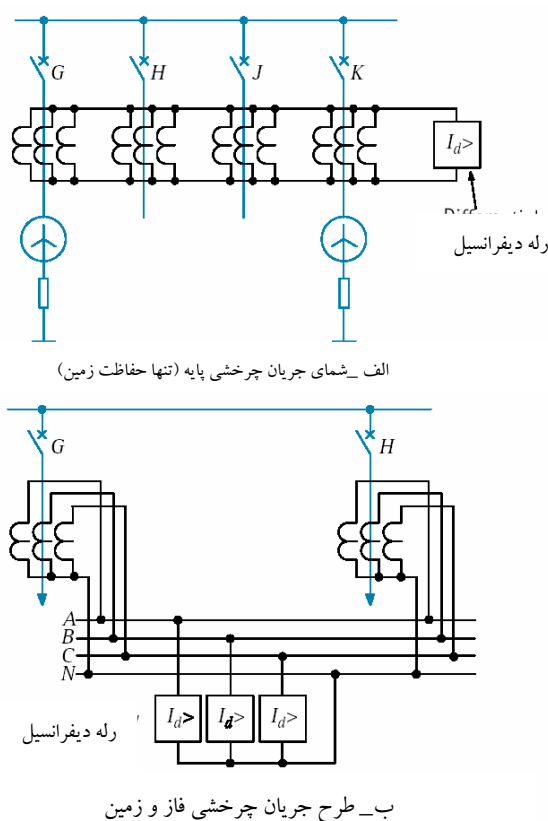
در پستهای کلیدی می‌توان جهت اطمینان بیشتر دو سیستم حفاظتی دیفرانسیل یکسان برای شینه بکار برد که از هم مستقل بوده و فرمان قطع منوط به تشخیص خطا توسط هر دو سیستم باشد.

در شینه‌های تقسیم‌شده (همچون باسبار دابل)، سیستم حفاظتی دیفرانسیل دوم^۱ بصورت سراسری بوده و کل شینه را در برمی‌گیرد (بر خلاف سیستم دیفرانسیل اصلی که برای هر بخش شینه تقسیم شده بصورت مجزا در نظر گرفته می‌شود). در حفاظت شینه باسبار دابل لازم است از کنتاکتهای Early make و Late break استفاده شود.

۲-۳-۱- حفاظت دیفرانسیل امپدانس بالا

در حفاظت شینه‌ها، اصل برابری ورودی و خروجی جریان اعمال می‌گردد. معمولاً از ترکیب جریان چرخشی استفاده می‌شود که در آن ترانسفورماتورهای جریان و اتصالاتشان متناظر با شینه و اتصالات سیستم می‌باشند. رله در محلی قرار می‌گیرد که مشابه مسیر خطا در شینه است و از اینرو تا زمانیکه خطایی اتفاق نیافتد انرژی دار نمی‌شود. در واقع عبور جریان از رله، نشانگر وجود جریان خطا است.

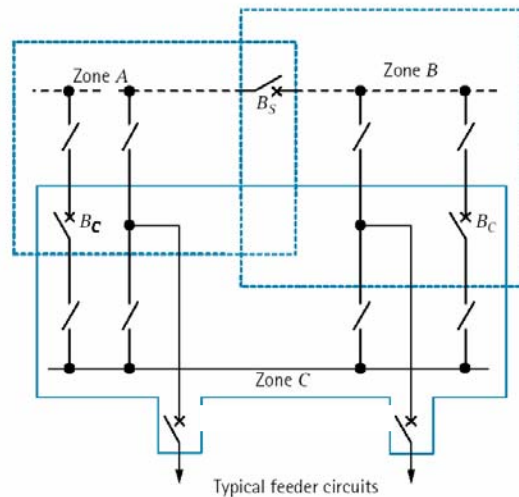
شکل شماره (۲-۹) طرح اتصال ترانسفورماتورهای جریان جهت آشکار سازی خطاهای فاز و زمین را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۹: طرح جریان چرخشی جهت حفاظت شینه

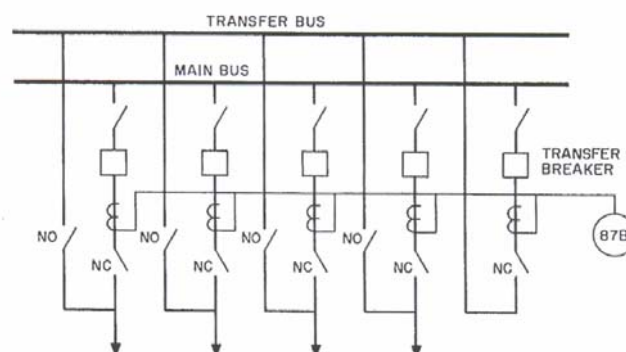
همانطور که قبلاً نیز گفته شد، در طرح با شینه تقسیم‌شده، به ازای هر بخش یک سیستم دیفرانسیل مستقل در نظر گرفته می‌شود. نواحی حفاظتی این سیستمها بایستی با یکدیگر همپوشانی داشته و نواحی حفاظتی بایستی شامل کلیدها نیز گردند. شکل

شماره (۱۰-۲) این موضوع را نشان می‌دهد. بایستی دقت کرد که مرزهای حفاظتی را ترانسفورماتورهای جریان تعیین می‌کنند و این امر بایستی در همپوشانی حفاظتهای مستقل مدنظر قرار گیرد.

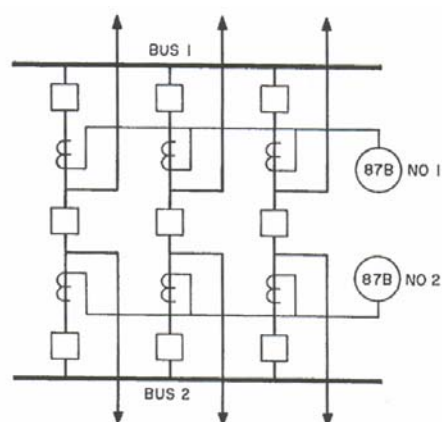


شکل ۱۰-۲: نواحی حفاظت شینه در طرح شینه تقسیم شده

بروز خطا در کلید، دو محدوده همجوار را قطع می‌کند. در حفاظت شینه دابل، باید دو شینه به عنوان محدوده‌های جداگانه تلقی شده و در باس کوپلر بر روی هم پوشش داشته باشند. شکل شماره (۱۱-۲) طرح حفاظتی شینه‌بندی اصلی _ فرعی^۱ و شکل شماره (۱۲-۲) طرح حفاظتی شینه‌بندی ۱/۵ کلیدی را نشان می‌دهد.

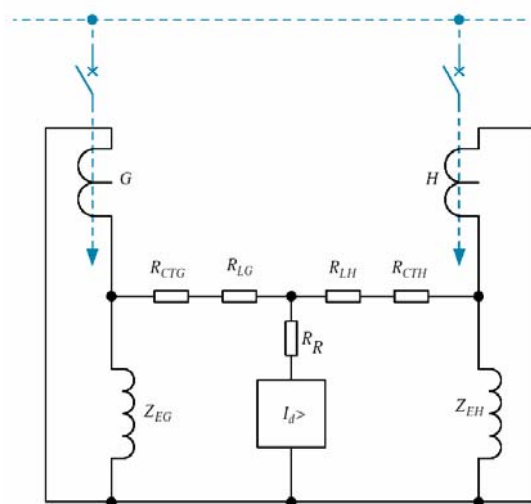


شکل ۱۱-۲: طرح حفاظت شینه در طرح اصلی - انتقالی



شکل ۲-۱۲: طرح حفاظت شینه در طرح ۱/۵ کلیدی

پایداری حفاظت دیفرانسیل امپدانس بالا در مقابل مؤلفه گذرای جریان اتصال بایستی به اثبات برسد. فلولی گذرا تا زمانی که در محدوده خطی مشخصه مغناطیس کنندگی باشد مشکلی ایجاد نمی‌کند. اشباع شدید یک ترانسفورماتور جریان می‌تواند باعث عملکرد رله دیفرانسیل در پاسخ به خطای خارجی گردد. جهت تحلیل وضعیت رله در هنگام اشباع ترانسفورماتور می‌توان از مدار معادل شکل (۲-۱۳) استفاده کرد. در این شکل امپدانسهای تحریک ترانسفورماتورهای جریان، مقاومت سیم‌پیچ ثانویه و هادیهای رابط در نظر گرفته شده است.



شکل ۲-۱۳: مدار معادل الکتریکی سیستم دیفرانسیل جریان چرخشی

جهت مدلسازی بدترین حالت فرض می‌شود که یکی از ترانسفورماتورهای جریان کاملاً به اشباع رفته و در نتیجه امپدانس تحریک آن به صفر می‌رسد. محاسبات در این حالت نشان می‌دهد که جریان چرخشی^۱ ایجادشده در رله با R_R نسبت معکوس داشته

1 . Spill current

و با افزایش آن کاهش می‌یابد. به این ترتیب با افزایش R_R جریان چرخشی کمتر از مقدار تنظیم رله می‌شود و از عملکرد نادرست رله در اثر اشباع ترانسفورماتور جریان جلوگیری می‌شود. افزایش R_R به کمک افزودن مقاومت پایدارکننده^۱ قابل انجام است. جریان چرخشی به شکل زیر به مقاومت R_R مرتبط می‌گردد:

$$I_R = \frac{I_F(R_{LH} + R_{CTH})}{R_R + R_{LH} + R_{CTH}} \quad (۸-۲)$$

که در آن:

I_F : جریان خطا در ثانویه

R_{LH} : مقاومت سیمهای رابط

R_{CTH} : مقاومت ثانویه ترانسفورماتور جریان و

I_R : جریان چرخشی می‌باشد.

R_R بایستی تا حدی افزایش یابد که I_R از مقدار تنظیمی رله کوچکتر شود.

رابطه (۸-۲) با این فرض نوشته شده که ترانسفورماتور جریان H در شکل (۸-۲) به اشباع رفته است.

با توجه به بزرگ بودن R_R ، رابطه (۸-۲) را می‌توان به شکل زیر نیز نوشت:

$$I_R = \frac{I_F(R_{LH} + R_{CTH})}{R_R} = \frac{V_f}{R_R} \quad (۹-۲)$$

به این ترتیب رله را می‌توان یک رله حساس به ولتاژ در نظر گرفت که اگر تنظیم ولتاژ روی رله بیش از V_f باشد، رله پایدار خواهد بود. جهت پاسخ مناسب رله به خطاهای داخل ناحیه حفاظتی خود، لازم است که ولتاژ ثانوی ترانسفورماتورهای جریان بیش از مقدار تنظیمی ولتاژ رله باشد. توصیه می‌شود که جهت جلوگیری از بروز خطا، ولتاژ نقطه زانو دو برابر ولتاژ تنظیم رله باشد.

هنگامی که تنظیم ولتاژ رله تعیین گردید، به کمک منحنی اشباع ترانسفورماتورهای جریان می‌توان جریان تحریک آنها را تعیین کرد و سپس با استفاده از رابطه زیر جریان موثر تنظیم رله را بدست آورد:

$$I_R = I_S + nI_{es} \quad (۱۰-۲)$$

که در آن:

I_R : جریان موثر تنظیم

I_S : حداقل جریان عمل‌کننده رله

I_{es} : جریان تحریک ترانسفورماتور جریان در ولتاژ تنظیمی رله و

n : تعداد ترانسفورماتورهای جریان موازی است.

توصیه می‌شود که جریان موثر تنظیمی رله در سمت اولیه بیشتر از ۳۰ درصد حداقل جریان خطا نباشد. این جریان بایستی بیش از جریان بار ماکزیمم انتخاب شود تا احتمال عملکرد نامناسب رله تحت جریان بار وجود نداشته باشد.

قطع جریان ترانسفورماتورهای جریان به معنی وجود عدم تعادل در مدار رله خواهد بود. اگر چه تنظیم جریان موثر رله به گونه‌ای انتخاب می‌شود که رله در این شرایط عمل نکند، اما همزمانی این مشکل با بروز خطا می‌تواند به عملکرد نامناسب رله منجر شود. به همین منظور لازم است تمهیدات لازم جهت نظارت بر مدار ترانسفورماتورهای جریان در نظر گرفته شود.

با توجه به معادله (۲-۹) واضح است که ولتاژ تنظیم رله بطور مستقیم به مقاومت سیم‌های رابط ترانسفورماتورهای جریان وابسته است و لذا بایستی تا حد ممکن این مقاومت در سطح پایین حفظ شود. از طرف دیگر این رابطه نشان می‌دهد که هر چه جریان خطا در ثانویه کوچکتر باشد، ولتاژ تنظیمی رله نیز کوچکتر خواهد بود لذا توصیه می‌شود جهت حفاظت شینه از ترانسفورماتورهای جریان با نسبت تبدیل بزرگ استفاده شود.

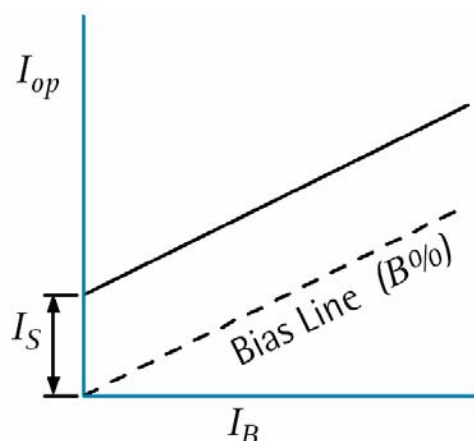
۲-۳-۲- حفاظت دیفرانسیل امپدانس پایین

جهت حفاظت دیفرانسیل شینه می‌توان از رله‌های امپدانس پایین بایاس دار مدرن استفاده کرد. اصول حاکم بر ناحیه‌بندی حفاظتی و سایر موارد مشابه حالت قبل می‌باشد.

خطاهای سنگین خارجی و یا جریان بالای dc می‌تواند باعث اشباع ترانسفورماتورهای جریان گردد. در این مورد بایستی دقت کرد که تنها به کمک بایاس کردن رله نمی‌توان به پایداری مناسب دست یافت و لازم است که از مقاومت پایدارکننده نیز استفاده شود. مقدار مقاومت پایدارکننده را می‌توان به کمک رابط زیر بدست آورد:

$$R_R = \frac{R_{LH} + R_{CTH}}{B} \quad (۱۱-۲)$$

که B شیب خط بایاس می‌باشد که در شکل (۲-۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۴: منحنی بایاس یک رله امپدانس پایین

با وجود آنکه جریان تنظیمی رله I_S می‌باشد اما جریان موثر عملکرد رله دیفرانسیل به صورت زیر خواهد بود:

$$I_R = I_S + BI_F \quad (۱۲-۲)$$

که در آن:

I_R : حداقل جریان موثر عملکرد رله

I_s : جریان تنظیمی رله

I_F : جریان خطای عبوری و

B : شیب خط بایاس می‌باشد.

همانطور که در رابطه (۲-۱۱) دیده می‌شود مقدار مقاومت پایدار کننده مستقل از سطح جریان می‌باشد و لذا با تعیین این مقاومت، رله به ازای همه جریانهای خطا پایدار خواهد بود.

در حفاظت امپدانس بالا لازم است که ترانسفورماتورهای جریان کاملاً مشابه باشند در حالیکه این امر برای حفاظت امپدانس پایین الزامی نیست.

حفاظت دیفرانسیل امپدانس پایین می‌تواند بصورت مدولار تهیه و اجرا شود. در این حالت یک واحد مرکزی دیفرانسیل وجود دارد که به کمک فیبر نوری با واحدهای کنترل فیدرها (BCU) ارتباط دارد.

۲-۴- حفاظت کلید قدرت

بواسطه اهمیت نقش کلید و اشکالاتی که ممکن است در عملکرد صحیح آن بروز کند، یک سری حفاظت جهت تشخیص عملکرد نامناسب کلید و انجام اعمال اصلاحی در نظر گرفته می‌شود. از جمله مسائلی که ممکن است برای یک کلید قدرت پیش آید، ناموفق بودن کلید در برطرف کردن جریان اتصالی و یا عدم همزمانی باز شدن کنتاکتهای اصلی فازهای مختلف کلید به هنگام قطع جریان می‌باشد. بنابراین حفاظتهای مورد استفاده جهت کلیدهای قدرت عبارتند از:

- حفاظت اشکال کلید

- نظارت بر مدار تریپ

- حفاظت ناهماهنگی کنتاکتهای کلید

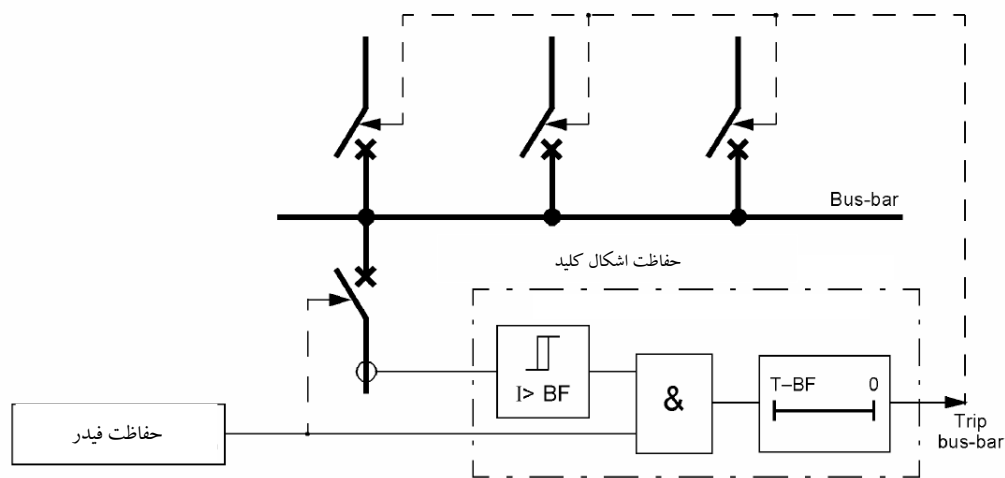
در طرح استاندارد حفاظتی پستهای ایران، حفاظت اشکال کلید منحصر به پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت می‌باشد.

۲-۴-۱- حفاظت اشکال کلید^۱

این احتمال وجود دارد که کلید قدرت با وجود دریافت سیگنال تریپ، به هر دلیلی عمل نکند و در اینصورت کلید یا کلیدهای پشتیبان وظیفه قطع جریان خطا را بر عهده خواهند داشت. جهت پیاده‌سازی این امر از رله اشکال کلید (50BF) که در واقع یک رله جریان زیاد آنی است استفاده می‌شود. نحوه کار رله اشکال کلید به شکل زیر می‌باشد:

همزمان با ارسال سیگنال تریپ از سوی رله‌های اصلی حفاظت تجهیز مورد نظر، رله اشکال کلید نیز فعال شده و چنانچه جریان اتصالی بیش از مدت مشخص شده از کلید قدرت عبور نماید رله اشکال کلید فرمانهای مناسب قطع را برای کلیدهای دیگر ارسال می‌کند. منظور از کلیدهای دیگر مجموعه کلیدهای محلی و یا راه دوری است که باز شدن آنها تغذیه جریان خطا را قطع می‌کند. شکل شماره (۲-۱۵) اصول کار این رله نشان می‌دهد.

1 . Breaker failure protection (CBF)



شکل ۲-۱۵: حفاظت اشکال کلید

همانطور که در این شکل دیده می‌شود، به محض بروز خطا در فیدر، حفاظت فیدر سیگنال تریپ را به کلید مربوطه و همزمان سیگنال شروع را به رله حفاظت اشکال کلید ارسال می‌کند.

بعد از گذشت یک زمان مشخص که تنظیم آن وابسته به زمان عملکرد کلید می‌باشد، در صورت وجود جریان خطا، رله اشکال کلید فرمانهای مناسب را به سایر کلیدها ارسال می‌کند.

در پستها با طرح شینه‌بندی غیر ساده (دوبل، ۱/۵ کلیدی و...)، سیگنال تریپ رله اشکال کلید بایستی از کنتاکتهای مناسب عبور داده شود تا کلید همجوار مناسب انتخاب گردد.

در صورتیکه لازم باشد رله اشکال کلید به کلیدهای راه دور فرمان دهد، از کانالهای مخابراتی PLC استفاده شده و جهت حصول اطمینان از دو کانال مخابراتی استفاده می‌شود. در عین حال جهت اطمینان از صحت فرمانهای تریپ دریافتی از کانالهای مخابراتی، می‌توان در هنگام دریافت سیگنال تریپ، وجود جریان خطا را بطور مستقل و به کمک رله‌های جریانی و یا دیستانس بازبینی کرد. در صورت خرابی یک کانال مخابراتی، صحت فرمان تریپ به کمک رله دیستانس چک می‌شود.

مدت زمان تأخیر رله اشکال کلید بستگی به پارامترهای متعددی دارد. زمان کلی رفع خطا توسط این رله از مجموع زمانهای زیر بدست می‌آید:

- زمان عملکرد حفاظت اصلی
- زمان بازشدن کلید قدرت
- زمانهای رله‌های کمکی
- تأخیر زمانی مربوط به عضو تشخیص دهنده جریان در رله اشکال کلید
- رله‌های کمکی تریپ
- زمان بازشدن کلیدهای مجاور

حفاظت اشکال کلید دارای دو طرح مختلف است: در طرح اول رله پس از سپری شدن زمان موردنظر سیگنال تریپ را مجدداً به همان کلید تحت نظارت خود ارسال می‌کند و سپس به اندازه زمان لازم برای بازشدن کلید صبر کرده و پس از آن به کلیدهای

مجاور، فرمان قطع را ارسال می کند. در طرح دوم، رله پس از سپری شدن زمان اول، دیگر به کلید تحت نظارت خود فرمان قطع ارسال نکرده و مستقیماً فرمان را به کلیدهای مجاور ارسال می کند. روشن است که طرح دوم از سرعت بیشتری برخوردار است اما طرح اول در صورت موفقیت آمیز بودن تریپ دوم کلید منجر به نتیجه مطلوبتری می گردد. لازم به ذکر است که حفاظت اشکال کلید نباید در مرحله دوم فرمان تریپ را از طریق حفاظت شینه ارسال نماید. در سیستمهای حفاظتی متداول در کشور معمولاً از طرح اول استفاده می شود و طرح دوم مرسوم نمی باشد. همچنین در مرحله یک، رله اشکال کلید به هر دو تریپ کویل کلید فرمان می دهد.

۲-۴-۲- نظارت بر مدار تریپ

این حفاظت، برای جلوگیری از ایجاد وقفه در مدار تریپ بکار می رود. چنانچه مدار تریپ دچار قطعی باشد، همراه با بسته شدن کنتاکت تریپ، مدار فرمان باز خواهد ماند و فرمان قطع ارسال نخواهد شد.

اهمیت نظارت بر مدار تریپ در مداراتی که تنها یک بوبین برای تریپ دارند و باز شدن کلید قدرت برای شبکه ارزش حیاتی داشته باشد، بیشتر جلوه می کند.

رله نظارت بر مدار تریپ از طریق تزریق یک جریان کوچک در مدار تحت نظارت، کامل بودن مدار را بررسی می کند. بدلیل اینکه این رله از جریان کوچک در محدوده ۱ تا ۵ میلی آمپر استفاده می کند، می تواند در مدارات با مقاومت بالا بکار رود. برای کلیدهایی که از چندین نقطه فرمان قطع می گیرند، می توان رله های ناظر را بصورت موازی متصل نمود.

رله نظارت شامل یک رله برای ایجاد جریان ثابت کم است که جریان تزریقی به مدار را تهیه می کند. علاوه بر آن از تایمر و رله خروجی دو وضعیت تشکیل شده و از منبع کمکی جداگانه تغذیه می شود. تأخیر زمانی چند میلی ثانیه برای ارسال آلارم و بستن کنتاکت خروجی در نظر گرفته می شود تا از عمل کردن در حالات گذرا جلوگیری بعمل آید.

رله نظارت بر مدار تریپ بایستی این توانایی را داشته باشد که وضعیت تریپ کویل را در هر دو حالت باز و بسته بودن کلید بررسی نماید.

۲-۴-۳- حفاظت عدم هماهنگی کنتاکتهای کلید

شرایط ایده آل در عملکرد یک کلید قدرت در این است که در زمان کوتاه مدار را قطع نماید و باز شدن کنتاکتها بطور همزمان انجام گیرد. اما در عمل تأخیر زمانی بسیار کوچکی بین باز یا بسته شدن کنتاکتهای کلید قدرت وجود دارد. چنانچه این زمان از مقداری معقول (چند میلی ثانیه) فراتر رود، این ناهماهنگی قابل قبول نمی باشد. بدین منظور از حفاظت عدم هماهنگی کلید برای تشخیص همزمان نبودن عملکرد بهره گرفته می شود.

این حفاظت از موازی کردن کنتاکتهای باز کلید قدرت و موازی کردن کنتاکتهای بسته آن استفاده کرده و اتصال سری این دو مجموعه با یک تایمر، عدم هماهنگی کنتاکتها را تشخیص می دهد. چنانچه عدم هماهنگی مورد نظر بیش از مدت زمان تنظیمی تایمر (۵ میلی ثانیه یا نیم سیکل) برقرار بماند، تایمر فرمان تریپ را ارسال می نماید. در صورتیکه کلید موفق به باز کردن مدار نشود، حفاظت اشکال کلید پس از مدت زمان مشخص فرمان قطع را برای کلیدهای مجاور صادر می کند. البته حفاظت عدم هماهنگی کنتاکتهای کلید مناسبتر است که دارای عملکرد جریانی باشد و از کنتاکتهای کمکی استفاده نکند.

چنانچه از وصل مجدد تکفاز بهره گرفته شود، باید از فرمان قطع حفاظت عدم هماهنگی کلید جلوگیری شود. بنابراین در هنگام وصل مجدد تکفاز با قراردادن کنتاکت آن در مسیر تایمر، حفاظت عدم هماهنگی کنتاکتهای کلید متوقف می‌گردد.

۲-۵- حفاظت ترانسفورماتور قدرت

خطاهای ترانسفورماتور قدرت به طور کلی به شش دسته عمده زیر تقسیم می‌شوند:

- خطاهای سیم‌پیچ و ترمینال

- خطاهای هسته

- خطاهای تجهیزات جانبی ترانسفورماتور

- خطای تپ چنجر قابل تغییر زیر بار

- شرایط بهره‌برداری غیرنرمال

- خطاهای خارجی سنگین

با توجه به تنوع خطاها در ترانسفورماتور و ارزش اقتصادی و اهمیت بالای آن در شبکه، طیف گسترده‌ای از حفاظت‌های مختلف جهت ترانسفورماتور در نظر گرفته می‌شود که بطور معمول شامل موارد زیر است:

- حفاظت جریان زیاد فاز و نوترال

- حفاظت خطای زمین محدودشده

- حفاظت دیفرانسیل

- حفاظت شار زیاد (برای ترانسفورماتورهای نیروگاهی)

- حفاظت امپدانسی

- حفاظت جریانی سیم‌پیچ سوم

- حفاظت اضافه بار^۱ (حرارتی)

- حفاظت تپ چنجر

- حفاظت اتصال زمین تانک

- حفاظت دمای زیاد سیم‌پیچ و روغن

- حفاظت رله بوخه‌لتس

- حفاظت در مقابل فشار و آزاد ساز فشار

- حفاظت نرخ افزایش فشار روغن

دسته‌ای از حفاظت‌های ذکر شده همچون حفاظت رله بوخه‌لتس بر روی خود ترانسفورماتور قرار داشته و توسط سازنده ترانسفورماتور تهیه می‌شود و سایر حفاظتها به دو دسته حفاظت اصلی و پشتیبان تقسیم می‌گردند. رله‌های اصلی شامل رله

دیفرانسیل، ولتاژ کم و شار زیاد و رله‌های پشتیبان شامل رله‌های جریان زیاد اولیه و ثانویه، رله اتصال زمین محدودشده و سایر رله‌ها می‌باشد که بسته به سطح ولتاژ و نوع سیم‌پیچی ترانسفورماتور انتخاب می‌شوند.

می‌توان ادعا کرد که درصد بالایی از خرابیهای ترانسفورماتور ناشی از خطاهای بین دورهای سیم‌پیچی است. اتصالی بین دورها، جریان بزرگی را در حلقه اتصال کوتاه ایجاد می‌کند ولی به علت نسبت تبدیل بزرگ بین کل سیم‌پیچی و دورهای اتصال کوتاه شده، جریانهای ترمینال ترانسفورماتور کوچک خواهد بود. جهت حفاظت این گونه خطاها، موثرترین رله‌ها، رله‌های مکانیکی (بوخهلتز) و حفاظت امپدانسی می‌باشد.

بزرگی خطاهای فاز به زمین در ترانسفورماتورها به عوامل متعددی از جمله نحوه سیم‌پیچی اولیه و ثانویه، نحوه زمین کردن نوترال، فاصله نقطه خطا تا نوترال و... وابسته است. در طراحی حفاظت ترانسفورماتور بایستی اطمینان حاصل شود که سیستم حفاظتی به کلیه خطاهای ترانسفورماتور بدون توجه به محل بروز خطا و میزان جریان خطا پاسخ می‌دهد.

۲-۵-۱- حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور قدرت

حفاظت دیفرانسیل مهمترین حفاظت اصلی ترانسفورماتور است که نسبت به خطاهای فاز به زمین، فاز به فاز و حلقه دارای حساسیت مناسبی می‌باشد. در این حفاظت از رله‌های دیفرانسیل امپدانس پایین بایاس شده استفاده می‌شود. نکات بسیاری را بایستی در هنگام کاربرد و تنظیم رله دیفرانسیل مدنظر قرارداد که به شرح زیر می‌باشند:

- نسبت تبدیل و فاز ترانسفورماتورهای جریان
- خطای ناشی از اشباع ترانسفورماتورهای جریان
- اتصالات ترانسفورماتور و نحوه زمین کردن
- خطاهای ناشی از تغییرات تپ
- جریان هجومی ترانسفورماتور
- جریان بی‌باری
- خطای ناشی از اضافه تحریک

ترانسفورماتورهای جریان بایستی به نحوی انتخاب گردند که اختلاف جریان بواسطه نسبت تبدیل ترانسفورماتور قدرت و اختلاف فاز بین اولیه و ثانویه مرتفع گردد. با این حال معمولاً نمی‌توان صرفاً به کمک انتخاب ترانسفورماتور جریان مناسب به این امر دست یافت و لازم است که از ترانسهای جریان کمکی^۱ استفاده کرد. رله‌های دیفرانسیل دیجیتالی این امکان را فراهم می‌آورند که اصلاح نسبت تبدیل و اختلاف فاز بصورت نرم‌افزاری و بر روی خود رله انجام شود و به این ترتیب نیازی به ترانسهای جریان کمکی نخواهد بود. در صورتیکه ترانسفورماتور مجهز به تپ چنجر باشد، اصلاح نسبت تبدیل بر روی تپ اصلی انجام خواهد گرفت و در این حالت بایستی اطمینان داشت که به ازای سایر تپها رله عمل نمی‌کند.

در صورتیکه امکان تغذیه جریان مؤلفه صفر از سوی یک سیم‌پیچ ترانسفورماتور وجود داشته باشد (به عنوان مثال ترانسفورماتور با اتصال $Y_n D$)، رله دیفرانسیل بایستی به فیلتر مؤلفه صفر مجهز باشد تا نسبت به خطاهای زمین خارجی حساس نباشد. در گذشته

1 . Interposing CT

این امر به کمک اتصال مثلث ترانسفورماتورهای جریان فراهم می‌گردد اما در رله‌های دیجیتال این فیلترینگ بصورت نرم‌افزاری انجام می‌شود.

عبور جریان هجومی ترانسفورماتور نبایستی باعث عملکرد رله دیفرانسیل گردد. اگرچه این جریان معمولاً در هنگام وصل ترانسفورماتور کشیده می‌شود ولی می‌تواند بوسیله هر حالت گذرای که سبب تغییر ناگهانی ولتاژ روی شاخه مغناطیس‌کننده ترانسفورماتور گردد ایجاد شود. جریان هجومی دارای محتوای هارمونیک بالایی می‌باشد که هارمونیک‌های دوم تا هفتم دامنه‌های بیشتری دارند. جهت حفظ پایداری رله دیفرانسیل درمقابل جریان هجومی می‌توان از روشهای زیر استفاده کرد:

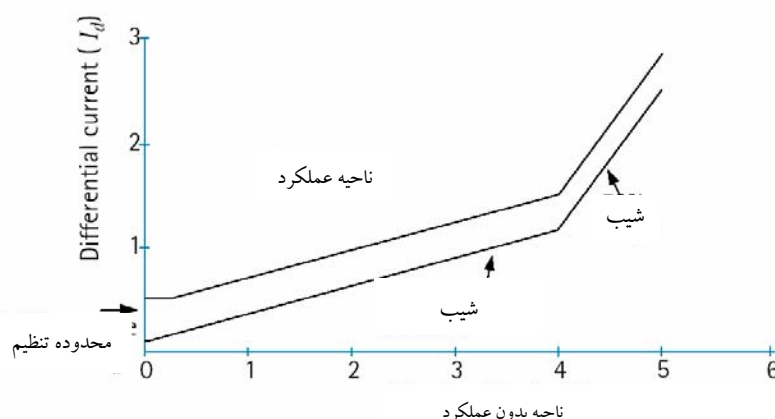
الف) تأخیر زمانی: از آنجا که حضور جریان هجومی گذرا و کوتاه‌مدت است، به کمک ایجاد تأخیر زمانی می‌توان رله را درمقابل آن پایدار کرد. این روش به دلیل پایین بودن سرعت رفع خطا تنها جهت ترانسفورماتورهای کوچک و کم اهمیت قابل استفاده است.

ب) استفاده از هارمونیک دوم: از آنجا که معمولاً چه در شرایط عادی و چه در شرایط خطا مقدار هارمونیک دوم جریان در شبکه بسیار پایین است، از این هارمونیک می‌توان جهت پایداری رله درمقابل جریان هجومی استفاده کرد.

ج) استفاده از شکل موج جریان هجومی: در این روش باتوجه به مشخصه زمانی خاص جریان هجومی، وجود آن توسط رله تشخیص داده شده و از عملکرد رله جلوگیری می‌شود.

۲-۱-۵-۱-۱- بایاس رله دیفرانسیل

جهت تضمین پایداری رله دیفرانسیل درمقابل خطاهای خارجی، سیم‌پیچهای عمل‌کننده رله بایاس می‌گردند که این امر بوسیله درصدی از جریان عبوری انجام می‌شود. شکل شماره (۲-۱۶) نمونه‌ای از منحنی بایاس رله‌های دیفرانسیل را نشان می‌دهد. تغییر جریان بایاس در این مشخصه باعث می‌شود که رله چه در جریانهای کم و چه در جریانهای زیاد، حساسیت مناسب داشته باشد.



شکل شماره ۲-۱۶: یک نمونه منحنی بایاس رله دیفرانسیل

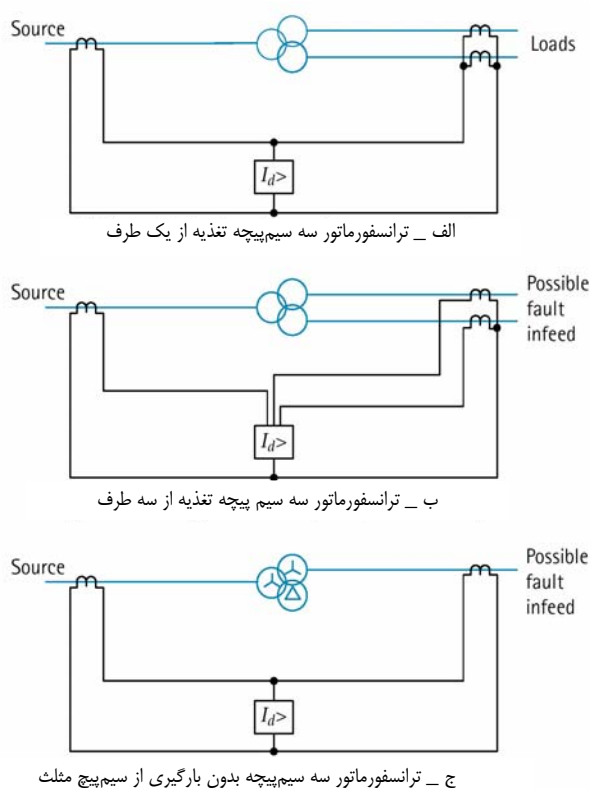
حداقل بایاس بایستی بیش از بیشترین اختلاف جریان ناشی از تپ حداکثر و خطای ترانسفورماتورهای جریان و جریان مغناطیس‌کنندگی باشد. بطور کلی رله دیفرانسیل نباید خیلی حساس تنظیم گردد و معمولاً این تنظیم بر روی ۲۰ تا ۳۰ درصد جریان

نامی قرارداد می‌شود. سازندگان مختلف معمولاً مشخصه‌های بایاس متفاوتی را عرضه می‌کنند که یک نمونه آن با دو شیب متفاوت در شکل (۲-۱۶) آمده است. تنظیم این رله‌ها بایستی مطابق با دستورالعمل سازنده انجام گیرد. این رله‌ها دارای یک واحد تنظیم بالا^۱ هستند که به ازای جریانهای دیفرانسیل بسیار زیاد بدون توجه به جریان بایاس فرمان قطع را صادر می‌نماید تنظیم این واحد بایستی بیش از حداکثر جریان عبوری از ترانسفورماتور باشد.

۲-۱-۵-۲- ترانسفورماتورهای چند سیم‌پیچه و اتوترانسفورماتور

ترکیب حفاظت دیفرانسیل برای اتوترانسفورماتورها از هر جهت شبیه حفاظت ترانسفورماتورهای دو سیم‌پیچ می‌باشد. در ترانسفورماتورها با چند سیم‌پیچ نحوه اتصالات بستگی به نحوه تغذیه ترانسفورماتور دارد. هنگامی که تنها یکی از سیم‌پیچهای ترانسفورماتور امکان تغذیه داشته و سایر سیم‌پیچها به بار متصل می‌باشند، طرح اتصال رله دیفرانسیل مطابق شکل (۲-۱۷-الف) خواهد بود.

شکل (۲-۱۷) موارد دیگری که ممکن است در رابطه با ترانسفورماتورهای چند سیم‌پیچه وجود داشته باشد نشان می‌دهد.



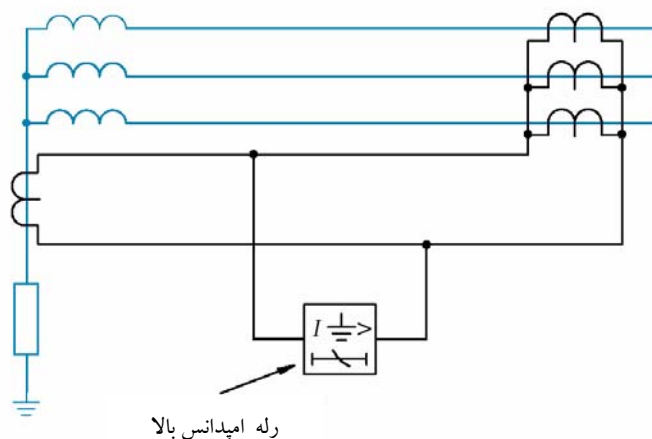
شکل ۲-۱۷: حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتورهای چند سیم‌پیچه

در مواردی که ترانسفورماتور زمین-کمکی نیز جزء محدوده حفاظت رله دیفرانسیل قرار داده شود، جریان توالی صفر ترانسفورماتور زمین-کمکی در هنگام خطای زمین، از ترانسفورماتورهای جریان سمت فشارقوی ترانس در یک طرف عبور نموده ولی جریان معادل آن در ترانسفورماتورهای جریان طرف دیگر موجود نمی‌باشد لذا باعث عملکرد نادرست رله می‌گردد.

در چنین مواقعی، جریان مناسبی از خروجی ترانسفورماتور جریان اصلی کسر می‌گردد. این جریان از نوترال ترانسفورماتور زمین-کمکی که حامل سه برابر جریان توالی صفر می‌باشد بدست می‌آید.

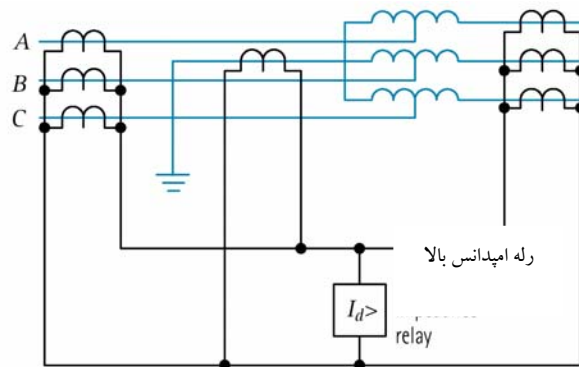
۲-۵-۲- حفاظت خطای زمین محدودشده^۱

در پاره‌ای از موارد، حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور قدرت، کل سیستم را تحت پوشش قرار نداده لذا حفاظت خطای زمین محدودشده همواره در طرح حفاظتی ترانسفورماتور قدرت بکار می‌رود. به عنوان مثال اگر نقطه نوترال سیم‌پیچ ستاره یک ترانسفورماتور با مقاومت یک پریونیت زمین شود و تنظیم موثر رله دیفرانسیل برابر ۲۰ درصد باشد، تنها ۴۲ درصد ابتدای سیم‌پیچ (نسبت به ترمینال خط) تحت پوشش حفاظت دیفرانسیل قرار می‌گیرد. در حفاظت خطای زمین محدوده شده معمولاً از رله دیفرانسیل امپدانس بالا استفاده شده و مدار رله به کمک جریان نوترال بسته می‌شود. شکل (۲-۱۸) شمای این حفاظت را در یک سیم‌پیچ ستاره نشان می‌دهد. در صورت عدم وجود نقطه نوترال ترانسفورماتور قدرت (نوترال زمین نشده و یا سیم‌پیچ مثلث)، جریان نوترال از ترانسفورماتور زمین دریافت می‌شود که در این صورت خود ترانسفورماتور زمین نیز در ناحیه این حفاظت قرار می‌گیرد. از آنجا که در این حفاظت تنها جریان خطا اندازه‌گیری می‌شود (جریان مؤلفه صفر)، می‌توان رله را در مقدار جریان پایینی تنظیم نمود. استفاده از ترانسفورماتورهای جریان کمکی (ICT) در این حفاظت مجاز نمی‌باشد چرا که باعث پایین آمدن حساسیت رله می‌گردد.



شکل ۲-۱۸: حفاظت خطای زمین محدودشده

در اتوترانسفورماتورها اگر اولیه و ثانویه ترانسفورماتور هر دو زمین‌شده باشند بایستی از این حفاظت در هر دو طرف اتوترانسفورماتور استفاده کرد. جهت این امر می‌توان نمونه‌های جریان اولیه، ثانویه و نوترال را به یک رله دیفرانسیل اعمال کرد. شکل (۲-۱۹) این طرح را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۹: حفاظت خطای زمین محدود شده اتو ترانسفورماتور

۲-۵-۳- حفاظت افزایش شار/ولتاژ

هسته ترانسفورماتور بایستی در مقابل شار زیاد محافظت گردد. شار عبوری از هسته وابسته به نسبت ولتاژ به فرکانس بوده و از آنجا که فرکانس در شبکه معمولاً با دقت مناسبی ثابت است، حفاظت اضافه ولتاژ می‌تواند به نوعی حفاظت اضافه شار را نیز انجام دهد. حفاظت افزایش شار معمولاً در ترانسفورماتورهای نیروگاهی و ترانسفورماتورها با قدرت بالا استفاده می‌شود. رله افزایش شار دو مرحله‌ای (آلارم و تریپ) و از نوع تأخیری می‌باشد. زمان تأخیر قطع این رله بسته به قابلیت تحمل اضافه شار ترانسفورماتور تنظیم می‌شود و بطور معمول بین یک تا دو دقیقه است.

در مواردی که سیم‌پیچ سوم مجهز به راکتورهای ۲۰ کیلوولت باشد، حفاظت اضافه شار یا افزایش ولتاژ بایستی بتواند این راکتورها را سوئیچ کند و در صورت عدم رفع اضافه ولتاژ، این حفاظتها بایستی به کلید اصلی ترانسفورماتور فرمان قطع دهند.

۲-۵-۴- حفاظت کاهش ولتاژ

این حفاظت جهت جلوگیری از پایداری ماندن ولتاژ در ترمینالهای ترانسفورماتور به میزان کمتر از ولتاژ نامی سیستم بکار می‌رود. تنظیم این رله معمولاً بر روی ۷۰ درصد ولتاژ نامی قرارداده شده و از نوع تأخیری است. زمان قطع رله می‌تواند تابع میزان افت ولتاژ و یا ثابت باشد. ورودی این رله از ترانسفورماتور ولتاژ در ثانویه ترانسفورماتور تأمین می‌شود. حفاظت کاهش ولتاژ همانند اضافه شار/ولتاژ جزء حفاظتهای اصلی ترانسفورماتور می‌باشد.

۲-۵-۵- حفاظت اضافه جریان فاز و نوترال

رله اضافه جریان با مشخصه معکوس و رله اضافه جریان آنی به عنوان حفاظت پشتیبان در هر دو طرف ترانسفورماتور مورد استفاده قرار می‌گیرد. رله‌های جریان زیاد با مشخصه معکوس بایستی با سایر رله‌های اضافه جریان هماهنگ شوند. در تنظیم رله‌های اضافه جریان لحظه‌ای بایستی دقت کرد که جهت پایداری رله در مقابل جریانهای اتصال کوتاه خارج از محدوده ترانس، مقدار تنظیم رله از جریان اتصال کوتاه در ترمینالهای فشار ضعیف ترانسفورماتور بیشتر باشد.

از رله‌های جریاد زیاد با مشخصه معکوس در طرف ثالثیه و برای حفاظت در مقابل اتصال کوتاه مدار ثالثیه و همچنین حفاظت ترانسفورماتور زمین بهره گرفته می‌شود.

جهت تأمین حفاظت پشتیبان برای خطاهای زمین، از حفاظت اضافه جریان با مشخصه معکوس و به صورت تکفاز در نوترال ترانسفورماتور استفاده می‌شود. ورودی این رله توسط ترانسفورماتور جریان نوترال تأمین می‌گردد. اگر اولیه یا ثانویه بصورت نوترال زمین شده باشند هر کدام بایستی بصورت جداگانه مجهز به این حفاظت گردند. جهت حفاظت در مقابل خطاهای فاز ترانسفورماتور زمین - کمکی از رله جریان زیاد با مشخصه معکوس و رله اضافه جریان آبی استفاده می‌شود.

از رله جریان زیاد با مشخصه معکوس و بصورت تکفاز جهت حفاظت خطاهای زمین ترانسفورماتور زمین-کمکی استفاده می‌شود که ورودی رله در این حالت از ترانسفورماتور جریان نوترال ترانس زمین-کمکی تأمین می‌شود. از آنجا که بطور معمول ترانسفورماتور زمین-کمکی بطور مستقیم و بدون کلید به ترمینال ترانسفورماتور قدرت متصل می‌شود، حفاظت‌های ترانسفورماتور زمین-کمکی فرمان قطع را به کلید اصلی ترانسفورماتور قدرت ارسال می‌کنند.

۲-۵-۶- حفاظت تپ چنجر

حفاظت تپ چنجر عمدتاً توسط حفاظت‌های مکانیکی پیاده‌سازی می‌شود. زمانیکه اتصال کوتاه رخ دهد بایستی از عملکرد تپ‌چنجر در صورت کاهش ولتاژ جلوگیری گردد. اینکار به کمک استفاده از یک رله جریان زیاد آبی انجام می‌شود. ترانسفورماتورهای جریان قرار گرفته در قسمت فشار قوی به رله جریان زیاد آبی متصل می‌گردند و در صورت بروز خطای این رله از عملکرد سیستم تپ چنجر ممانعت بعمل می‌آورد.

۲-۵-۷- حفاظت اضافه‌بار (حرارتی)

در رله‌های دیجیتالی جدید، امکان شبیه‌سازی مدل حرارتی ترانسفورماتور با توجه به جریان عبوری و ثابت زمان‌های حرارتی ترانسفورماتور وجود داشته و لذا می‌توان جهت حفاظت اضافه بار از رله‌های شبیه‌ساز حرارتی^۱ (رله ۴۹) استفاده کرد. در تنظیم این رله بایستی دقت کرد که از اضافه بارهای مجاز ترانسفورماتور ممانعت به عمل نیاید.

۲-۵-۸- سایر حفاظتها

زمانیکه تنظیم و هماهنگی رله‌های جریان زیاد امکانپذیر نباشد می‌توان از حفاظت امپدانس جهت پیاده‌سازی حفاظت پشتیبان استفاده کرد. اصول کار این رله شبیه رله دیستانس می‌باشد و در طرح‌های استاندارد حفاظتی به طور معمول در نظر گرفته نمی‌شود. علاوه بر حفاظت‌های الکتریکی گفته شده، رله درجه حرارت سیم‌پیچ و رله بوخه‌لتس در بخش حفاظت اصلی و سایر حفاظت‌های مکانیکی ترانسفورماتور و تپ‌چنجر در بخش حفاظت کمکی در نظر گرفته می‌شوند. حفاظت‌های مکانیکی همچون رله بوخه‌لتز توسط رله‌های کمکی تکثیر و فرمان قطع آنها به رله تریپ ارسال می‌گردد. با توجه به باقی ماندن سیگنال تریپ این حفاظتها، برای رفع مشکل از رله‌های تایم‌ری استفاده می‌شود.

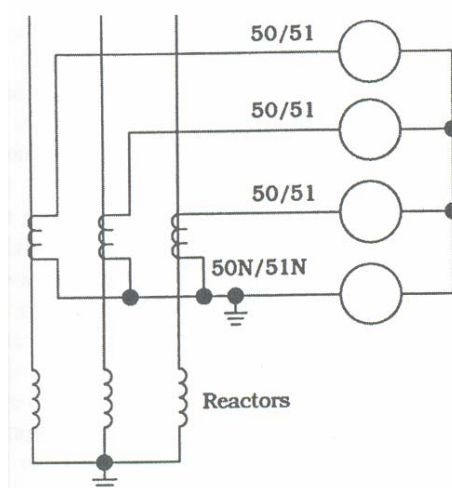
1 . Overload protection simulator

در صورتی که لازم باشد سیم‌پیچ سوم ترانسفورماتور قدرت بطور کامل و دقیق مورد حفاظت اضافه جریان قرار گیرد لازمست که از دو رله اضافه جریان با مشخصه‌های متفاوت استفاده شود که به رله‌های تنظیم بالا و پایین^۱ معروف هستند. مشخصه ترکیبی این دو رله در صفحه زمان - جریان، بایستی همواره زیر منحنی گرمایی ترانسفورماتور قرار گیرد. به عبارتی این مشخصه ترکیبی به ازای هر جریان خطا بایستی پیش از آنکه سیم‌پیچ صدمه ببیند، عمل کند. لازم به ذکر است که با توجه به مشخصه گرمایی سیم‌پیچ، نمی‌توان تنها به کمک یک رله اضافه جریان، حفاظت مناسبی را در کل بازه جریانهای خطا فراهم آورد.

۲-۶- حفاظت راکتور

راکتورهای موازی در شبکه قدرت جهت جبران سوسپتانس خطوط در سطوح ولتاژی انتقال و خطوط بلند بکار می‌روند. این راکتورها یا به صورت مستقیم به خط انتقال متصل می‌شوند و یا به سیم‌پیچ سوم ترانسفورماتور قدرت متصل می‌گردند. اتصال به خط انتقال معمولاً بدون وجود کلید بوده و لذا حفاظتهای راکتور بایستی به کلیدهای دو طرف خط فرمان قطع دهند. ارسال فرمان قطع به کلید پایانه دور از طریق کانال PLC (دو کانال مخابراتی) انجام می‌شود. علاوه بر حفاظتهای مکانیکی که از طرف سازنده بر روی راکتور وجود دارد (مشابه حفاظتهای ترانسفورماتور)، حفاظتهای الکتریکی شامل رله‌های اضافه جریان و دیفرانسیل در نظر گرفته می‌شوند.

شکل شماره (۲-۲۰) طرح حفاظتی اضافه جریان فاز و نوترال را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، ترانسفورماتورهای جریان بصورت ستاره متصل شده و حفاظت اتصال زمین بین نقطه ستاره رله‌ها و ترانسفورماتورهای جریان قرار می‌گیرد. رله‌های اضافه جریان بایستی علاوه بر مشخصه معکوس دارای واحد آنی نیز باشند. پیشنهاد می‌شود تنظیم جریان رله اضافه جریان با مشخصه معکوس ۱/۵ برابر جریان نامی راکتور و تنظیم جریانی رله اضافه جریان آنی ۵ برابر جریان نامی راکتور انتخاب شود.

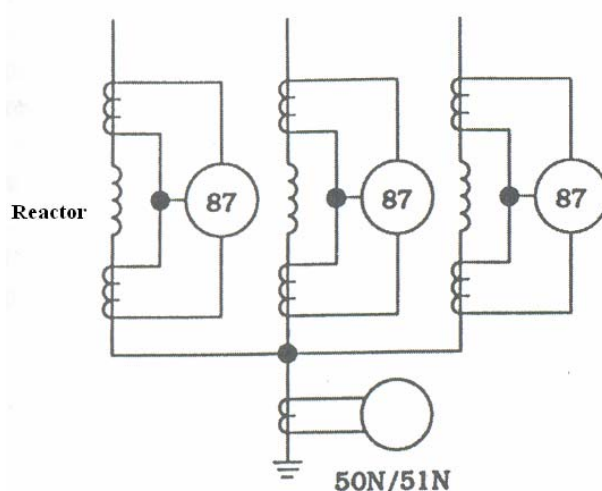


شکل ۲-۲۰: حفاظت اضافه جریان فاز و زمین راکتور

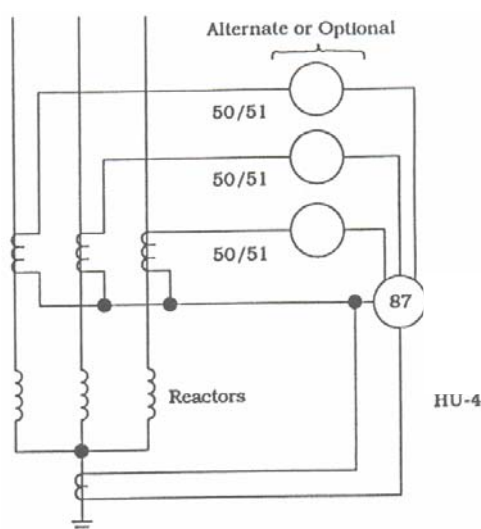
به ازای بروز خطای زمین در خارج از راکتور، راکتور نیز در تأمین جریان خطای مؤلفه صفر مشارکت خواهد داشت و لذا تنظیمات رله اضافه جریان زمین بایستی به نحوی باشد که نسبت به عبور این گونه جریانها عمل نکند. پیشنهاد می‌شود پس از تعیین تنظیم جریانی رله جریان زیاد زمین با مشخصه معکوس، تنظیم جریانی واحد آنی در ۵ برابر آن قرار گیرد.

حفاظت اصلی راکتور موازی بایستی توسط رله دیفرانسیل پیاده‌سازی شود.

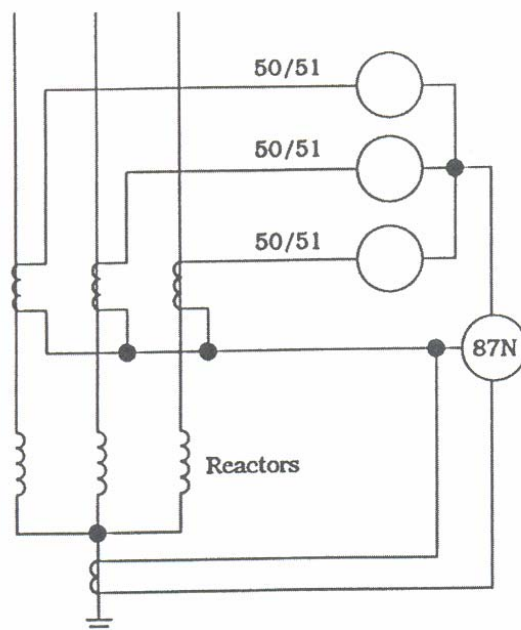
شکلهای شماره (۲۱-۲) الی (۲۳-۲) طرحهای مختلف حفاظت دیفرانسیل راکتورها را نشان می‌دهد. در طرح اول از سه رله دیفرانسیل تکفاز، در طرح دوم از یک رله دیفرانسیل سه فاز و در طرح سوم از یک رله دیفرانسیل زمین محدودشده استفاده شده است. در این شکلهای شمای حفاظت اضافه جریان نیز نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۱: حفاظت دیفرانسیل تکفاز راکتور موازی



شکل ۲-۲۲: رله‌گذاری دیفرانسیل سه فاز راکتور موازی



شکل ۲-۲۳: رله گذاری دیفرانسیل زمین محدودشده راکتور موازی

طرحهای ارائه شده توانایی تشخیص خطاهای فاز و بوشینگ را دارند. رلههای دیفرانسیل استفاده شده از نوع امپدانس بالا بوده و طبعاً بایستی پایداری این رلهها در هنگام اشباع کامل یک ترانسفورماتور جریان به اثبات برسد. به ازای خطای زمین خارجی، حداکثر مشارکت راکتور در جریان خطا برابر جریان نامی راکتور خواهد بود. در مقابل جریان هجومی راکتور تقریباً دو برابر جریان نامی می باشد. رله دیفرانسیل بایستی با یک ضریب حاشیه اطمینان مناسب نسبت به عبور این جریانها پایدار باشد.

۲-۷- حفاظت بانک خازنی

هر بانک خازنی از مجموعه ای از خازنها تشکیل شده که هر یک توسط فیوز مربوط به خود محافظت می گردند. در صورت بروز خطا و مجزا شدن یک یا چند خازن توسط این فیوزهای داخلی، بر روی سایر خازنهای سالم اضافه ولتاژ بروز می کند. در طراحی حفاظت بانک خازنی فرض بر این است که خازنها توانایی کار دائم در شرایط ۱۰ درصد اضافه ولتاژ (همراه با هارمونیکها) و ۳۰ درصد اضافه جریان را دارند. همچنین خازنها در ولتاژ و فرکانس نامی (بدون حضور هارمونیکها) و درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی گراد، نباید توان راکتیو کمتر از ۱۰۰ یا بیشتر از ۱۱۰ درصد مقدار نامی خود را تولید کنند. با این حال به دلیل اثرات زیر، خازنها بایستی توان راکتیو تا ۱۳۵ درصد مقدار نامی خود را تحمل نمایند:

- ولتاژهای هارمونیکی
- تلورانس سازنده
- افزایش ولتاژ در فرکانس نامی تا ۱۱۰ درصد

۲-۷-۱- حفاظت جریان زیاد یک واحد مجزا

وظیفه این حفاظت تشخیص خرابی در یک خازن و حذف آن است. حذف این خازن برای حفاظت خازنهای سالم و تداوم سرویس‌دهی آنها بسیار ضروری است. بنابراین، برای هر خازن یک فیوز بصورت سری قرار می‌گیرد. فیوز باید توانایی حمل دائم ۱۲۵ تا ۱۳۵ درصد جریان نامی خازن را داشته باشد.

۲-۷-۲- حفاظت جریان زیاد بانک خازنی

خطاهای اصلی مثل خطای فاز به فاز یا خطای فاز به زمین، نیاز به حفاظت کلی دارند. اینکار توسط رله جریان زیاد فاز و زمین انجام می‌گیرد. چنانچه بانک خازنی ستاره مورد استفاده قرار گیرد و نول آن زمین نشده باشد، خطای فاز به زمین باعث افزایش جریان فاز به مقدار ۳ برابر جریان معمولی می‌گردد. از طرف دیگر، ممکن است بانکهای خازنی در ۱۳۵ درصد توان راکتیو کار کنند، بنابراین حفاظت پشتیبان باید ۱۲۵ تا ۱۳۵ درصد جریان نامی را بطور دائم عبور داده و بانک خازنی را در ۳ برابر جریان نامی خارج نماید. در این حالت رله‌های جریان زیاد زمانی با مشخصه معمولی (بدون عملکرد اشتباه در امواج کلیدزنی یا جریانهای هجومی) می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. بهترین تنظیم برای این رله‌ها، ۱۳۵ درصد جریان نامی خازن است چنانچه رله‌های آنی بکار گرفته شوند، باید در ۳ برابر جریان نامی تنظیم گردند.

۲-۷-۳- حفاظت قوس الکتریکی در میان خازن

یک بانک خازنی عموماً از چندین بازوی موازی تشکیل شده است که در هر بازو، تعدادی مجموعه بصورت سری قرار دارند و هر مجموعه شامل خازنهای موازی است. جرقه ابتدا بر روی بخشی از یک بازو (یکی از خازنها) آغاز می‌گردد. چنانچه از اضافه جریان ناشی از آن جلوگیری نگردد، گروههای دیگر (در همان بازو) را فرا می‌گیرد و نهایتاً حفاظت کلی بانک عمل می‌نماید. محدوده زمانی توسعه جرقه در یک بانک خازنی در حد چندین ثانیه است. وقوع جرقه و توسعه آن، صدمه قابل ملاحظه‌ای به بانک خازنی وارد می‌آورد.

برای حفاظت در مقابل توسعه جرقه از رله ولتاژ زیاد سریع در ترکیب عدم تقارن ولتاژها استفاده می‌شود. برای بانکهایی که کاملاً زمین شده باشند، تأخیر زمانی عدم تقارن بین ۰/۳ تا ۰/۵ ثانیه توصیه می‌گردد. در بانکهایی که زمین نشده باشند، تأخیر زمانی طولانی مورد نیاز است.

۲-۷-۴- حفاظت ولتاژ زیاد بانک خازنی

اضافه ولتاژهای گذرای صاعقه و کلیدزنی باید توسط تجهیزات حفاظتی رایج مثل برق‌گیر یا فاصله هوایی، کاهش یابند. باید توجه داشت که یک خازن، بدلیل طبیعت اتصال کوتاه آن در مقابل پله‌های ولتاژ، اضافه ولتاژهای آنی را جذب می‌کند. یعنی اضافه ولتاژهای اطراف بانکهای خازنی، شدیداً کاهش می‌یابند ولی حفاظت کلی تضمین نشده است.

همچنین بانک خازنی تحت اضافه ولتاژهای ناشی از شرایط عملکرد نامتعارف سیستم قرار می‌گیرد. چنانچه اضافه ولتاژ باعث صدمه زدن به خازنها شود، رله‌های ولتاژ زیاد بایستی در نظر گرفته شوند. این رله بصورت فاز به فاز متصل شده و دارای دو مرحله جهت آلارم و قطع می‌باشد.

۲-۷-۵- حفاظت عدم تقارن جریان^۱

یک مجموعه جریان زیاد (رله تعادل جریان (۴۶)) جهت آشکارسازی عدم تقارن (بر اثر تغییر ظرفیت خازنها در مقایسه با یکدیگر) بایستی تأمین شود. این عدم تقارن با پی بردن به جریان عبوری بین نقاط نوترال بانکهای خازنی آشکار می‌شود.

۲-۸-۸- طرحهای حفاظتی پیشنهادی

طرح حفاظت رله‌ای برای یک المان بایستی بتواند کلید خطاهای ممکن بر روی آن المان را تشخیص و در کمترین زمان ممکن برطرف سازد. هر نوع طرح حفاظتی که این قابلیت را داشته مطلوب می‌باشد. انتخاب طرح مناسب تا حدود زیادی به نظر و سلیقه مهندس طراح بستگی دارد. با این حال با توجه به مجموعه تجربیات موجود در کشور طرحهای پیشنهادی زیر به عنوان طرحهای استاندارد حفاظت ارائه می‌گردد.

۲-۸-۱- حفاظت خطوط ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت

حفاظت SuBI شامل: رله دیستانس، رله اتصال زمین جهت‌دار، رله اضافه و کاهش ولتاژ و حفاظت ناحیه کور (بسته به طرح شینه‌بندی).

حفاظت SuBII شامل: رله دیستانس و رله اتصال زمین جهت‌دار.

۲-۸-۲- حفاظت خطوط ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت

حفاظت main: رله دیستانس و رله کاهش و اضافه ولتاژ

حفاظت back up: رله اضافه جریان جهت‌دار و رله اتصال زمین جهت‌دار

۲-۸-۳- حفاظت ترانسفورماتورهای با ولتاژ اولیه ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت

حفاظت اصلی: رله دیفرانسیل، رله دیفرانسیل اتصال زمین محدودشده، رله کاهش ولتاژ و رله اضافه شار / ولتاژ حفاظت پشتیبان: رله جریان زیاد لحظه‌ای طرف اولیه، رله جریان زیاد زمانی طرف ثانویه، رله جریان زیاد نوترال، رله جریان زیاد زمانی طرف ثالثیه و ترانسفورماتور زمین - کمکی، رله جریان زیاد زمانی نوترال ترانسفورماتور زمین - کمکی، رله جریان زیاد آنی تپ چنجر و رله جریان زیاد قابل تنظیم بالا و پایین برای سیم‌پیچ سوم.

۲-۸-۴- حفاظت ترانسفورماتورهای با ولتاژ اولیه ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت

حفاظت اصلی: رله دیفرانسیل، رله دیفرانسیل اتصال زمین محدودشده، رله کاهش ولتاژ و اضافه ولتاژ حفاظت پشتیبان: رله اضافه جریان اولیه، رله اضافه جریان ثانویه، رله اضافه جریان اتصال زمین ترانسفورماتور زمین - کمکی، رله اضافه جریان نوترال سیم‌پیچ ستاره و رله خطای زمین حساس^۲ در نوترال ترانسفورماتور زمین - کمکی

1 . Unbalance relay

2 . Sensehre earth fault

۲-۸-۵- حفاظت کلید قدرت (در سطوح ولتاژی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت)

حفاظت اشکال کلید، نظارت بر مدار تریپ و حفاظت ناهماهنگی در باز شدن کنتاکتهای کلید. البته با نظر طراح ممکن است حفاظت اشکال کلید در پستهای ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت نیز استفاده شود.

۲-۸-۶- حفاظت شینه (در سطوح ولتاژی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت)

حفاظت دیفرانسیل شینه از نوع امپدانس بالا یا کم امپدانس.

۲-۸-۷- حفاظت راکتور

رله دیفرانسیل سه فاز و یا دیفرانسیل زمین محدودشده، رله جریان زیاد سه فاز و یا زمین.

۲-۸-۸- حفاظت بانک خازنی

رله جریان زیاد، حفاظت قوس الکتریکی در خازن توسط رله ولتاژی، حفاظت ولتاژ زیاد بانک خازنی، حفاظت عدم تقارن جریان و حفاظت جریان پایین^۱

۲-۸-۹- حفاظت فیدر (۳۳) ۲۰ کیلوولت در پستهای ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت

رله اضافه جریان فاز و زمین، رله خطای زمین حساس (فیدر کابلی).

۲-۸-۱۰- جدول خلاصه حفاظتهای مورد استفاده در سطوح ولتاژ مختلف

پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت	پستهای ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت	سطح ولتاژ ۳۳ و ۲۰ کیلوولت	
رله‌های دیستانس، خطای زمین جهت‌دار، اضافه ولتاژ و ولتاژ صفر و ناحیه کور	رله‌های دیستانس، خطای زمین جهت‌دار، اضافه ولتاژ و ولتاژ صفر	رله‌های اضافه جریان فاز و زمین، خطای زمین حساس	فیدر خط
رله‌های اشکال کلید، نظارت بر مدار تریپ و عدم هماهنگی کنتاکتها	رله نظارت بر مدار تریپ	رله نظارت بر مدار تریپ	کلید
رله دیفرانسیل باسبار	—	—	شینه
رله‌های دیفرانسیل، خطای زمین محدود شده، رله‌های اضافه جریان اولیه و ثانویه، اضافه ولتاژ و کاهش ولتاژ و اضافه شار، رله‌های حفاظت نوترال و سیم‌پیچ سوم	رله‌های دیفرانسیل، خطای زمین محدوده شده، اضافه جریان اولیه و ثانویه، اضافه ولتاژ و کاهش ولتاژ و رله زمین نوترال	—	ترانسفورماتور قدرت
رله‌های دیفرانسیل، خطای زمین محدود شده، رله جریان زیاد فاز و زمین	—	—	راکتور
—	—	رله جریان زیاد، رله ولتاژی، رله عدم تعادل و حفاظت جریان پایین	بانک خازنی

1 . Under-current protection

۹-۲- نیازمندیهای ترانسفورماتورهای جریان

جزئیات نیازمندیهای ترانسفورماتورهای جریان مورد استفاده برای هر رله را بایستی به کمک دستورالعمل سازنده رله تعیین کرد. تجربه متداول استفاده از ترانسفورماتورهای جریان موارد زیر را توصیه می‌کند:

رله اضافه جریان: کلاس حفاظتی P

رله دیستانس: سطح ولتاژ ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت کلاس حفاظتی P و برای سطوح بالاتر کلاس حفاظتی TPY

رله دیفرانسیل: کلاس حفاظتی X

رله خطای زمین حساس: نوع حلقوی (در صورت امکان استفاده از این نوع ترانسفورماتور جریان)

۱۰-۲- نمونه‌هایی از انتخاب طرحهای حفاظتی پستهای فوق توزیع و انتقال

در این بخش دو نمونه رله‌گذاری برای یک پست ۶۳ و ۲۳۰ کیلوولت ارائه می‌شود.

۱-۱۰-۲- رله‌گذاری یک پست ۶۳/۲۰ کیلوولت نمونه

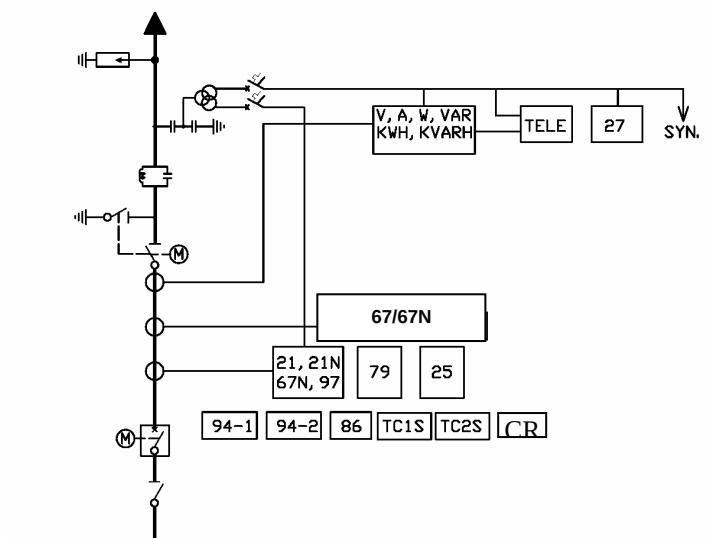
پست ۶۳/۲۰ کیلوولت با دو فیدر ترانسفورماتور و چهار فیدر خط ۶۳ کیلوولت را در نظر بگیرید. در بخش ۲۰ کیلوولت، پست دارای چندین فیدر خروجی و دو فیدر خازن می‌باشد. دو ترانسفورماتور پست دارای اتصال Ynd بوده و در سمت ۲۰ کیلوولت مجهز به ترانسفورماتورهای زمین کمکی هستند.

در نقشه‌های حفاظتی جهت مشخص نمودن رله‌ها از شماره این رله‌ها مطابق استاندارد IEEE شماره C37.2 استفاده شده است که به همراه راهنمای نقشه در پیوست این فصل آمده است.

۱-۱۰-۲- حفاظت خطوط ۶۳ کیلوولت

حفاظت خطوط ۶۳ کیلوولت مطابق شکل (۲-۲۴) شامل رله دیستانس، رله ولتاژ پایین (۲۷)، رله اضافه جریان با واحد آنی و رله خطای زمین با واحد آنی می‌باشد. از آنجا که معمولاً رله‌های دیستانس مجهز به رله خطای زمین جهتدار نیز هستند، این حفاظت نیز در نظر گرفته شده است.

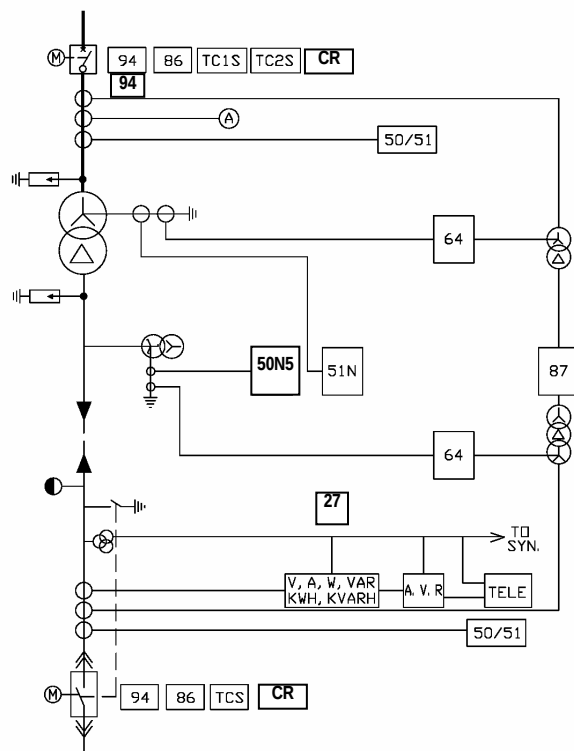
رله دیستانس بایستی با توجه به دستورالعمل بند (۲-۱-۲) و با توجه به آرایش شبکه در خط بعدی تنظیم شود. رله اضافه در صورتیکه از نوع غیرجهتدار باشد بایستی با رله‌های اضافه جریان داخل پست (سمت فشار قوی ترانسفورماتور) هماهنگ شود. تنظیم جریان رله خطای زمین جهتدار را می‌توان در ۱۰ درصد جریان اسمی ثانویه ترانسفورماتور جریان که در این حالت یک آمپر است قرار دارد. علاوه بر موارد گفته شده رله چک سنکرونیسم، رله وصل مجدد و رله‌های نظارت بر مدار تریپ نیز در نظر گرفته شده است.



شکل ۲-۲۴: حفاظت نمونه‌ای یک خط ۶۳ کیلوولت

۲-۱۰-۱-۲- حفاظت ترانسفورماتور ۶۳/۲۰ کیلوولت

حفاظت ترانسفورماتور قدرت مطابق شکل (۲-۲۵) شامل رله دیفرانسیل و رله خطای زمین محدودشده در هر دو سمت، رله اضافه جریان با واحد آنی در سمت فشار قوی و ضعیف و رله‌های اضافه جریان خطای زمین بر روی نوترال ترانسفورماتور و نوترال ترانسفورماتور زمین کمکی می‌باشد.



شکل ۲-۲۵: حفاظت ترانسفورماتور قدرت

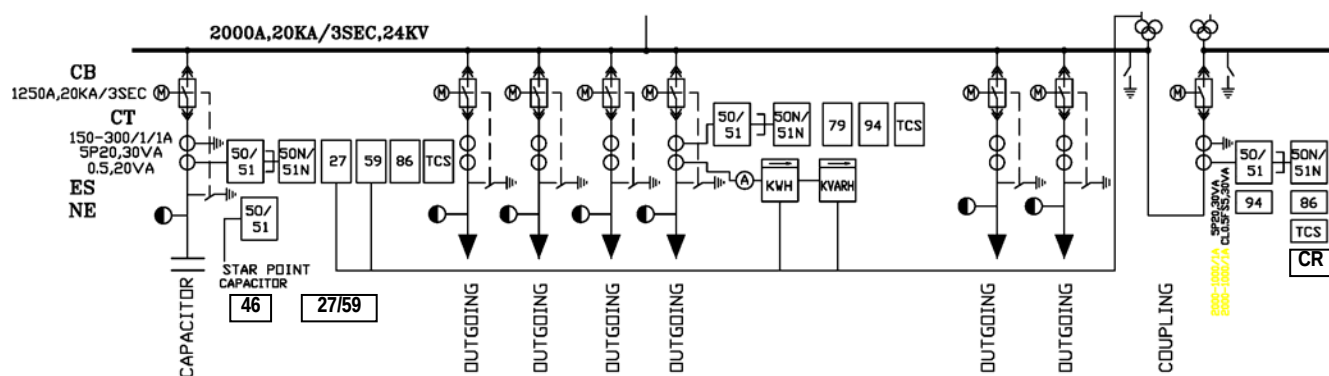
در شکل فوق (۲-۲۵) حفاظتهای مکانیکی ترانسفورماتور نشان داده نشده‌اند. این حفاظتها بایستی به کمک رله‌های کمکی و تایمر تکثیر و فرمان قطع را ارسال نمایند.

۲-۱۰-۱-۳- حفاظت فیدر ۲۰ کیلوولت، باس کوپلر و خازن

حفاظت فیدر خروجی که در این مثال خط هوایی است، شامل رله‌های اضافه جریان و خطای زمین با واحد آنی است که به رله وصل مجدد فرمان می‌دهند.

حفاظت کوپلر نیز شامل رله‌های اضافه جریان فاز و زمین با واحد آنی می‌باشد. رله‌های اضافه جریان فیدر و کوپلر بایستی با حفاظت پایین دستی در سمت ۲۰ کیلوولت هماهنگ گردند.

حفاظت بانک خازنی شامل حفاظت جریان زیاد فاز و نوترال، حفاظت اضافه ولتاژ و حفاظت عدم تقارن جریان در نوترال می‌باشد که در شکل (۲-۲۶) نشان داده شده است. در صورت نیاز می‌توان از رله خطای زمین حساس و رله جریان پایین^۱ نیز استفاده کرد.



شکل ۲-۲۶: حفاظت فیدر ۲۰ کیلوولت، باس کوپلر و خازن

۲-۱۰-۲- رله‌گذاری یک پست ۲۳۰/۶۳ کیلوولت نمونه

در این بخش یک پست ۲۳۰/۶۳ کیلوولت با شینه‌بندی دوبل، ۳ فیدر خط ۲۳۰ کیلوولت، دو فیدر ترانسفورماتور و ۸ فیدر ۶۳ کیلوولت در نظر می‌گیریم. ترانسفورماتورها مجهز به سیم‌پیچ سوم و با اتصال $Y_n Y_n d$ می‌باشند و از سیم‌پیچ سوم آنها جهت تغذیه ترانسفورماتور زمین کمکی استفاده شده است.

۲-۱۰-۲-۱- حفاظت خطوط ۲۳۰ کیلوولت

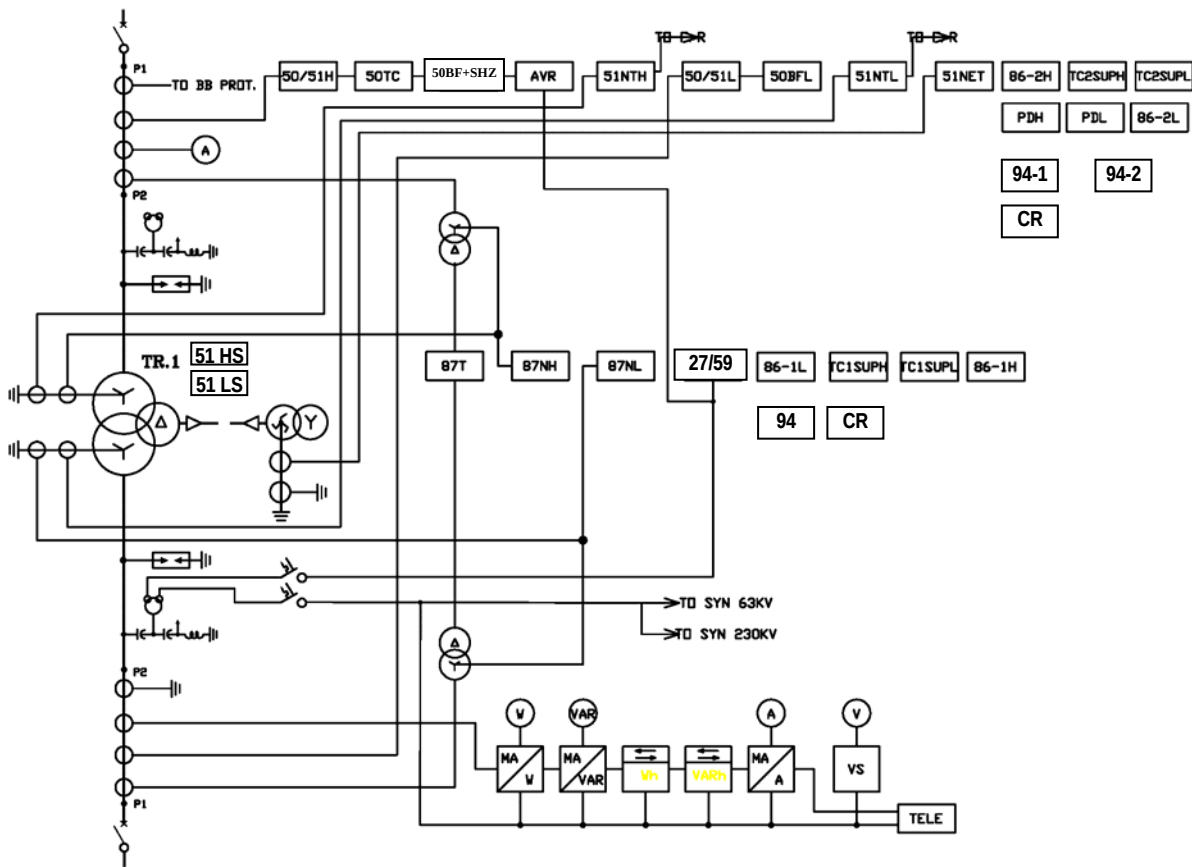
مطابق بند (۲-۸-۱)، حفاظت خطوط ۲۳۰ کیلوولت به شکل زیر خواهد بود:

حفاظت subI: رله دیستانس، رله اتصال زمین جهتدار و رله کاهش ولتاژ / اضافه ولتاژ و واحدهای FR, FL, PSB

حفاظت subII: رله دیستانس و رله اتصال زمین جهتدار

1 . Under current relay

فرمان تریپ ناحیه اول رله‌های دیستانس به رله وصل مجدد اعمال شده و برحسب اینکه خطا از نوع سه فاز و یا تکفاز باشد وصل مجدد نیز بصورت سه فاز و یا تکفاز انجام می‌گیرد. همچنین هر دو تریپ کوئل کلید توسط رله‌های مربوطه موردنظارت قرار می‌گیرند. نمای این حفاظت در شکل (۲-۲۶) آمده است.



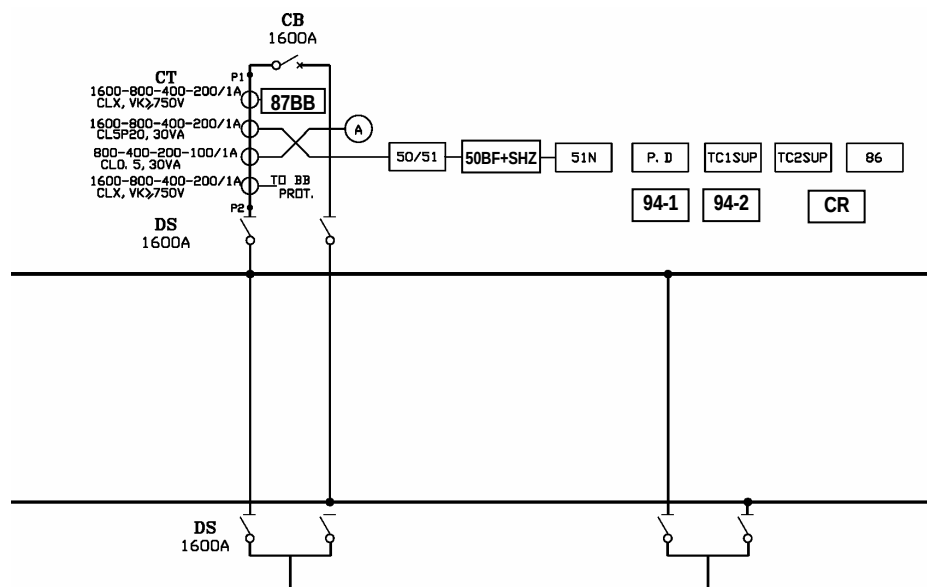
شکل ۲-۲۸: حفاظت ترانسفورماتور قدرت ۲۳۰/۶۳ کیلوولت

رله اضافه جریان سمت فشار متوسط ترانسفورماتور با توجه به رله‌های جریانی خطوط ۶۳ هم‌هنگ می‌شود و رله سمت فشارقوی با توجه به رله سمت فشار متوسط و مشخصه گرمایی ترانسفورماتور قدرت بایستی هم‌هنگ گردد. تنظیم جریانی این رله‌ها بایستی به گونه‌ای باشد که اجازه اضافه بار شدن ترانسفورماتور در بازه زمانی کوتاهی را بدهند.

۲-۱۰-۴- حفاظت شینه و باس کوپلر

حفاظت شینه شامل حفاظت دیفرانسیل امپدانس بالا (87B) می‌باشد. محل ترانسفورماتورهای جریان مورد استفاده در این حفاظت بایستی به گونه‌ای باشد که کلید فیدها نیز در ناحیه حفاظتی رله دیفرانسیل قرار گیرد. البته بهتر است در صورت عدم وجود ملاحظات اقتصادی، از رله دیفرانسیل امپدانس پایین استفاده شود.

حفاظت باس کوپلر شامل رله جریان زیاد با واحد آنی و رله جریان زیاد زمین می‌باشد که در شکل (۲-۲۹) نشان داده شده است.



۲۹-۲: حفاظت باس کویلر

۲-۱۰-۵- حفاظت کلید قدرت

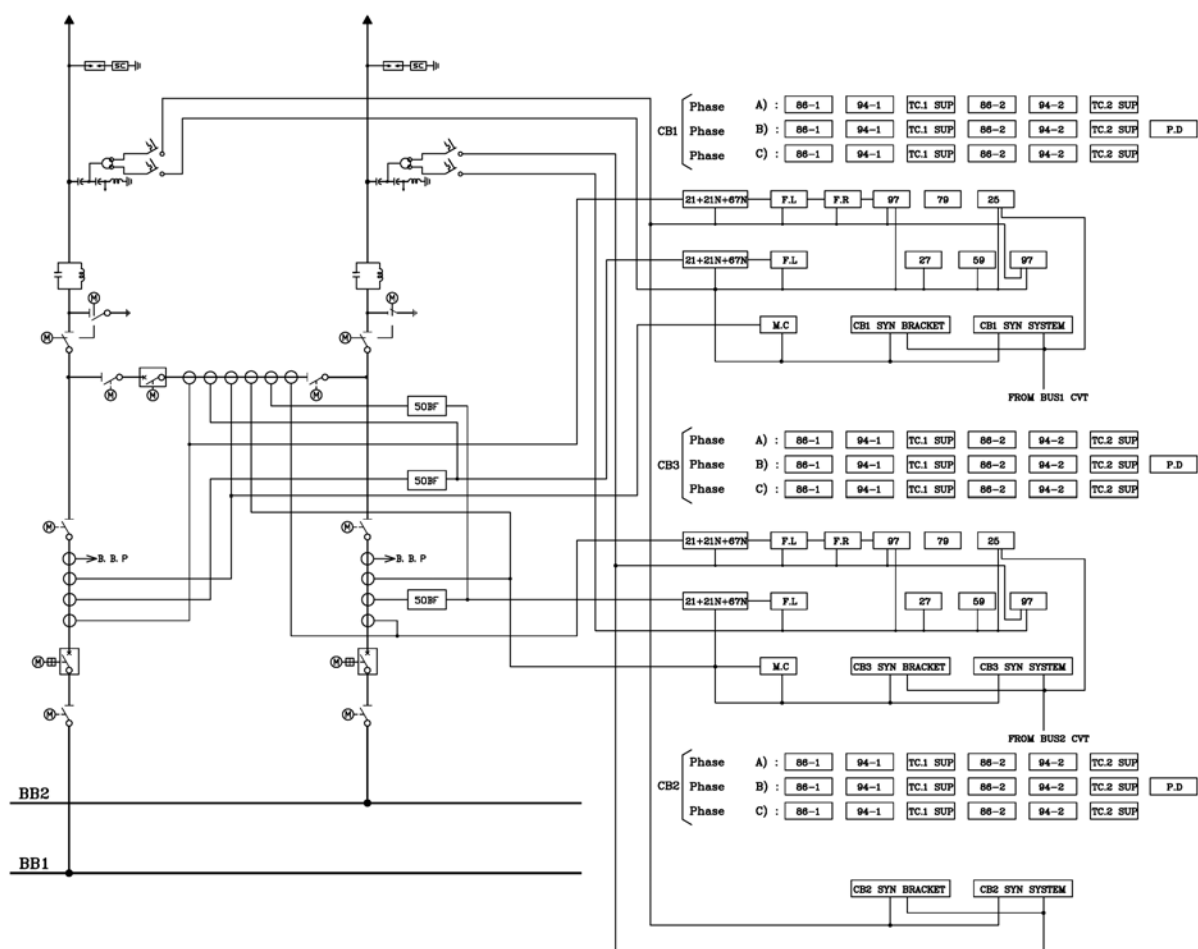
حفاظت کلید قدرت شامل حفاظت خرابی کلید (CBF)، حفاظت عدم هماهنگی کنتاکتهای کلید (PD) که در صورت اختلاف زمان عملکرد کنتاکتها بیش از ۵ میلی ثانیه فرمان قطع را صادر می کند و رله نظارت بر مدار تریپ (TC...SUP) می باشد. این حفاظتها برای کلیدهای قدرت سمت ۲۳۰ کیلوولت (خط ترانسفورماتور کویلر) در نظر گرفته شده که در شکلهای (۲۷-۲) و (۲۸-۲) و (۲۹-۲) نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که در فیدرهای نیروگاهی از رله نظارت بر مدار بستن کلید (CCS¹) استفاده می شود.

۲-۱۰-۶- حفاظت فیدرهای خط ۴۰۰ کیلوولت با آرایش ۱/۵ کلیدی

در شکل (۳۰-۲) دیاگرام حفاظتی خطوط ۴۰۰ کیلوولت با آرایش ۱/۵ کلیدی معکوس ارائه شده است.

1 . Close coil supervision



شکل ۲-۳: حفاظت خطوط ۴۰۰ در طرح باسبار ۱/۵ کلیدی

پیوست ۲-۱: شماره رله‌های حفاظتی و علائم نقشه‌ها

- ۲: رله استارت یا بستن با تأخیر زمانی
- ۳: رله چک کردن و اینترلاک
- ۲۱: رله دیستانس
- ۲۴: رله اضافه شار
- ۲۵: رله سنکرونایزینگ یا چک سنکرونیزم
- ۲۷: رله کاهش ولتاژ
- ۳۲: رله توان جهتدار
- ۳۷: رله کاهش جریان یا کاهش توان
- ۴۶: رله جریانی فاز معکوس یا بالانس توان
- ۴۹: رله حرارتی
- ۵۰: رله جریان زیاد آنی
- ۵۰N: رله جریان زیاد آنی زمین
- ۵۱: رله جریان زیاد زمانی
- ۵۱N: رله جریان زیاد زمانی زمین
- ۵۵: رله ضریب توان
- ۵۹: رله افزایش ولتاژ
- ۶۴: رله خطای زمین (خطای زمین محدودشده)
- ۶۷: رله جریان زیاد جهتدار
- ۶۷N: رله جریان زیاد جهتدار زمین
- ۶۸: رله بلوک کردن
- ۷۴: رله آلارم
- ۷۹: رله وصل مجدد
- ۸۱: رله فرکانسی
- ۸۶: Lock out
- ۸۷: رله دیفرانسیل
- ۹۴: رله تریپ
- ۹۷: رله نظارت بر ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ
- TC..SUP: رله نظارت بر مدار تریپ
- PD: رله عدم هماهنگی کنتاکتهای کلید

مقدمه

در این فصل دستورالعمل آزمونهای راهاندازی^۱ و نگهداری از سیستم حفاظت ارائه می‌شود.

۳-۱- آزمونهای راهاندازی

آزمونهای مورد نیاز جهت راهاندازی سیستم حفاظت بایستی مطابق دستورالعمل سازنده بوده با این حال در این بخش به برخی مطالب عمومی پرداخته خواهد شد.

هدف از انجام آزمونهای راهاندازی در سایت عبارتست از:

- اطمینان یافتن از اینکه تجهیزات در حین حمل و نقل و نصب آسیب ندیده‌اند.
- اطمینان از اینکه فرایند نصب به شکل صحیح انجام شده است.
- اطمینان از عملکرد صحیح سیستم حفاظتی بطور کلی

فرایند آزمونها کاملاً وابسته به شمای سیستم حفاظتی و نوع و تکنولوژی رله‌های بکاررفته می‌باشد. به همین دلیل نمی‌توان مجموعه‌ای از آزمونها را بطور ثابت ارائه کرد و در این بخش تنها به موارد متداول آن اشاره خواهد شد.

در ادامه برخی از این آزمونها به اختصار شرح داده شده است. معیار پذیرش در هر یک از این آزمونها استانداردهای مرتبط می‌باشد.

۳-۱-۱- آزمونهای عایقی

اندازه‌گیری مقاومت عایقی بین زمین و مدارات الکتریکی مجزا از هم انجام می‌شود. مقادیر اندازه‌گیری شده ثبت و با آزمونهای جاری مقایسه می‌شود تا هر نوع اشکال عایقی را مشخص سازد. مقاومت عایقی اندازه‌گیری شده به عواملی چون میزان سیم‌بندی تحت آزمون، رطوبت محل پست و غیره بستگی دارد. به عنوان مثال اگر آزمون محدود به سیم‌بندی داخلی یک تابلو گردد، عددی در حدود چند صد مگا اهم قابل انتظار است در حالیکه اگر طول زیادی از سیم‌بندی در داخل سایت مورد آزمون قرار گیرد، عددی در حد چند مگا اهم قابل قبول خواهد بود.

۳-۱-۲- آزمون ترانسفورماتورهای جریان

صحت اتصال و پلاریته صحیح هر ترانسفورماتور جریان بایستی بررسی و مورد آزمون قرار گیرد. این آزمون به کمک اعمال ولتاژ مستقیم (dc) به اولیه و اندازه‌گیری جریان القاشده در ترانسفورماتور جریان در لحظات وصل و قطع انجام می‌شود. در لحظه وصل بایستی جریان القاشده مثبت و در لحظه قطع منفی باشد. آزمون دیگر در ترانسفورماتورهای جریان آزمون مشخصه مغناطیسی می‌باشد. برای این کار ترانسفورماتور جریان را از سمت ثانویه تغذیه کرده و در چندین نقطه منحنی مغناطیس شونده را بررسی می‌کنیم. آزمون بایستی تا رسیدن به نقطه اشباع انجام شود.

۳-۱-۳- آزمون ترانسفورماتور ولتاژ

آزمونهای راهاندازی ترانسفورماتور ولتاژ شامل بررسی صحیح بودن پلاریته، آزمون نسبت تبدیل و بررسی اختلاف فاز بین اولیه و ثانویه می‌باشد.

آزمون پلاریته مشابه با آزمون پلاریته ترانسفورماتور جریان انجام می‌شود. با برقرارکردن سمت اولیه، چرخش فاز در ترانسفورماتور ولتاژ بایستی اندازه‌گیری شود. در ترانسفورماتورهای ولتاژی که بصورت مثلث باز بسته شده‌اند، هنگام اعمال ولتاژ متعادل در اولیه، ولتاژ دو طرف ترانسفورماتور مثلث باز بایستی کمتر از ۵ ولت باشد.

۳-۱-۴- بررسی صحت تنظیمات بر روی رله

کلیه تنظیمات قطع و آلامر رله‌ها در هنگام نصب بایستی چک شده و ثبت گردد و مقادیر ثبت شده در اختیار کارفرما قرار گیرد. مقادیر خوانده شده از روی رله بایستی با مقادیری که در محاسبات تنظیمات رله‌ها بدست آمده مقایسه شود و در صورت اختلاف، مقادیر صحیح بر روی رله تنظیم گردد.

۳-۱-۵- آزمون رله به کمک تزریق جریان در ثانویه

آزمونهای تزریق جریان در ثانویه به طور معمول پیش از آزمونهای تزریق جریان در اولیه انجام می‌گیرند. به کمک این آزمونها می‌توان صحت عملکرد سیستم حفاظتی را از نقطه ورودی جریان به رله بررسی کرد. در این آزمونها بایستی اتصالات اولیه را قطع کرد.

با اعمال جریان مناسب به ورودی رله، صدور فرمان قطع و آلامر رله چک شود.

نحوه انجام آزمون و موارد آن کاملاً وابسته به تکنولوژی استفاده شده از رله و درخواستهای کارفرما دارد. این آزمون می‌تواند به طور ساده شامل بررسی مشخصه رله در یک نقطه و یا بطور گسترده بررسی مشخصه رله در چندین نقطه، پاسخ رله به جریانهای گذرا، پاسخ به جریانهای هارمونیک و ... باشد.

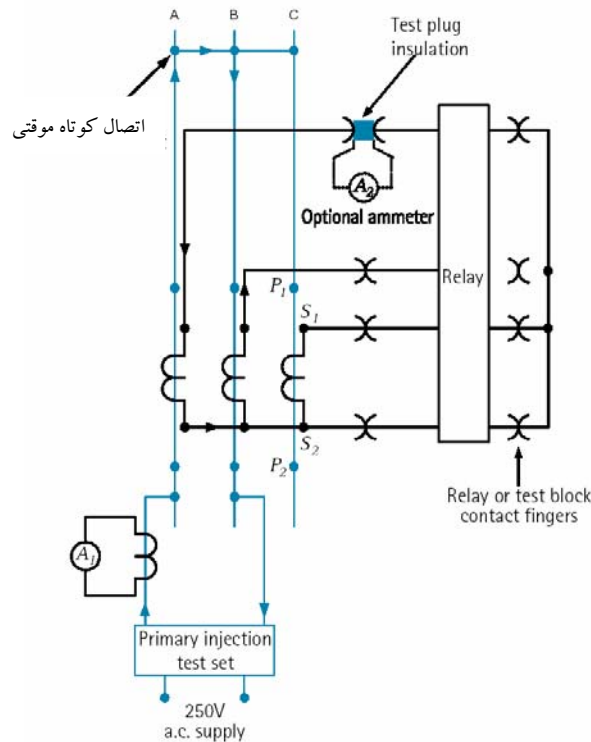
بطور معمول کارخانه‌های سازنده رله‌های دیجیتال، پروسه آزمون خودکار رله را جهت استفاده و بهره‌برداری از سیستم حفاظتی کافی می‌دانند، با این حال کارفرما می‌تواند مجموعه‌ای از آزمونهای ثانویه را درخواست کند. در صورت پذیرش آزمون خودکار رله به عنوان معیار پذیرش صحت عملکرد رله، همچنان پاره‌ای از آزمونهای ثانویه که مدارات و المانهای خارج از رله را بررسی می‌کنند اجتناب‌ناپذیر خواهند بود.

بطور کلی این آزمونها بایستی به گونه‌ای انتخاب و انجام شوند که کلیه مشخصات رله موردنظر را بتوان به کمک آنها بررسی کرد.

۳-۱-۶- آزمون سیستم حفاظتی به کمک تزریق جریان در اولیه

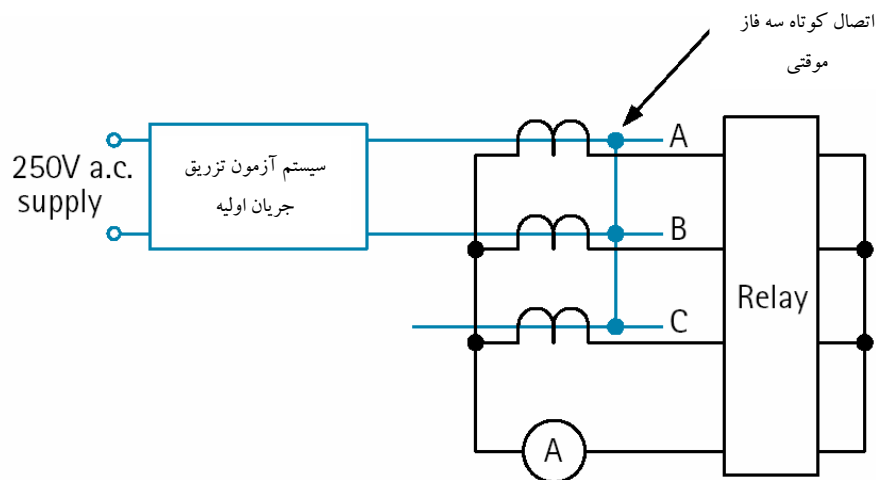
در این آزمون کل مدار سیستم حفاظتی شامل ترانسفورماتورهای جریان، رله، مدارات قطع و آلامر و سایر سیم‌بندیها مورد بررسی قرار می‌گیرد. این گونه آزمونها معمولاً بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر هستند. در عمل به کمک آزمونهای ثانویه کارایی رله به اثبات می‌رسد، اما اشکالات از ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ تا خود رله تنها به کمک آزمونهای اولیه قابل شناسایی است. آزمونهای تزریق جریان در اولیه شامل آزمون نسبت تبدیل و پلاریته ترانسفورماتور جریان و مجموعه آزمونهایی است که عملکرد رله و تطابق

آن با مشخصات رله را مورد آزمون قرار می‌دهد. جهت انجام آزمون نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان می‌توان مطابق شکل (۱-۳) عمل کرد. نسبت جریانهای سنجیده شده توسط آمپر متر A_1 به A_2 برابر نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان خواهد بود.



شکل ۱-۳: مدار آزمون نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان

جهت انجام آزمون پلاریته، بایستی جریان باقیمانده را به نحوی ایجاد کرد. شکل شماره (۲-۳) این امر را نشان می‌دهد. در صورت درست بودن پلاریته ترانسفورماتور جریان، آمپر متر A در شکل، جریانی در حد چند میلی‌آمپر نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳: مدار آزمون پلاریته ترانسفورماتور جریان

آزمون پلاریته درمورد ترانسفورماتورهای جریانی که به رله‌های جهت‌دار، دیفرانسیل و یا خطای زمین متصل هستند الزامی است. آزمونهای اولیه لازم جهت تعیین مشخصات رله باتوجه به مجموعه آزمونهای ثانویه و قابلیت‌های رله در آزمون خودکار تعیین شده و تعیین موارد آن برعهده کارفرما می‌باشد.

۳-۱-۷- سایر موارد

در صورتیکه آزمونهای تزریق جریان اولیه و یا ثانویه انجام نشده باشد، مدارات قطع و آلامر بایستی بطور مستقل مورد بررسی و آزمون قرار گیرند. جهت انجام این کار می‌توان کنتاکت رله را بطور دستی بست و موارد زیر را بازبینی کرد:

- کلید یا کلیدهای صحیح قطع شوند.
 - مدار آلامر فعال شود.
 - عملکرد غلطی در سایر تجهیزات مشاهده نشود.
- جدای از آزمون این مدارات، منطق حفاظتی پیاده‌سازی شده به کمک لاجیک بایستی مورد آزمون قرار گیرد تا هم از برآورده‌سازی اهداف و هم از صحت عملکرد آن اطمینان حاصل شود.
- لازم به ذکر است که موارد گفته شده در این بخش به عنوان آزمونهای راه‌اندازی، موارد کلی بوده و جزئیات این آزمونها با توجه به نظر سازنده رله و تصمیم خریدار تعیین می‌شود.

۳-۲- آزمونهای دوره‌ای تجهیزات حفاظتی

- باتوجه به اهمیت صحت عملکرد سیستم حفاظتی که تأثیر مستقیمی بر عملکرد ایمن و پایایی شبکه دارد لازم است که در دوره‌های زمانی معین کلیه رله‌های نصب شده در یک پست مورد آزمون قرار گیرند.
- در صورت استفاده از رله دیجیتال بسیاری از آزمونهایی که در ادامه آورده شده‌اند بصورت خودکار و توسط رله انجام می‌گیرد و لذا می‌توان آن موارد را از لیست آزمونهای دوره‌ای حذف کرد. در بسیاری از سیستمهای قدیمی موجود از رله‌های استاتیک و یا انواع قدیمی‌تر استفاده شده و در اینگونه موارد آزمونهای ارائه شده در ادامه بایستی بطور کامل انجام شوند.
- نظر به اینکه آزمایشات دوره‌ای در پستهای در حال بهره‌برداری و برقرار صورت می‌گیرد رعایت موارد زیر ضروری می‌باشد:
- هنگام آزمایش رله‌های حفاظتی حتی‌الامکان از تست‌پلاگهای مربوطه استفاده شده و از بازکردن سیمها و ترمینالها خودداری گردد.
 - آزمایشات رله‌های حفاظتی با تنظیمات موجود انجام گرفته و از تغییر تنظیمات آنها خودداری گردد و در صورت تغییر، مجدداً به حالت اولیه برگردد.
 - در صورتی که سیستم حفاظت دابل و یا حفاظت اصلی و پشتیبان موجود باشد می‌توان آزمونهای رله‌های حفاظتی را در حالت برقرار انجام داد ولی در صورتی که با حذف رله مورد آزمایش، حفاظت ناقص گردد از آزمونهای در حالت برقرار خودداری گردد.

- هنگام آزمایش رله‌های حفاظتی در حالت برقدار دقت گردد که مدار ترانسفورماتور جریان حتماً اتصال کوتاه و مدار ترانسفورماتور ولتاژ باز باشد.
- هنگام آزمایش مدارهای فرمان قطع و آلامر از طریق رله‌های حفاظتی دقت گردد تا فرمان قطع از طریق سیستم CBF و سیستم PD به کلیدهای دیگر گسترش پیدا نکند.
- آچارکشی ترمینالهای جریانی و ولتاژی
- نفراط آزمایش‌کننده بایستی دارای صلاحیت فنی مورد نیاز برای آزمایش باشند.

۳-۲-۱- آزمایش دوره‌ای رله دیستانس (21,21N)

۳-۲-۱-۱- مراحل اجرا:

- اندازه‌گیری امپدانس ناحیه ۱، ناحیه ۲، ناحیه ۳، ناحیه ۳ معکوس، ناحیه ۴ یا استارتر، زمان ناحیه‌های مربوطه برای اتصالیهای فاز - فاز و فاز - زمین بر روی تنظیمات موجود.
- آزمایش بلوک‌شدن نوسان قدرت (P.S.B)، قطع فیوز (V.T.F.F)، وصل خط بر روی اتصالی (S.O.T.F)، ارسال و دریافت سیگنال شتاب‌دهنده (Acceleration Receive, Acceleration Send)، زمان t_p ، زمان $t_{S.O.T.F}$.
- تحریک رله دیستانس در ناحیه ۱ و ملاحظه عملکرد رله وصل مجدد توام با قطع و وصل کلید، مشاهده آلارمها، اسیلوگراف و ثبات حوادث.
- تحریک رله دیستانس در ناحیه ۲ و ملاحظه قفل رله وصل مجدد توام با قطع کلید، مشاهده آلارم، اسیلوگراف و ثبات حوادث.
- تحریک رله دیستانس در ناحیه ۳ بدون قطع کلید و مشاهده آلارمها، اسیلوگراف و ثبات حوادث.
- اندازه‌گیری ولتاژ DC، ولتاژ AC و جریان و زاویه بین آنها و مقایسه آن با بار خط پس از برقدار کردن خط.

۳-۲-۱-۲- مهارت‌های موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۱-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

- دستگاه آزمون رله دیستانس با متعلقات، دستگاه زاویه‌سنج، آمپر متر کلمپی، آمپر متر، ولتمتر، دستگاه تزریق ولتاژ و جریان متغیر، سیمهای ارتباطی.

۳-۲-۲- آزمایش دوره‌ای فاصله یاب خط (96)

۳-۲-۲-۱- مراحل اجرا:

- آزمایش رله با ۵۰٪، ۱۰۰٪، ۱۲۰٪ امپدانس خط

- آزمایش و اندازه‌گیری مقدار امپدانس استارتر
- آزمایش آلارم‌های مربوط به رله
- آزمایش عملکرد ثباتها (F/R , E/R)
- اندازه‌گیری ولتاژ DC، ولتاژ AC و جریان وقتی که رله در مدار می‌باشد.
- تذکر:** فاصله یاب خطا بهتر است با رله دیستانس آزمایش گردد.

۳-۲-۲-۳- مهارت‌های موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

دستگاه آزمون رله دیستانس با متعلقات، دستگاه زاویه‌سنج، آمپر متر کلمپی، ولت‌متر، دستگاه تزریق ولتاژ و جریان متغیر، سیم ارتباطی.

۳-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله وصل مجدد (79)

۳-۲-۳-۱- مراحل اجرا:

- تحریک زون ۱ رله دیستانس و ملاحظه عملکرد رله وصل مجدد همراه با قطع و وصل کلید
- تحریک زون ۲ رله دیستانس و ملاحظه قفل شدن رله وصل مجدد توأم با قطع کلید
- وصل دستی کلید و ملاحظه قفل رله وصل مجدد
- اندازه‌گیری زمان مرده Dead time و زمان بازیافت Reclaim time
- آزمایش مربوط به سه فاز یا تک‌فاز بودن رله وصل مجدد با ایجاد اتصالیهای مختلف در رله دیستانس
- آزمایش عملکرد ثباتها (F/R , E/R)
- آزمایش HL-DB, HB-DL، و سنکرون چک وقتی که از وصل مجدد سه فاز استفاده شود.
- تذکر ۱:** رله وصل مجدد بهتر است همراه رله دیستانس آزمایش گردد.

۳-۲-۳-۲- مهارت‌های موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۳-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

دستگاه آزمون رله دیستانس با متعلقات، دستگاه زاویه‌سنج، آمپر متر کلمپی، ولت‌متر، دستگاه تزریق ولتاژ و جریان متغیر، سیم‌های ارتباطی.

۳-۲-۴- آزمایش دوره‌ای رله سنکرون چک (25)

۳-۲-۴-۱- مراحل اجرا:

- اندازه‌گیری اختلاف ولتاژ، اختلاف فاز، اختلاف فرکانس ($\Delta u, \Delta \varphi, \Delta f$)
- در مدار گذاشتن رله و اندازه‌گیری ولتاژ DC، ولتاژهای AC و اختلاف زاویه آنها و اختلاف ولتاژ آنها
- آزمایش HL-DB، HB-DL و سنکرون چک وقتی که از وصل مجدد سه فاز استفاده شود.

۳-۲-۴-۲- مهارت‌های موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۴-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

دستگاه تزریق ولتاژ متغیر، دستگاه زاویه‌سنج، دستگاه تغییردهنده فرکانس و زاویه، ولت‌متر، سیم‌های ارتباطی.

۳-۲-۵- آزمایش دوره‌ای رله ولتاژ کم یا ولتاژ صفر (27)

۳-۲-۵-۱- مراحل اجرا:

- اندازه‌گیری ولتاژ عملکرد Drop – out , Pick – up
- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله با ۸۰٪ ولتاژ تنظیمی
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC و ولتاژ AC وقتی که رله در مدار باشد

۳-۲-۵-۲- مهارت‌های موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۵-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

دستگاه تزریق ولتاژ متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولت‌متر، سیم‌های ارتباطی.

۳-۲-۶- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان مولفه منفی (46)

۳-۲-۶-۱- مراحل اجرا:

- اندازه‌گیری جریان Drop-out , Pick-up

- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله با تزریق ۱۲۵٪ جریان تنظیمی (در صورتی که سازنده مقداری اعلام نکرده باشد)
- اندازه‌گیری ولتاژ DC و جریان وقتی که رله در مدار می‌باشد.

۳-۲-۶-۲- مهارت‌های موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۶-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

دستگاه تزریق جریان متغیر سه فاز، دستگاه اندازه‌گیری زمان، آمپر متر، ولت متر، سیم‌های ارتباطی

۳-۲-۷- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان آنی (50,50N)

۳-۲-۷-۱- مراحل اجرا:

- اندازه‌گیری جریان Drop-out , Pick-up
- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله در ۱۲۵٪ جریان تنظیمی (در صورتی که سازنده مقداری اعلام نکرده باشد)
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC و جریان وقتی که رله در مدار می‌باشد.

۳-۲-۷-۲- مهارت‌های موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۷-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

دستگاه تزریق جریان متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولت متر، آمپر متر و سیم‌های ارتباطی.

۳-۲-۸- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان با زمان معین (51,51N)

۳-۲-۸-۱- مراحل اجرا:

- اندازه‌گیری جریان Drop-out , Pick-up
- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله در ۱۲۵٪ جریان تنظیمی (در صورتی که سازنده مقداری اعلام نکرده باشد)
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC و جریان وقتی که رله در مدار می‌باشد.

۳-۲-۸-۲- مهارت‌های موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۸-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

دستگاه تزریق جریان متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولتمتر، آمپر متر و سیم‌های ارتباطی.

۳-۲-۹- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان با زمان معکوس (51, 51N)**۳-۲-۹-۱- مراحل اجرا**

- اندازه‌گیری جریان Drop-out , Pick-up
- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله با تزریق ۲ و ۴ برابر جریان تنظیمی (برای رله‌های الکترومکانیکی ۲، ۵ و ۱۰ برابر جریان تنظیمی)
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC و جریان وقتی که رله در مدار می‌باشد.

۳-۲-۹-۲- مهارت‌های موردنیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۹-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

دستگاه تزریق جریان متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولتمتر، آمپر متر و سیم‌های ارتباطی.

۳-۲-۱۰- آزمایش دوره‌ای رله تشخیص اشکال کلید (50 BF)**۳-۲-۱۰-۱- مراحل اجرا**

- اندازه‌گیری جریان Drop-out , Pick-up
- اندازه‌گیری زمان عملکرد در تمام مراحل با تزریق ۱۲۵٪ جریان تنظیمی (در صورتی که سازنده مقداری اعلام نکرده باشد)
- اندازه‌گیری ولتاژ DC و جریان وقتی که رله در مدار می‌باشد.
- آزمایش پایداری CBF بدون حضور DC تریپ
- آزمایش کنتاکت PLC

- مدارات قطع و آلام و ثباتهای مربوط به رله CBF بعثت اینکه ممکن است به تعداد زیادی از کلیدها فرمان قطع صادر نماید هر دو سال یکبار و در مواردی که مرکز کنترل شبکه اجازه دهد انجام می‌گردد آزمایش مذکور بایستی با دقت کافی انجام گیرد تا از گسترش قطعی‌ها جلوگیری گردد.

(تذکر: معمولاً قسمت جریانی و زمان رله‌های CBF جدا می‌باشند بنابراین زمان عملکرد سیستم CBF بایستی اندازه‌گیری گردد).

۲-۱۰-۲-۳- مهارتهای موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۲-۱۰-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

دستگاه تزریق جریان متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولت‌متر، آمپر متر و سیمهای ارتباطی.

۲-۱۱-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله اضافه ولتاژ (59)

۲-۱۱-۱- مراحل اجرا

- اندازه‌گیری ولتاژ Drop-out , Pick-up
- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله با اعمال ۱۲۰٪ ولتاژ تنظیمی
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلام و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ AC و جریان وقتی که رله در مدار است
- آزمایش کنتاکت PLC

۲-۱۱-۲-۳- مهارتهای موردنیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۲-۱۱-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

تزریق ولتاژ متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولت‌متر، سیمهای ارتباطی.

۲-۱۲-۲-۳- آزمایش دوره‌ای رله حفاظت اتصال زمین با ولتاژ باقی‌مانده (64)

۲-۱۲-۱- مراحل اجرا

- اندازه‌گیری ولتاژ Drop-out , Pick-up
- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله با اعمال ۱۲۰٪ ولتاژ تنظیمی

- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC، ولتاژ AC وقتی که رله در مدار است.

۳-۲-۱۲-۲- مهارتهای موردنیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۱۲-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

تزریق ولتاژ متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولت‌متر، سیمهای ارتباطی.

۳-۲-۱۳- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان جهت‌دار با زمان معین (67,67N)

۳-۲-۱۳-۱- مراحل اجرا

- اندازه‌گیری جریان Drop-out , Pick-up با تزریق جریان در ولتاژ نامی و در ولتاژ حداقل و در زاویه مشخصه رله (M.T.A)
- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله با تزریق ۲ و ۴ برابر جریان تنظیمی (درمورد رله‌های الکترومکانیکی تزریق ۲، ۵ و ۱۰ برابر جریان تنظیمی) با ولتاژ نامی با زاویه مشخصه رله (M.T.A)
- اندازه‌گیری ناحیه عملکرد رله (زاویه حداقل و زاویه حداکثر) با تزریق ۱۲۰٪ جریان تنظیمی و ولتاژ نامی
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC، ولتاژ AC، جریان و زاویه بین ولتاژ و جریان و مقایسه آن با بار خط وقتی که رله در مدار است.
- آزمایش کنتاکت PLC

۳-۲-۱۳-۲- مهارتهای موردنیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۱۳-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

دستگاه تزریق جریان متغیر، دستگاه تغییردهنده زاویه سه فاز، دستگاه نشان‌دهنده زاویه، ولت‌متر، آمپر‌متر، سیمهای ارتباطی.

۳-۲-۱۴- آزمایش دوره‌ای رله اضافه جریان جهت‌دار با زمان معکوس (67,67N)

۳-۲-۱۴-۱- مراحل اجرا

- اندازه‌گیری جریان Drop-out , Pick-up با تزریق جریان در ولتاژ نامی و در حداقل ولتاژ و در زاویه مشخصه رله (M.T.A)

- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله با تزریق ۲ و ۴ برابر جریان تنظیمی (درمورد رله‌های الکترومکانیکی تزریق ۲، ۵ و ۱۰ برابر جریان تنظیمی) با ولتاژ نامی با زاویه مشخصه رله (M.T.A)
- اندازه‌گیری ناحیه عملکرد رله (زاویه حداقل و زاویه حداکثر) با تزریق ۱۲۰٪ جریان تنظیمی و ولتاژ نامی
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC، ولتاژ AC، جریان و زاویه بین ولتاژ و جریان و مقایسه آن با بار خط وقتی که رله در مدار است

۳-۲-۱۴-۲- مهارت‌های موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۱۴-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

دستگاه تزریق جریان متغیر، دستگاه تغییردهنده زاویه سه فاز، دستگاه نشان‌دهنده زاویه، ولت‌متر، آمپر‌متر، سیم‌های ارتباطی.

۳-۲-۱۵- آزمایش دوره‌ای رله دیفرانسیل ترانسفورماتور نوع درصدی (87NT,87T)

۳-۲-۱۵-۱- مراحل اجرا

- اندازه‌گیری جریان Drop-out, Pick-up با تزریق جریان در مدار عمل‌کننده (Operating Coil)
- تزریق جریان به اندازه ۱ و ۲ و ۳ برابر جریان نامی در مدار مقاوم (Restraining Coils) و اندازه‌گیری مقدار جریان عمل‌کننده (Operating Current)
- تذکر:** اگر رله دیفرانسیل دارای سه مدار مقاوم باشد (ترانسفورماتورهای سه سیم‌پیچ) در این صورت هر سه مدار بایستی آزمایش گردد.

- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله با تزریق ۱۲۵٪ جریان تنظیمی در مدار عمل‌کننده
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC، جریانهای مقاوم و عمل‌کننده وقتی رله در مدار است
- آزمایش واحد قفل‌کننده (Blocking Unit)
- بازیابی سولفات‌بودن شانه‌های رله (رله‌های قدیمی) و تمیز کردن آن

۳-۲-۱۵-۲- مهارت‌های موردنیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۱۵-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

دستگاه تزریق جریان متغیر (دو دستگاه)، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولت‌متر، آمپر‌متر، سیم‌های ارتباطی و دیود (۲ عدد)

۳-۲-۱۶- آزمایش دوره‌ای رله اتصال زمین محدودشده نوع امیدانس بالا (87N)

۳-۲-۱۶-۱- مراحل اجرا

- اندازه‌گیری ولتاژ Drop-out , Pick-up و جریانهای مربوطه
- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله در ۱۵۰٪ ولتاژ نامی
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC، ولتاژ AC، وقتی که رله در مدار می‌باشد.

۳-۲-۱۶-۲- مهارتهای موردنیاز:

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۱۶-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز:

دستگاه تزریق ولتاژ متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولتمتر، آمپر متر، سیمهای ارتباطی.

۳-۲-۱۷- آزمایش دوره‌ای رله دیفرانسیل شینه (87B)

۳-۲-۱۷-۱- مراحل اجرا:

- اندازه‌گیری ولتاژ Drop-out , Pick-up و جریانهای مربوطه
- اندازه‌گیری زمان عملکرد رله در ۱۵۰٪ ولتاژ نامی
- اندازه‌گیری جریانهای Drop-out , Pick-up واحدهای CT Shorting و CT Secondary Supervision
- اندازه‌گیری زمان عملکرد CT Shorting و CT Secondary Supervision
- اندازه‌گیری ولتاژ DC و ولتاژ AC وقتی که رله در مدار می‌باشد.
- نظریه اینکه رله دیفرانسیل شینه ممکن است تعداد زیادی کلید را قطع نماید مدارهای قطع و آلارم و ثبات این رله هر دو سال یکبار با گرفتن مجوز از مرکز کنترل در صورت امکان آزمایش می‌گردد.

۳-۲-۱۷-۲- مهارتهای موردنیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۱۷-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

دستگاه تزریق ولتاژ متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولتمتر، آمپر متر، سیمهای ارتباطی.

۳-۲-۱۸- آزمایش دوره‌ای ترانسفورماتور جریان (CT)

ترانسفورماتورهای جریان در دوران بهره‌برداری دارای آزمایشات دوره‌ای نمی‌باشند. تنها بازدید و آچارکشی ترمینالها و سیم زمین کافی خواهد بود. این دستگاهها فقط در موارد زیر مورد آزمایش قرار می‌گیرند:

- در آزمونهای راه‌اندازی پستها
- هنگام بروز حوادثی نظیر ترکیدن کلیدها، برقگیرها، اتصالی شدید روی شینه‌ها ...
- در صورتی که تشخیص داده شود که مدار CT مدتی بازمانده است.
- پس از بررسی حوادث و تشخیص احتمال وجود عیب در CT ها و یا مدارات آنها

۳-۲-۱۸-۱- مراحل اجرا

آزمایش عایقی با استفاده از مگر (Megger):

- عایقی بین اولیه و ثانویه (۵۰۰۰ V)
 - عایقی بین اولیه و زمین (۵۰۰۰ V)
 - عایقی بین ثانویه و زمین (۲۵۰۰ V)
 - آزمایش پلاریته با استفاده از باطری (۱۲-۳) و آمپر متر DC و تطابق پلاریته بدست آمده با نقشه
 - آزمایش منحنی اشباع
 - تزریق ولتاژ AC از صفر تا مقدار ولتاژ زانوئی منحنی
- تذکر:** نقطه اشباع عبارتست از مقدار ولتاژی است که با افزایش ولتاژ به میزان ۱۰٪ جریان به اندازه ۵۰٪ افزایش یابد.

- آزمایش نسبت تبدیل
 - تزریق جریان به مدار اولیه به میزان حداقل ۱۰٪ مقدار نامی و اندازه‌گیری آن در مدار ثانویه
- تذکر:** هنگام تزریق جریان در مدار اولیه، ثانویه تمام هسته‌ها (Core) بایستی اتصال کوتاه باشد.
- اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچی ثانویه با استفاده از دستگاههای اندازه‌گیری مقاومت (پل وتستون)
 - اندازه‌گیری ظرفیت مدار ثانویه با تزریق جریان AC به اندازه جریان نامی و اندازه‌گیری ولتاژ
- تذکر:** باید دقت شود که این آزمایش ممکن است موجب عملکرد رله‌های جریانی گردد.

۳-۲-۱۸-۲- مهارت‌های مورد نیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۱۸-۳- ابزارآلات و تجهیزات مورد نیاز

دستگاه تزریق ولتاژ و جریان متغیر، دستگاه پرایمری، دستگاه مگر، باطری، دستگاه اندازه‌گیری مقاومت، ولت‌متر، آمپر متر عقربه‌ای، آمپر متر معمولی، ترانس واسطه، سیمهای ارتباطی.

۳-۲-۱۹- آزمایش دوره‌ای ترانسفورماتور ولتاژ

ترانسفورماتورهای ولتاژ در زمان بهره‌برداری آزمایش دوره‌ای نمی‌شوند. تنها بازدید و آچارکشی ترمینالها و سیم زمین بصورت سالانه کافی خواهد بود.

ترانسفورماتورهای ولتاژ در موارد زیر مورد آزمایش قرار می‌گیرند:

- آزمونهای راه‌اندازی پستها
- هنگام بروز حوادثی که موجب واردشدن خسارت بر تجهیزات پست می‌گردد.
- در صورت مشاهده عدم دقت در ولتمترها
- پس از بررسی حوادث و تشخیص احتمال وجود عیب در ترانسفورماتورهای ولتاژ و یا مدارات آنها

۳-۲-۱۹-۱- مراحل اجرا

آزمایش عایقی با استفاده از مگر (Meger):

- عایقی بین اولیه و ثانویه (۵۰۰۰ V)
 - عایقی بین اولیه و زمین (۵۰۰۰ V)
 - عایقی بین ثانویه و زمین (۵۰۰ V)
 - آزمایش پلاریته با استفاده از باطری (۱۲۷-۳) و آمپر متر DC و تطابق پلاریته بدست آمده با نقشه‌ها
 - آزمایش نسبت تبدیل
 - تزریق ولتاژ به مدار اولیه و اندازه‌گیری آن در مدار ثانویه
 - اندازه‌گیری ظرفیت مدار ثانویه با تزریق ولتاژ AC به اندازه ولتاژ نامی و اندازه‌گیری جریان عبوری از مدار
 - اندازه‌گیری ظرفیت خازنی (ترانس ولتاژ خازنی)
- تذکره: دقت شود که با انجام این آزمایش ممکن است بعضی رله‌های ولتاژی عمل نمایند.

۳-۲-۱۹-۲- مهارت‌های موردنیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۳-۲-۱۹-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

دستگاه تزریق ولتاژ متغیر، دستگاه ترانسفورماتور افزایشنده، دستگاه مگر، باطری، ولتمتر، آمپر متر، سیمهای ارتباطی.

۳-۲-۲۰- آزمایش دوره‌ای رله اضافه شار (98)

۳-۲-۲۰-۱- مراحل اجرا

- اندازه‌گیری ولتاژ عملکرد مرحله اول و دوم در فرکانس نامی (50HZ) (Drop-out , Pick-up)

- اندازه‌گیری زمان عملکرد مرحله اول و دوم
- تحریک رله و ملاحظه قطع کلید، آلارم و ثباتها
- اندازه‌گیری ولتاژ DC، ولتاژ AC وقتی که رله در مدار باشد.
- اندازه‌گیری ولتاژ عملکرد مرحله اول و دوم در فرکانس (47 HZ) , (Drop-out , Pick-up) در صورت ملاحظه عملکرد نامطلوب رله

۲-۲۰-۲-۳- مهارت‌های موردنیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۲-۲۰-۳-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

دستگاه تزریق ولتاژ متغیر، دستگاه اندازه‌گیری زمان، ولتمتر، دستگاه تغییردهنده فرکانس، سیم‌های ارتباطی.

۲-۲۱-۲-۳- آزمایش دوره‌ای مدارات قطع و وصل و اینترلاک کلید و سکسیونرهای ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت

۲-۲۱-۲-۳-۱- مراحل اجرا

- اندازه‌گیری ولتاژ DC بر روی کنتاکت‌های مسیر
- قطع و وصل کلید و سکسیونرهای مربوطه و تکرار قسمت اول
- اندازه‌گیری ولتاژ DC بر روی تابلوهای کنترل و نشان‌دهنده‌ها

۲-۲۱-۲-۳- مهارت‌های موردنیاز

- کارشناس یک نفر
- تکنیسین یک نفر

۲-۲۱-۳-۳- ابزارآلات و تجهیزات موردنیاز

ولتمتر، آمپر متر و سیم‌های ارتباطی.

فهرست منابع و مراجع

- [1] Network protection and automation guide, alstom
- [2] W.A Elmore, "protective relaying theory and applications", marcel dekker inc. 2004
- [3] applied protective relaying, Westinghouse electric corporation relay, 1976
- [4] C.R. mason, "the art and science of protective relaying", John wiley & sons, 1956
- [5] S. rao, "switchgear and protection", khana publishers.
- [6] IEC 60255, electrical relays
- [7] IEEE std c37.113: IEEE guide for protective relay applications to transmission lines, 1999
- [8] IEEE c37.97: IEEE guide for protective relay applications to power system buses, 1979
- [9] IEEE c37.91: IEEE guide for protective relay applications to power transformers, 2000

[۱۰] استاندارد پستهای ۶۳/۲۰ کیلوولت معمولی: مشخصات فنی، مشانیر ۱۳۷۳

[۱۲] استاندارد پستهای (۳۳) ۱۳۲/۲۰ کیلوولت معمولی، جلد ۱۲۱۹: حفاظت رله‌ای، مهندسین مشاور قدس نیرو، ۱۳۷۵.

[۱۳] استاندارد طراحی بهینه پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۲۱۹: معیارهای طراحی و مهندسی سیستم حفاظتی، مهندسین مشاور نیرو، ۱۳۷۷.

[۱۴] استاندارد طراحی بهینه پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، جلد ۳۱۹: مشخصات فنی سیستم و تجهیزات کنترل، حفاظت، اندازه‌گیری، ثبات وقایع و اطلاعات، مهندسین مشاور نیرو، ۱۳۷۷.

[۱۵] آزمونهای دوره‌ای تجهیزات حفاظت و کنترل پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت، مهندسین مشاور، ۱۳۸۱.

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

**General Technical Specification and
Execution Procedures for Transmission
and Subtransmission Networks
Protection Systems at
High Voltage Substations**

NO: 502- 2

Office of Deputy for Strategic Supervision
Bureau of Technical Execution System
<http://tec.mporg.ir>

Energy Ministry - Tavanir Co.
Power Industry Technical Criteria
Project
www.tavanir.ir

این نشریه

با عنوان "مشخصات فنی عمومی و اجرایی
پست ها، خطوط فوق توزیع و انتقال -
سیستم های حفاظتی در پست های فشار قوی" جلد
دوم از مجموعه دو جلدی است. در این مجلد مباحث
مربوط به این سیستم ها شامل کلیات و تعاریف،
معیار های طراحی و مهندسی انتخاب سیستم های
حفاظتی، دستورالعمل نگهداری و آزمون های
سیستم های مزبور در پست های فشار قوی ارائه
شده است.

