مروری بر مبحث حفاظت در پست‌های فشارقوی

گردآوری و تدوین : مهندس مازیار خرم بادلی

مقدمه

بدلیل اهمیت استمرار تأمین انرژی الکتریکی و همچنین هزینه‌های بالایی که در سرمایه گذاریهای اولیه جهت احداث مراکز تولید و سیستم‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی صرف می‌گردند، همواره نگهداری و حفاظت از این سیستمها در مقابل اتفاقات و حوادث بصورت یک امر اجتناب ناپذیر مطرح بوده و می‌باشند و به همین دلیل وجود سیستمی‌که حافظ وسایل و تجهیزات صنعت برق در مقابل حوادث باشد ضروری می‌باشد. این حفاظت به صورتهای مختلف می‌تواند جلوه‌گر باشد نظیر: حفاظت در مقابل خطاهای الکتریکی، حفاظت در مقابل موجهای سیار، دیوار آتش ترانسفورماتور و یا... اما آن چیزی که در این بخش دنبال می‌شود حفاظت اجزای این سیستم در مقابل خطاهای الکتریکی است. این خطاها دراثر عوامل گوناگون و به شکلهای مختلف ظاهر می‌شوند. آنچه مسلم است این است که به هنگام بروز خطا، سیستم از حالت عادی و نرمال خود خارج می‌شود و چنانچه از طریق سیستم حفاظت نتوان عیب و خطا را برطرف کرد، در آن صورت سیستم و مصرف کننده مواجه با ضررهای اقتصادی فراوانی خواهند شد. ضمن آنکه ارتباطات و وابستگی‌های فنی که در سیستم‌های بهم پیوسته و وسیع شبکه‌های سراسری موجودند، بگونه‌ای هستند که در مقابل خطا نقاط زیادی از سیستم از خود واکنش نشان داده و چنانچه خطا در قسمتی رفع نگردد، بخش وسیعی از شبکه دچار اشکال گردیده و در تأمین انرژی الکتریکی وقفه ایجاد خواهد شد. با توجه به این موارد در فصول آینده به جزئیات و مسائل مربوط به سیستم حفاظت، رله‌های حفاظتی و نحوه رله‌گذاری برای حفاظت فیدرهای مختلف پرداخته می‌شود.

۲– اجزای تشکیل دهنده پست‌های فشارقوی در سیستم‌های حفاظت

۱– کلیدهای فشار قوی

کلیدها وسیله ارتباط سیستم‌های مختلف هستند، و باعث عبور و یا قطع جریان می‌شوند و حفاظت دستگاهها و وسایل و سیستمهای الکتریکی را در مقابل جریان زیاد، بار زیاد و جریان اتصال زمین بعهده دارند. کلیدها در حالت بسته یا باز باید دارای مشخصاتی به شرح زیر باشند:

- در حالت قطع دارای استقامت الکتریکی باشد.
- در حالت وصل در مقابل جریان‌های عبوری و اتصال کوتاه مقاوم و پایدار باشد.

- قسمت‌های هم پتانسیل در موقع قطع یا وصل نسبت به زمین و نسبت به قطب‌ها و تیغه‌های دیگر ایزوله و عایق باشند.

۲–۱– کلیدهای قدرت – دیژنکتور Power circuit Breaker

کلیدی که قادر به قطع جریان عادی شبکه در موقع لـزوم و قطـع جریـان اتصـال کوتـاه و جریان اتصال زمین در موقع خطا و یا هر نوع جریانی باشد دیژنکتور نامیده می‌شود.

- ولتاژ نامی‌کلید می‌تواند در حدود ۱۵٪ از ولتاژ شبکه کوچکتر باشد ولـی بـه خـاطر اطمینـان بیشتر در استحکام شبکه ولتاژ نامی‌آن را قدری بزرگتر از ولتاژ شبکه می‌گیرند.
- جریان نامی‌آن برابر با بزرگترین جریان کار معمولی شبکه است.
- قدرت نامی‌قطع کلید باید با قدرت اتصال کوتاه در محل کلید مطابقت نماید.
- فرمان وصل کلیـد مـی‌توانـد بصـورت دسـتی، الکتریکـی، کمپرسـی توسـط هـوای فشـرده، هیدرولیک یا فنری باشد.
- یکی از مشخصات مهم کلید زمان تأخیر در قطع کلید است. این زمان حد فاصل زمـانی بـین لحظه فرمان قطع توسط رله مربوطه و آزاد کردن ضامن قطع کلید تا خاموش شدن کامل جرقه می‌باشد.
- کلیدهای قدرت باید بعد از هر ۳۰۰۰ بار قطع و وصل یا سالیانه یک بار مورد بازدید اساسی و سرویس قرار گیرند.

انواع کلیدهای قدرت:

- کلید روغنی
- کلید sf۶
- کلید نیمه روغنی
- کلید اکسپانزیون
- کلید هوائی
- کلید خلاء
- کلید گاز سخت

۲–۱–۱– کلید روغنی Bulk oil Type

در این کلید از روغن به عنوان عایق استفاده می‌شود و هر چه فشار الکتریکی شبکه بیشـتر باشد حجم روغن داخل کلید نیز زیاد می‌گردد. بطـور مثـال وزن روغـن در کلیـد روغنـی kv ۲۲۰ در حدود ۲۰ تن می‌باشد که این حجم زیاد روغن یکی از بزرگترین معایب این نوع کلیـد می‌باشد. با توجه به پایین بودن تکنولوژی ساخت آن و حجـم و وزن زیـاد آن و مقـرون بصـرفه نبودن این کلیدها در حال حاضر ساخته نمی‌شود.

۲-۱-۲- کلید کم روغن - نیمه روغن (Small) Minimum oil volume

ایجاد فشار و به جریان انداختن گاز در یک زمان معین و حساب شده تنها راه حل صحیح قطع جرقه در روغن می‌باشد که اکثر کلیدهای کم روغن بر این پایه ساخته شده‌اند و قطع سریع جرقه در زمان یک نیم پریود علاوه بر اینکه بر تأسیسات برقی مهم و با ارزش است در ساختمان کلید نیز مؤثر است. در این کلید محفظه احتراق کوچک و حجم آن خیلی کم است و قطع جرقه نیز در چنین کلیدی تابع شدت جریان است یعنی هر چه جریان اتصال کوتاه بیشتر باشد جرقه زودتر خاموش می‌گردد. امکان ساخت این کلیدها برای کلیه ولتاژها مسیر بوده و در حال حاضر از این نوع کلید تا ولتاژ ۱۰۰۰kv که بالاترین ولتاژ شبکه‌های موجود در دنیا می‌باشد بدون هیچ اشکالی استفاده و بهره برداری می‌گردد. ضمناً این نوع کلیدها معمولاً می‌توانند در مدت زمانی حدود ۵۰ الی ۶۰ میلی ثانیه عمل قطع را انجام دهند.

۲-۱-۳- کلید هوائی (دمنده) Air Blast Type

در این کلید برای خاموش کردن جرقه و خنک کردن جرقه از هوای سرد تحت فشار استفاده می‌شود و قدرت خاموش کنندگی آن مستقل از جریان است و فقط تابع هوای کمپرس شده ایست که در یک منبع ذخیره شده با فشار ثابت و مقدار ثابت برای هر شدت جریانی بداخل محفظه احتراق هدایت می‌شود. این کلید دارای زمان قطع بسیار کوتاهی می‌باشد.

۲-۱-۴- کلید گاز سخت

در پستها و شبکه‌های برق کوچک که دارای تأسیسات محدود می‌باشند و فاقد کمپرسور و تهیهٔ هوای فشرده می‌باشند نصب کلیدهای هوائی مقرون بصرفه نیست بدین جهت از کلید گاز جامد استفاده می‌شود. در این کلید گازی که باعث خاموش کردن و برنگشتن جرقه می‌شود توسط خود جرقه بوجود می‌آید. فیبر و آمینوپلاستها در اثر حرارت تبخیر شده و معمولاً گاز هیدروژن تولید می‌کنند که این گاز انتقال حرارت خوبی دارد.

کلید SF۶ SF۶TYPE

در این کلید از گاز هگزافلورید گوگرد یا SF۶ بعنوان مادهٔ خاموش کنندهٔ جرقه و عایق بین دو کنتاکت و نگهدارندهٔ ولتاژ استفاده شده‌است. این گاز کاملاً با ثبات و میل ترکیبی آن خیلی کم و غیر سمی‌می‌باشد و ۵ برابر هوا وزن دارد و در مقابل حرارت زیاد پایدار و غیر قابل اشتعال می‌باشد و قابلیت هدایت حرارتی این گاز زیاد می‌باشد.

این گاز جزء گازهای الکترونگاتیو می‌باشد و الکترونهای آزاد را جذب می‌کند و ایجاد یون منفی بدون تحریک می‌کند و در اثر حرارت زیاد خاصیت خود را از دست نمی‌دهد. با توجه به خواص ذکر شده در بالا این گاز بسیار مناسب جهت استفاده در کلیدهای قدرت می‌باشد.

از این نوع کلید با زمان قطع بمدت ۳۵ میلی ثانیه تا کنون ساخته شده‌است و از نظر ولتاژ نیز هیچگونه محدودیتی وجود ندارد از نظر قیمت ارزانتر و از نظر تعمیرات راحت تر و از نظر عملکرد سریعتر و بهتر و از نظر فضا، جای کمتر را اشتغال می‌نمایند. لذا با توجه به این مزایا کاربرد این کلیدها رو به افزایش می‌باشد.

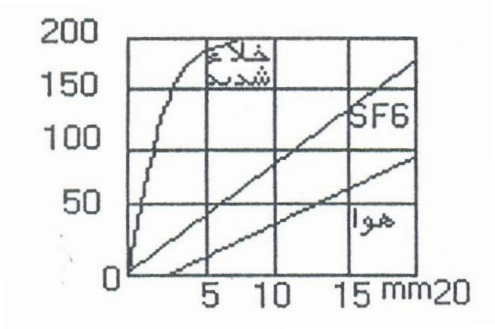
۲-۱-۵- کلید اکسپانزیون

در این کلید از آب بعنوان مادهٔ خاموش کننده استفاده می‌شود و بدین جهت به آن کلید آبی نیز گفته می‌شود. چون آب درون محفظه احتراق قابل اشتعال نیست هیچگونه انفجاری در کلید روی نمی‌دهد. در داخل محفظه احتراق مقداری آب و مادهٔ ضد یخ پرشده‌است. برای مادهٔ ضد یخ نیز تا ۷۰٪ اضافه کردن مورد ندارد ولی بیش از آن ضد یخ قابل اشتعال خواهد بود.

۲-۱-۶- کلید خلاء

حاملهای باردار باعث هدایت جریان در فلزات و ایجاد قوس الکتریکی در عایق‌ها می‌شوند. در خلاء هیچ عنصری وجود ندارد که حامل الکترونها باشد. کلید خلاء دارای مزایائی از قبیل دوام زاید، مراقبت کم، امکان قطع و وصل سریع مکرر در شبکه‌های فشار متوسط می‌باشد.

در شکل زیر استقامت الکتریکی خلاء در مقایسه با گاز و هوا در فشار bar ۱ نشان داده شده‌است.



مشخصات الکتریکی کلیدها

مشخصات الکتریکی که بایست در طرح یک پست مورد توجه قرار گیرد بشرح زیر می‌باشد:

- ☐ ولتاژ نامی Rated Voltage
- ☐ ولتاژ حداکثر نامی Rated Highest Voltage
- ☐ فرکانس نامی Rated Frequency
- ☐ جریان نامی Rated Current
- ☐ مقدار قطع جریان اتصال کوتاه Rated Short Circuit Breaking Current
- ☐ سطح عایقی in sulation Level
- ☐ مقدار ولتاژ گذرا Rated transient recovery voltage
- ☐ مقدار وصل جریان اتصال کوتاه Rated Short Circuit Making Current
- ☐ ترتیب زمانی قطع و وصل Rated operating Sequence
- ☐ مدت زمان قطع Breaking Time
- ☐ مدت زمان وصل Making Tame

مقادیر جریان اتصال کوتاه استاندارد برای کلیدهای قدرت عبارتند از:
کیلو آمپر۱۰۰و ۸۰ و ۶۳ و ۵۰ و ۴۰ و ۳۱/۵ و ۲۵ و ۲۰ و ۱۶ و ۱۲/۵ و ۱۰ و ۸ و ۶/۳
جهت انتخاب قدرت یا جریان قطع یک کلید ابتدا بایستی مقدار جریان اتصال کوتاه سه فاز متقارن در پشت کلید را محاسبه نمود و پس از آن با مقادیر فوق مقایسه و یکی از مقادیر فوق که بالاتر از مقدار جریان اتصال کوتاه محاسبه شده را به عنوان جریان قطع کلید انتخاب نمود.
جریان قطع× ولتاژ نامی‌شبکه× رادیکال۳ = قدرت قطع کلید

۲-۲ سکسیونر در پست‌ها Disconnecting Switch

کلیدهای قدرت در یک پست فشارقوی، قطع و وصل فیدرهای خروجی و ورودی و برقراری ارتباط بین قسمت‌های مختلف را تحت هر شرایط به عهده دارند. جهت ایجاد ایمنی در بهره‌برداری و تعمیرات و قطع فیزیکی یک قسمت از قسمت‌های دیگر از سکسیونر استفاده می‌شود. سکسیونرها می‌توانند کار قطع و وصل سیستم را، در حالتی که تقریبا شدت جریان صفر می‌باشد، انجام دهند، به عبارت دیگر سکسیونرها می‌توانند ولتاژ و جریان‌های کاپاسیتیو خیلی کم را قطع نمایند. علاوه بر مطالب فوق سکسیونرها می‌توانند در بهتر نمودن ایزولاسیون در پست‌ها به کلیدها کمک نمایند. سکسیونر در حالت باز می‌تواند ولتاژ نامی‌را بطور دائم و اضافه ولتاژهای موقت را بطور موقت تحمل نماید. ماده عایقی بین دو کنتاکت سکسیونرها معمولاً" هوا می‌باشد.

سکسیونرها از نظر شکل ظاهری انواع مختلف دارند که مهمترین آن‌ها عبارتند از:

۲-۲-۱-۱- سکسیونر تیغه ای یا کاردی (Blade Type)

این نوع سکسیونر برای ولتاژهای پایین و متوسط (تا حدود ۶۳ کیلو ولت) مورد مصرف قرار می‌گیرد و دارای یک کنتاکت ثابت و یک کنتاکت متحرک می‌باشد. قطع مدار عمود بر سطح افقی و در امتداد مدار می‌باشد. مسیر طی شده توسط کنتاکت متحرک حداکثر یک ربع دایره می‌باشد. قطع و وصل کلید ممکن است بطور دستی یا با استفاده از موتور صورت پذیرد..

۲-۲-۱-۲- سکسیونر کشوئی (Drawable Type)

سکسیونر کشوئی معمولاً" جهت سوئیچ‌گیرهای ولتاژ پایین و یا متوسط که در ساختمان‌ها و در داخل کیوسک قرار گرفته‌اند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. میله متحرک این سکسیونرها بصورت کشوئی بر روی مدار حرکت می‌کند. مزیت این نوع سکسیونر عدم نیاز به اشغال فضا در حالت قطع می‌باشد.

۲-۲-۱-۳ سکسیونر افقی از نوع Horizontal Center Break

در این سکسیونرها که در ولتاژهای متوسط و زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند، هر دو کنتاکت متحرک بوده و سکسیونر از وسط به دو قسمت تقسیم می‌شود. حرکت تیغه‌های این سکسیونر را اصطلاحا" افقی می‌نامند (اگر این سکسیونر عمود بر زمین نصب شده باشد، تیغه‌ها بصورت افقی حرکت می‌کنند). علت شکست مدار از وسط در این سکسیونرها این است که از نظر حفظ فواصل مجاز عایقی با فازهای دیگر مناسب‌تر می‌گردد. بطور کلی از این نوع

سکسیونرها در محل‌هایی که از نظر فواصل افقی بین فازها چندان محدودیتی وجود نداشته باشد و یا اینکه از نظر فواصل عمودی، در پست‌هایی که ولتاژ در دو ارتفاع مختلف قرار داشته باشد، معمولاً" سعی می‌شود که از این نوع سکسیونرها استفاده شود. بطور مثال در پست‌های با طرح یک و نیم کلیدی و از نوع باس‌بار، سیم‌های خروجی و ارتباطی از بالای تجهیزات عبور می‌نمایند و در نتیجه استفاده از سکسیونرهای افقی هزینه ایجاد پست را تا حدودی کم می‌کند.

۲-۲-۱-۴- سکسیونر افقی دورانی سه پایه‌ای (Center Rotation)

این سکسیونر دارای سه پایه بوده که دو پایه کناری و کنتاکت‌ها بصورت ثابت قرار گرفته و بر روی پایه میانی، میله‌هادی و رابط بین دو کنتاکت قرار گرفته است. این میله می‌تواند دو کنتاکت ثابت را به یکدیگر متصل نماید. حرکت میله‌هادی در این حالت بصورت دورانی و افقی می‌باشد. مورد استفاده این نوع سکسیو نرها مشابه حالت قبل می‌باشد.

۲-۲-۱-۵- سکسیونر عمودی (Vertical Type)

این سکسیونرها از نظر مسیر باز کردن مدار مانند سکسیونرهای تیغه‌ای بوده و لکن این سکسیونرها طوری طراحی می‌شوند که بتوانند مناسب جهت جریان‌ها و ولتاژهای بالا باشند. این سکسیونرها از دو پایه که بر روی یکی از پایه‌ها، کنتاکت ثابت قرار گرفته و کنتاکت متحرک در انتهای یک لوله‌هادی که انتهای دیگر آن بر روی پایه دیگر قرار گرفته، تشکیل شده‌اند.

این سکسیونرها در پست‌هایی که از نظر فواصل افقی محدودیت وجود داشته باشد و یا اینکه از نظر عمودی محدودیت وجود نداشته باشد، کاربرد دارند. استفاده از این سکسیونرها فاصله بین فازها را به حداقل می‌رساند.

۲-۲-۱-۶- سکسیونر قیچی (Pantograph Type)

این سکسیونر دارای یک پایه بوده که قسمت عمل کننده و بازوی سکسیونر (میله و یا لوله‌هادی) بر روی آن قرار گرفته و کنتاکت ثابت به باس‌بار متصل است. در حالتی که سکسیونر باز می‌باشد بازوی سکسیونر به علت وجود چند مفصل بر روی پایه تا و جمع می‌شود و در حالت بسته بودن بازوی سکسیونر بطور کامل باز می‌شود.

استفاده از این سکسیونرها باعث ایجاد کاهش در ابعاد پست شده و مخصوصا" در ولتاژهای بالاتر از ۱۳۲ کیلو ولت بسیار مناسب می‌باشند.

علت کاهش ابعاد پست این است که این سکسیونر معمولاً" مستقیما" زیر باس‌بار نصب می‌گردد. علاوه بر سکسیونرهای مذکور، انواع دیگری نیز وجود دارد که به علت مشابهت آن‌ها

با انواع ذکر شده در بالا و متداول نبودن آن‌ها از ذکر آن‌ها خودداری شده‌است.

۲-۲-۱-۷- سکسیونر زمین

پس از قطع دو طرف یک خط توسط کلیدها و باز نمودن سکسیونرهای مربوطه جهت ایجاد ایمنی به منظور کارکردن روی خط از سکسیونرهای زمین استفاده می‌شود.

سکسیونر زمین قسمت بی‌برق را به زمین متصل می‌نماید و معمولاً" این سکسیونر علاوه بر اینکه اجزای یک سکسیونر عادی را دارا می‌باشد، شامل یک میله‌هادی است که از نظر مکانیکی سکسیونر واین میله‌هادی اینترلاک (Interlock) دارند. سکسیونر زمین فقط موقعی می‌تواند بسته شود که سکسیونر خط باز باشد. بعضی از پست‌ها که دارای اهمیت‌اند، ممکن است مجهز به سکسیونر زمین باشند و لیکن در حالت عادی فقط سکسیونرهای خط مجهز به سکسیونر زمین بوده و در بقیه قسمت‌های پست از سکسیونر زمین قابل حمل استفاده می‌شود که در این حالت معمولاً" برای هر پست تعداد محدودی از این سکسیونرهای زمین قابل حمل در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲-۲- ساختمان کنتاکت‌ها در سکسیونر

کنتاکت‌ها در سکسیونرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و بایستی از نظر الکتریکی در موقع بسته بودن سکسیونر تا حد امکان مقاومت الکتریکی آن پایین باشد. کنتاکت‌ها بایستی طوری طراحی شوند که در صورتیکه جریان نامی‌از سکسیونر عبور نماید، درجه حرارت کنتاکت از ۹۰ درجه افزایش پیدا نکند. کنتاکت‌ها معمولاً" در اثر قطع و وصل ممکن است اکسید شوند، لذا جنس کنتاکت‌ها بایستی طوری انتخاب شود که اولا" از جنس سخت باشد و ثانیا" پراکسید نشود. کنتاکت‌ها از نظر مکانیکی نیز بایستی مقاومت کافی داشته باشند.

۲-۲-۳- مکانیزم عمل کننده سکسیونر

سکسیونرها از نظر مکانیزم عمل کننده ممکن است بصورت دستی و یا موتوری طراحی شوند. در پست‌هایی که چندان اهمیت نداشته باشند، جهت کاهش هزینه می‌توان از نوع دستی استفاده کرد. جهت ولتاژهای بالاتر از ۶۳ کیلوولت معمولاً" سکسیونرها مجهز به موتور می‌باشند. معمولاً" در حالتی که مکانیزم دستی باشد، بین سکسیونر و دیژنکتور فقط "Interlock" مکانیکی و در حالتی که مکانیزم موتوری باشد، بین سکسیونر و دیژنکتور از دو نوع اینترلاک مکانیکی و الکتریکی توأما" استفاده می‌شود. برای ولتاژهای پایین و متوسط، مکانیزم عمل کننده برای هر سه فاز مشترک بوده و لکن برای ولتاژهای بالا (نظیر ۴۰۰ کیلوولت) معمولاً" هریک از فازها مکانیزم جداگانه دارند. موتورهای مورد استفاده ممکن است با جریان متناوب و یا مستقیم کار کنند.

۲-۲-۴- ولتاژ و جریان نامی‌و سطح ایزولاسیون سکسیونرها

برای ولتاژ و جریان نامی‌سکسیونرها از استانداردهای موجود استفاده می‌شود. معمولاً" در صورتی که از نظر اقتصادی چندان تفاوتی وجود نداشته باشد، مقدار جریان سکسیونر را یک سطح بالاتر از جریان نامی‌کلیدها در نظر می‌گیرند. سطح ایزولاسیون سکسیونرها مشابه بقیه دستگاه‌ها است.

در پست‌های فشارقوی، سکسیونرها معمولاً" در دو طرف کلیدهای قدرت و در ابتدای هر فیدر و یا در محل‌های مناسب دیگر نصب می‌شوند. محل و موقعیت و تعداد سکسیونرها بستگی به نوع پست و طرح آن دارد.

۲-۳- اینترلاک‌ها

اینترلاکها به دو دسته الکتریکی و مکانیکی تقسیم می‌شوند و جهت جلوگیری از عملکردهای ناصحیح تعبیه شده‌اند.

۲-۳-۱- اینترلاکهای یک بی خط kv ۶۳

اینترلاک الکتریکی بین سکسیونر زمین خط و ترانس ولتاژ تعبیه شده و تازمانیکه ترانس ولتاژ تحت ولتاژ شبکه باشد، اجازه بستن به سکسیونر زمین خط داده نمی‌شود. اینترلاک الکتریکی بین دو سکسیونر طرفین بریکر یک بی خط KV۶۳ تا زمانیکه بریکر در حالت قطع قرار نگیرد اجازه باز یا بسته شدن به سکسیونر طرفین داده نمی‌شود.

۲-۳-۲- اینترلاکهای یک ترانسفورماتور KV ۶۳

اینترلاک الکتریکی بین بریکر KV۶۳ وسکسیونر بی ترانس تا موقعی که بریکر در حالت قطع نباشد اجازه باز یا بسته شدن به سکسیونر داده نمی‌شود.

۲-۳-۳- اینترلاکهای یک ترانسفورماتور ۲۰ KV

اینترلاک مکانیکی بریکر کشویی ورودی KV ۲۰ تا هنگامی‌که بریکر در حالت وصل باشد، پین اینترلاک که در قسمت زیر بریکر بین دو چرخ عقب بریکرکشویی قرار دارد، اجازه داخل یا خارج شدن از فیدر را نمی‌دهد. هنگامی‌که بریکر در مدار وصل است پین مربوطه پشت نبشی که در قسمت کف فیدر پیچ است قراردارد واجازه خارج شدن بریکر را نمی‌دهد.

اینترلاک الکتریکی بین سکسیونر ارت سرکابل ورودی KV۲۰ از ترانسفورماتور و بریکرهای KV ۲۰ و KV۶۳ همان ترانس به این ترتیب است که تا موقعی که دو بریکر یاد شده درحالت قطع نباشد اجازه بستن به سکسیونر زمین سرکابل KV ۲۰ داده نمی‌شود.

ضمناً تازمانیکه سرکابل ورودی KV۲۰ زمین باشد بریکرهای KV۲۰ وKV۶۳

فرمان وصل قبول نمی‌کند.

۲-۳-۴- اینترلاک باس شکن ۶۳ KV

اینترلاک الکتریکی بین چهار بریکر ۶۳ کیلو ولت قطع نباشند، اجازه بستن ویا باز کردن سکسیونر باس سکشن داده نمیشود. همچنین در صورتی که هرچهار بریکر ۶۳ کیلو ولت قطع باشد، اجازه باز و بسته شدن به سکسیونر باس شکن داده می‌شود.

ـ اینترلاک سکسیونر زمین باسبار ۲۰ کیلو ولت : در صورتی به سکسیونر زمین باسبار ۲۰ کیلو ولت اجازه بسته شدن داده می‌شود که کلیه بریکرها همان باس (خروجی‌ها، ورودی‌ها و باس کوپلر) قطع باشند و سوکت بریکرهای انها نیز وصل باشد.

۲-۳-۵- اینترلاک کلیدهای ۴۰۰ ولت AC

اینترلاک الکتریکی بین دو بریکر ۴۰۰ ولت ترانسهای کمکی بدین ترتیب که همیشه فقط یک بریکر میتواند در حالت وصل باشد.اینترلاک مکانیکی بین دو کلید پاپیونی روی تابو توزیع +SAطوری است که فقط یک کلید حالت وصل باشد.

۲-۴- مقره‌ها یا ایزولاتورها

ایزولاتورها بعنوان نگهدارنده سیم‌ها و باس‌بارها و همچنین برای ایجاد فاصله عایقی بین فازها و یا فازها با زمین استفاده می‌شود. لذا باید سطح عایقی بالایی داشته باشند. ایزولاتورها ممکن است از چینی (پرسلین) و یا شیشه یا پلاستیک یا رزین ساخته شوند. بمنظور افزایش فاصله خزش بین قسمتهای برقدار و زمین، مقره‌ها معمولاً بصورت ساده ساخته می‌شوند و از نظر شکل ظاهری دارای موج می‌باشند. مقره‌ها باید بتوانند نیروهای مکانیکی حاصله نظیر نیروهای اتصال کوتاه و زلزله و غیره را به خوبی تحمل نمایند.

ایزولاتورهای مورد استفاده در پستهای فشار قوی بطور کلی به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- ☐ مقره‌های پایه ای یا ثابت post insulator
- ☐ مقره‌های زنجیره ای یا بشقابی Chain insulator

مقره‌های پایه ای خود به دو دسته یکی مقره سوزنی و دیگری مقره معمولی تقسیم می‌شوند.

مقره‌های زنجیره‌ای که بیشتر جهت نگهداشتن سیم‌های هوائی استفاده می‌شوند ممکن است از نظر نصب از نوع آویزی و کششی باشند. در مواقعی جهت جلوگیری از نوسانات سیم‌ها در اثر وزش باد، از دو سری مقره که به شکل v به یکدیگر اتصال داده شده‌اند استفاده می‌شود. ارتفاع مقره‌های پایه‌ای و تعداد و نوع مقره‌های بشقابی را سطح عایقی یک پست و شرایط محیط آن تعیین می‌نماید در مناطق صنعتی و یا شرجی مقدار فاصله خزش مقره باید افزایش یابد.
طبق استاندارد IEC مشخصات مقره زنجیره ای ۴۰۰kv و ۲۳۰ kv نوع U۲۱OBS بشرح زیر می‌باشد:

- حداکثر تحمل نیروی الکترو مکانیکی ۲۱۰۰۰۰ نیوتن
- قطر مقره ۳۰۰ میلیمتر
- ارتفاع ۱۷۰ میلیمتر
- تحمل اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه ۱۱۰ کیلوولت پیک
- تحمل اضافه ولتاژ با فرکانس معمولی ۴۵ کیلوولت مؤثر

تعداد مقره مورد نیاز:
الف) ۲۷ تا برای (۴۰۰ کیلوولت)
ب) ۱۹ تا برای (۲۳۰ کیلوولت)

استقامت مکانیکی ایزولاتورها به جنس و ضخامت عایق و استقامت الکتریکی آنها به جنس و طول و شکل مقره بستگی دارد. مقره‌ها و پایه‌ها اکثراً از چینی و نوعی از آن نیز از شیشه ساخته می‌شود. مقاومت چینی (سرامیک) در مقابل فشار خیلی زیاد می‌باشد. (kg/cm^2 ۵۵۰۰- ۴۵۰۰) ولی در مقابل خمش و بخصوص کشش مقاومت چندانی ندارد (استقامت کششی kg/cm^2 ۵۰۰-۳۰۰ و استقامت خمشی kg/cm^2 ۱۰۰۰-۶۰۰) لذا نصب ایزولاتورها بنحوی می‌باشد که حتی المقدور تحت تأثیر نیروی خمشی و کششی قرار نگیرند.

۲-۵- هادیها در پستهای فشار قوی

جهت انتقال جریان و ولتاژ در داخل پست‌ها بین قسمتهای مختلف و بین تجهیزات از هادیهای مختلف که عمده ترین آنها از جنس آلومینیوم یا مس می‌باشد استفاده می‌شود.
این هادیها از لحاظ شکل ظاهری می‌توانند حالات زیر را داشته باشند:

- ☐ سیم هادی رشته‌ای (قابل انعطاف)
- ☐ لوله هادی (غیر قابل انعطاف)
- ☐ میله هادی

☐ شمش با مقطع مستطیلی

آلومینیوم دارای هدایت الکتریکی کمتری (حدود ۶۰ درصد) نسبت به مس می‌باشد. که باعث می‌گردد برای یک جریان مشخص سطح مقطع آلومینیوم بیشتر شود. ولی وزن مخصوص آلومینیوم حدوداً یک سوم مس بوده و از شمشها نیز بیشتر جهت فواصل کوتاه و در ولتاژهای پائین استفاده می‌شود. جهت جلوگیری از ایجاد کرونا باید هادی با سطح مقطع بیشتر و یا هادیهای باندل (Bundle) که تعداد دو یا سه و یا بیشتر هادی بصورت پارالل با یکدیگر می‌باشند را استفاده کرد.

برای ولتاژهای بالاتر از ۲۴۵ کیلوولت کرونا در نقاط تیز و در دو انتهای لوله ظاهر می‌شود که جهت رفع این مشکل می‌توان از گوی‌های کرونا (Corona Ball) استفاده نمود. جهت جلوگیری از ایجاد کرونا حداقل سایز سیم‌های هادی برای ولتاژهای مختلف در طراحی پست می‌تواند بشرح زیر انتخاب شود:

- ولتاژ ۱۳۲ کیلوولت هادی با سطح مقطع ۲۳۴ میلیمتر مربع
- ولتاژ ۲۳۰ کیلوولت هادی با سطح مقطع ۷۷۲ میلیمتر مربع
- ولتاژ ۴۰۰ کیلوولت هادی با سطح مقطع ۸۰۰ × ۲ میلیمتر مربع

فواصل مناسب جهت هادیهای باندل در بین گنتری‌ها برای حالت دوتائی ۱۵ سانتی متر و برای حالت سه باندل مقدار ۴۵ سانتی متر بوده و بین دستگاه‌ها مقدار ۸۵ میلیمتر مناسب می‌باشد. لوله‌ها در مواقعی که باد وجود دارد شروع به لرزش می‌کند که این امر ممکن است منجر به شکستن لوله‌های باس بار و یا از بین رفتن قطعات مربوط به اتصالات و معیوب شدن مقره‌های نگهدارنده و غیره شود. جهت جلوگیری از لرزش لوله‌ها می‌توان از روشهای زیر استفاده نمود:

☐ خواباندن یک کابل فولادی با وزن مناسب در داخل لوله
☐ استفاده از کلمپ‌های مخصوص در نقاط اتصال (پیچ و مهره ای یا پرسی)
☐ تعبیه یک وزنه اضافی در نقاط مشخص

برای سطح جریان اتصال کوتاه و جریان نامی‌پایین، استفاده از سیم هادی رشته‌ای مقرون بصرفه می‌باشد و معمولاً جهت جریان‌های اتصال کوتاه و نامی بالا از لوله استفاده می‌کنند. بهرحال از جمله پارامترهای مهم در انتخاب هادیها و سطح مقطع آن به شرح زیر می‌باشد:

☐ ضریب هدایتی مخصوص هادی (متر بر اهم میلی متر مربع)
☐ شرایط محیط خصوصاً درجه حرارت حداکثر و ارتفاع از سطح دریا

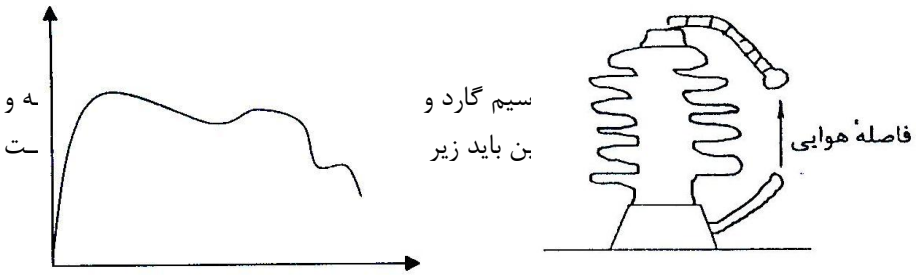
- انتخاب سطح مقطع هادی بطریقی که درجه حرارت دائمی هادی در شرایط عبور جریان نامی و حداکثر درجه حرارت محیط برای نوع آلومینیومی به حداکثر ۸۵ درجه سانتیگراد و برای نوع مسی به حداکثر ۷۰ درجه سانتیگراد محدود شود.

۲-۶- برقگیر

در ابتدای ورودی خط فشار قوی بداخل پست برقگیر نصب می‌شود که با علامت اختصاری (A.L) نشان داده می‌شود. برای هر فاز T.S.R یک برقگیر وجود داشته و از آنجائی که این پست دارای دو خط ۶۳ می‌باشد بنابراین در ابتدای پست شش برقگیر وجود دارد و چون پست دارای ۱۲KV عدد برقگیر می‌باشد شش برقگیر دیگر در ابتدای ترانسهای قدرت T۲,T۱ قرار گرفته است که برای حفاظت ترانسهای قدرت در مقابل رعد و برق می‌باشد.

شش برقگیر ابتدای خطوط نیز برای ارت نمودن رعد و برق حاصل از برخوردهای ابرهای باردار و جلوگیری از آسیب رساندن آن به تجهیزات موجود در پست می‌باشد. رعد و برق حاصل از برخورد ابرهای باردار در آسمان بوده که تولید برق با ولتاژ و آمپر بسیار زیاد می‌کند که مقدار ولتاژ آن گاهی به چند میلیون ولت می‌رسد و هنگام برخورد این برق با خطوط انتقال از طریق این خطوط وارد پستهای همجوار شده و باعث از بین رفتن بوبین‌ها در ترانس قدرت و ترانسهای ولتاژ و جریان(VT.CT) می‌شود که برقگیرها با ارت نمودن این ولتاژ مانع از اثر مخرب آن خواهد شد.

موج حاصل از رعد و برق از نوع مستقیم و متناوب (VT.CT) نمی‌باشد بلکه یک شکل موج ضربه‌ای است زمان کوتاهی به اندازه میکروثانیه به پیک رسیده و سپس میرا خواهد شد.



الف) برقگیر میله ای
ب) برقگیر با مقاومت غیر خطی
ج) برقگیر لوله‌ای

۲-۶-۱-۱- برقگیر میله‌ای

یکی از ساده‌ترین و ارزانترین روشهای حفاظتی دستگاه‌های انتقال نیرو در برابر ولتاژهای زیاد فاصله هوایی می‌باشد. با تنظیم فاصله هوایی مناسب بین دو الکترودی که با دستگاه مورد حفاظت بطور موازی بسته شده‌است حفاظت دستگاه در مقابل ولتاژهای بیش از ولتاژ عادی سیستم تأمین خواهد شد. ترکیب ساده الکترود و فاصله هوایی برقگیر میله‌ای را تشکیل می‌دهد.

فاصله بین الکترود باید طوری انتخاب شود که در مقابل بیشترین مقدار ولتاژ سیستم استقامت کند ولی ولتاژهای زیاد، باعث تخلیه الکتریکی در آن شود.

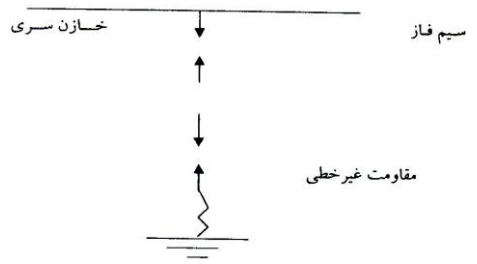
البته در اینجا باید استقامت الکتریکی عایق دستگاه مورد حفاظت از بیشترین سطح ولتاژی که فاصله شکست الکتریکی پیدا می‌کند بیشتر باشد. بطور ایده آل مشخصه شکست فاصله هوایی طوری باشد که در مقابل بیشترین ولتاژ سیستم برای زمان نامحدود مقاومت کند و برای هر ولتاژی بیشتر از این مقدار شکست پیدا کند.

۲-۶-۱-۲- برقگیر با مقاومت غیر خطی

این نوع برقگیر از یک یا چند خازن سری همراه با یک یا چند مقاومت غیر خطی تشکیل شده‌است. این خازنها (فواصل هوایی) لازمند تا در حالت کار عادی سیستم از ورود جریان الکتریکی بداخل برقگیر جلوگیری نماید. زمانی که ولتاژ سیستم به علتی بالا رود فواصل هوایی

بین خازنهاهادی جریان الکتریسیته خواهد شد و قوس الکتریکی در این فواصل تشکیل می‌شود.

از این پس جریانی که از مقاومت غیر خطی عبور می‌کند میزان افت ولتاژ در دو سر برقگیر و در نهایت در دو سر سیستم مورد حفاظت را تعیین می‌کند شکل زیر مدل الکتریکی برقگیر را نشان می‌دهد.



۲-۶-۲- مشخصه مقاومت‌های غیر خطی

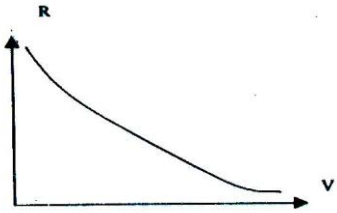
معمولاً مقاومتهای غیر خطی که در برقگیر بکار برده می‌شود از کاربید سیلیسیم ساخته می‌شوند و مشخصه ولتاژ آن به صورت زیر است:

$$V = KI^{B}$$

که در آن B=۰.۲,K =۱۳۰۰ است.

بدین معنی که جریان با توان پنجم ولتاژ متناسب است لذا مقاومت ثابت نیست و بستگی به ولتاژ دارد.

شکل زیر نمائی از این ارتباط را نشان می‌دهد.



این مقاومتهای غیر خطی در برابر موج حاصل از صاعقه یا عوامل دیگر مقاومتی کم نشان می‌دهند و بدین ترتیب این امواج را از داخل خود هدایت کرده و سطح ولتاژ را در حد معینی نگه می‌دارند. اما زمانیکه موج ولتاژ از داخل برقگیر عبور کرده و ولتاژ سیستم به حالت عادی برمی‌گردد مقاومت غیر خطی به یک مقاومت بزرگ تبدیل شده و جریان عبوری از داخل برقگیر بطور قابل ملاحظه ای کاهش می‌یابد.

کم شدن جریان باعث می‌شود که قوس الکتریکی در فواصل هوائی ناپایدار شده و در لحظه ای که ولتاژ سیستم از صفر عبور کند قوس بطور کامل خاموش می‌شود.

۲-۶-۳- ویژگیهای فواصل هوائی

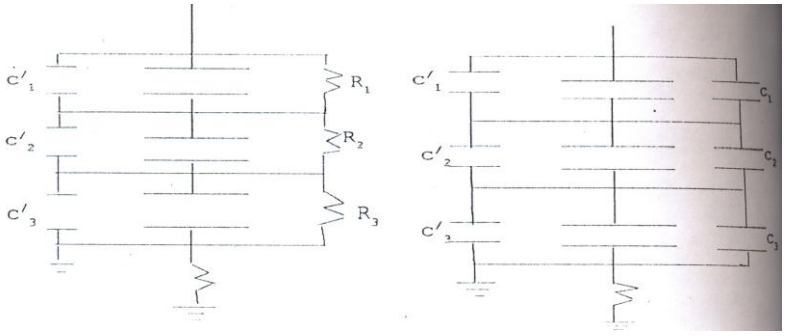
فواصل هوائی موجود در یک برقگیر باید در برابر بیشترین مقدار ولتاژ سیستم مقاومت نموده بدون اینکه امکان تخلیه الکترکی این فواصل هوائی وجود داشته باشند. همچنین این فواصل هوائی باید به نحوی باشد که پس از هدایت موج جریان زیاد حاصل از صاعقه یا عوامل دیگر موقعی که ولتاژ سیستم به حالت عادی بر می‌گردد. جریان حاصله را در اولین نقطه صفر ولتاژ قطع کند.

۲-۶-۴- درجه بندی ولتاژ(Voltage Grading)

بکار بردن چند فاصله هوائی بطور سری به جای یک فاصله هوائی قابلیت استقامت برقگیر را در برابر ولتاژ برگشتی زیاد می‌کند اما این مسئله را پیش می‌آورد که ولتاژ روی فواصل هوائی بطور مساوی توزیع نمی‌شود بلکه ولتاژ بطور غیر خطی تقسیم می‌شود. چون در حالت کار عادی سیستم ولتاژ کل سیستم در دو سر فاصله هوائی برقگیر قرار می‌گیرد.

اگر به علتی افت ولتاژ در دو سر یکی از فواصل هوائی بیشتر استقامت الکتریکی آن گردد قوس الکتریکی این فواصل هوائی را از بین می‌برد و سهم فواصل هوائی دیگر از ولتاژ بیشتر می‌شود. این موضوع سبب می‌گردد که احتمال تشکیل قوس الکتریکی بین فواصل دیگر بیشتر شده و بدین ترتیب در فاصله کوتاهی همه خازنها شکست الکتریکی پیدا می‌کنند.

برای غلبه بر این پدیده معمولاً مقاومت یا خازنهایی بطور موازی در دو سر شکاف‌ها می‌گذراند این کارها را درجه بندی ولتاژ گویند.



C۱ = خازن اصلی

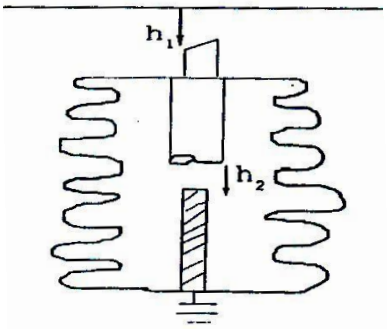
c =خازن‌های ناخاسته

C۱.۲.۳= خازنهای درجه بندی

R۱.۲.۳ = مقاومتهای درجه بندی

گاه ممکن است که درجه بندی به صورت ترکیبی از خازن و مقاومت باشد. مقادیر خازنها و مقاومتها چنان انتخاب می‌شوند که امپدانس دیده شده و از دو سر هر شکاف با هم برابر باشند. پس بطور خلاصه درجه بندی الکتریکی به معنی قرار دادن خازن یا مقاومت در دو سر فواصل هوائی است امپدانس خیلی زیاد مدار درجه بندی جریان بسیار ضعیفی را عبور می‌دهد ولی توزیع مساوی ولتاژ را عملی می‌سازد.

باید تذکر داد که علاوه بر خازنهای سرگردان که باعث توزیع نامساوی ولتاژ می‌گردند آلودگی سطح خارجی مقره‌ها مجاورت باهادیهای باردار و اجزاء زمین شده نیز باعث این عدم توزیع مساوی ولتاژ می‌شوند. مقاومتهای درجه بندی معمولاً از نوع غیر خطی انتخاب می‌شوند که خود در بهبود کنترل ولتاژ موثر هستند.

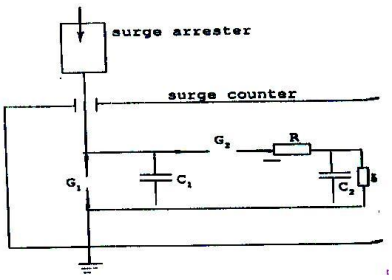


۲-۶-۱-۳- برق گیر لوله ای

این نوع برقگیر مطابق شکل زیر تشکیل شده‌است از یک لوله توخالی که با فاصله هوایی مشخص از هم قرار گرفته اند که علاوه بر این فاصله هوائی خود برقگیر با خط برقدار به فاصله (h۱) قرار گرفته است.

۲-۶-۵- کنتور برقگیر

جهت مشخص شدن تعداد دفعات عملکرد برقگیر معمولاً سیم زمین برقگیر را از داخل دستگاهی به نام کنتور برقگیر عبور می‌دهند. در شکل زیر ساختمان کنتور برقگیر مشاهده می‌شود.



G.G۲ Spark gaps
Fig.I.schematic diagram
R Non linear registor
C.C۲ Capacitors
I. counting rela

۲-۶-۶- کاربرد برقگیر

حال باید با توجه به نوع سیستم و ملاحظات اقتصادی درباره انتخاب یکی از انواع برقگیرها تصمیمی‌گرفت. این تصمیم باید بر این هدف استوار باشد که احتمال آسیب دستگاه مورد حفاظت را به مینیمم مقدار برساند.

سیم محافظ در بالای خطوط انتقال کشیده می‌شود و پوشش حفاظتی بسیار خوبی برای خطوط انتقال است. برقگیرها با مقاومت غیر خطی یکی از مهمترین و قابل اعتمادترین وسایل حفاظتی در مقابل ضربات ولتاژ هستند.

قیمت برقگیرهای میله‌ای به یک دهم برقگیرهای با مقاومت غیر خطی هم نمی‌رسد و این موضوع اهمیت کاربردهای بجای این دو برقگیر را روشنتر می‌سازد.

در حال حاضر کلیه ترانسهای ۲۰/۰,۴kv در ایران توسط برقگیرهای با مقاومت غیر خطی حفاظت می‌شوند و البته با استفاده آگاهانه از برقگیرهای میله‌ای می‌توان میلیونها تومان برای شرکت برق صرفه جوئی کرد.

قبل از بحث درباره کاربردهای برقگیر با مقاومت غیر خطی و برقگیرهای میله‌ای (شاخگی) لازم است که تفاوت اساسی این دو را در نظر گرفت.

برقگیر با مقاومت غیر خطی امواج ضربه‌ای را به داخل خود هدایت کرده و باعث جلوگیری از آسیب دستگاه‌های دیگر می‌شود و پس از گذراندن این امواج جریان در برقگیر قطع شده و سیستم به حالت عادی خود بر می‌گردد و لذا دستگاه‌های مورد حفاظت بکار خود ادامه می‌دهند.

برقگیر میله‌ای گو اینکه امواج ضربه‌ای را به داخل خود هدایت می‌کند اما پس از گذر ضربه‌ای قوس الکتریکی بین دو شاخ برقگیر ادامه می‌یابد و این پدیده مانند اتصال کوتاهی روی سیستم عمل می‌کند که به ناچار فیوزها و یا دژنکتورهای مراحل قبل عمل کرده و جریان برق را قطع می‌کنند. بنابراین با این نوع برقگیر قطع جریان الکتریسیته برای مصرف کننده‌ها اجتناب ناپذیر است.

۲-۶-۷- در موارد زیر می‌توان برقگیر میله‌ای را جایگزین برقگیرهای با مقاومت غیر خطی کرد:

در موردی که از کارافتادن یک دستگاه، جریان مصرف کننده را قطع نکند و به عبارت دیگر ظرفیت رزرو بقدر کافی باشد.

موقعیکه سیستم حفاظتی مجهز به کلید وصل مجدد خودکار (AutoRecloser) باشد در این صورت در زمان قطع اتورکلوزر قوس الکتریکی بین دو شاخک برقگیر خاموش می‌شود و

جریان عادی را به مصرف کننده‌ها بر می‌گرداند.

سیستم حفاظت شونده مثلاً ترانسفورماتور موضعی باشد که دارای مصرف کننده‌های مهمی نبوده و قطع برق برای مدتی ضرر و زیان قابل ملاحظه‌ای وارد نمی‌کند.

مثلاً ترانسفورماتورهایی که در مناطق صنعتی و حیاتی نیستند و مصرف کننده‌های بی‌اهمیت را تغذیه می‌کنند. اکثر ترانسفورماتورهای توزیع شامل این خاصیت هستند و تعویض ساده فیوز یا وصل مجدد کلیدهای فیدرها جریان برق را برقرار می‌کند.

همچنین باید توجه داشت که میزان اصابت صاعقه بر روی خطوط معمولاً کم است و در بعضی مکانها احتمال وقوع آن به صفر می‌رسد. یعنی استفاده از برقگیر میله‌ای ممکن است حتی در عرض چندین سال خاموشی ببار نیاورد. بنابراین برقگیر میله‌ای از نظر هزینه بصرفه‌تر می‌باشد.

۲-۶-۸- اصطلاحات و مشخصات برقگیر

۲-۶-۸-۱- Rated voltage

ولتاژ نامی‌برقگیر عبارتست از بیشترین ولتاژ مجاز هم فرکانس با شبکه که بین دو سر برقگیر قرار می‌گیرد. پس از گذر موج ضربه‌ای برقگیر قادر است که قوس الکتریکی بین فواصل هوائی را خاموش کند. بشرط اینکه ولتاژ سیستم از ولتاژ نامی برقگیر بیشتر نباشد.

۲-۶-۸-۲- Rated frequency

بوسیله این مشخصه فرکانس، یا دامنه فرکانسی شبکه قدرت که برقگیر در آن نصب می‌گردد تعیین می‌شود.

۲-۶-۸-۳- Discharge current

جریان تخلیه‌ای که بعد از وقوع قوس الکتریکی از برقگیر عبور می‌کند.

۲-۶-۸-۴- Power frequency spark over voltage

مقدار موثر کمترین ولتاژ هم فرکانس با شبکه که در صورت برقراری بین دو سر برقگیر باعث جرقه الکتریکی همه فواصل هوائی برقگیر می‌شود.

۲-۶-۸-۵- Impulse spark over voltage

مقدار پیک کمترین موج ایمپالسی (۱۲/۵۰) که باعث عملکرد برقگیر خواهد شد.

۲-۶-۸-۶- Residual voltage

بیشترین مقدار ولتاژی که در حین تخلیه جریان از برقگیر ظاهر می‌شود.

۲-۶-۸-۷- Rated Discharge current

مقدار جریان پیک اپمپالسی(۸/۲۰) می‌باشد که برقگیر قادر به خاموش کردن آن می‌باشد.

۲-۶-۹- نکاتی که در مورد نصب برقگیرها باید مورد توجه قرار گیرد.

اثر حفاظتی حتی برقگیرهای خوب در اثر کاربرد نامناسب بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد در موقع نصب یک برقگیر باید نکات زیر را توجه داشت:

- ☐ باید اتصال زمین برقگیر کامل باشد.
- ☐ برقگیر باید در مجاورت دستگاه حفاظت شونده قرار داده شود هر قدر که برقگیر به دستگاه مورد حفاظت نزدیکتر باشد اختلاف پتانسیل کمتری بین ترمینال برقگیر و دستگاه وجود دارد.
- ☐ سیم زمین برقگیر باید به اتصال زمین مشترک پست وصل شود.
- ☐ سیم اتصال زمین باید هیچگونه پیچش یا حلقه‌ای نداشته باشد زیرا این باعث می‌شود که اندوکتانس اضافه در مقابل جریان تخلیه بوجود آید.
- ☐ بهتر است که از کابلهای رشته‌ای با مقاطع

  ۵۰$^{mm^2}$,۳۵$^{mm^2}$,۲۵$^{mm^2}$ استفاده شود.
- ☐ در موقع نصب برقگیر باید توجه داشت که هر گونه هادی فلزی چه دارای ولتاژ متفاوتی با ولتاژ سیستم و چه زمین باشد و در خارج یک کره فرضی شعاع R و در برقگیر باشد این شعاع از فرمول مقابل استفاده می‌شود.

$R=۱۲\times Un$

که در اینجا Un ولتاژ نامی‌برقگیر به R,kv میلی متر است.

۲-۷- سیستم مخابراتی P.L.C

در خطوط انتقال نیرو در ورودی به پستها و پس از برقگیر، لاین تراب (T RAP) وجود دارد که در خطوط فشار قوی مانند ۴۰۰^{KV} و ۲۳۰^{KV}به همراه یک دستگاه (C.V.T) یا (Capacitor voltage transformer) یعنی ترانس ولتاژ خازنی می‌باشد ولی در خطوط ۶۳ کیلو ولت از (coupling capacitor C.C.V.T) یعنی ترانس ولتاژ خازنی کوپل استفاده می‌شود که در پست شهید نیک مهر دو لاین تراپ در ابتدای ورودی خطوط بداخل پست وجود دارد که در واقع ترکیب از سلف و خازن بوده و نوعی موج‌گیر می‌باشد که به یک (L.M.U) یا (Line matching unit) یعنی واحد دریافت خط متصل است که فرکانسهای بالا با ولتاژ پایین را که امواج مخابراتی می‌باشد دریافت نموده و آن را به سیستم P.L.C

(Power line carrier) که به صورت کمدی در داخل اتاق فرمان و مشتمل برکارتهای الکترونیکی می‌باشد انتقال می‌دهد و مکالمات تلفنی از این طریق میسر می‌گردد البته یک واحد مجزای R.T.U یا (Remote terminal) وجود دارد که اطلاعات مربوط به واحدهای قدرت را در C.P.U یا (Centralnproccssorunit) یعنی واحد پردازش مرکزی تجزیه و تحلیل نموده و سپس Data یا اطلاعات و داده‌ها را توسط سیستم P.L.C کاربردهای فراوانی دارد که این کاربردها عبارتند از :

- ☐ Speak (صحبت کردن)
- ☐ Data (اطلاعات)
- ☐ Tele protection (حفاظت)
- ☐ Tele metering (اندازه‌گیری از راه دور)

در واقع سیستم P.L.C همچنان که از معنای آن استنباط می‌شود حاصل (خط فشار قوی با حامل) به اینصورت عمل می‌کند که همراه با برق فشار قوی در داخل سیم‌های فشار قوی صدای اشخاص و علائم دیگر را که نخست روی یک سیگنال با فرکانس بالا سوار کرده ایم از یک پست یا نیروگاه یا مرکز دیسپاچینگ به سایر نقاط می‌فرستیم و جالب این است که هر دوی جریان برق فشار قوی و سیگنال تلفنی در داخل یک سیم مشترک عبور می‌کند به علت اختلاف فرکانس زیادی که دارند هیچ گونه اثرات پارازیتی روی یکدیگر ندارند. اما روشن است که اتصال تأسیسات تلفنی و مخابراتی به برق فشار قوی نیاز به تأسیسات مهمی‌دارد که عمدتاً در دو گروه جای می‌گیرند.

گروه اول را تأسیسات In door یا داخل اتاق گوییم و گروه دوم تأسیسات out door یا خارج از اتاق می‌باشند که نخست تأسیسات out door بررسی می‌شود.

فرض می‌کنیم که می‌خواهیم بین سه پست A,B,C ارتباط برقرار می‌کنیم. سیگنال مخابراتی که از تأسیسات In door خارج می‌شود توسط دو دستگاه Line tuner یا تنظیم کننده خط که یک ترانسفورماتور کوچک است و دستگاه خازن کوپلاژ به خط فشار قوی وصل می‌شود.

اما ببینیم نقش این ترانسفورماتور کوچک و خازن دقیقاً چیست؟ برای این منظور بطور مقدماتی باید گفت که وقتی یک سیم پیچ با یک خازن سری می‌شود در بعضی فرکانسها این مجموعه سلف و خازن مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند و در بعضی دیگر مقاومت کم، لذا می‌توان سلف را یعنی اولیه ترانس را طوری انتخاب کنیم که وقتی با خازن کوپلاژ (که مقدارش ثابت و قابل تغییر نیست) سری می‌شود برای سیگنال مخابراتی که روی فرکانس بالایی سوار شده‌است مقاومت کمی‌نشان دهد و درست شبیه شیشه اطاق ماشین که وقتی یک ماشین

خاصی از داخل خیابان عبور می‌کند شروع به لرزش می‌کند و اصطلاحاً حامل یا کریر (Carrier) تشدید می‌کند و صدای شخص و یا علائم مخابراتی را از خود عبور می‌دهد. ولی در فرکانس ۵۰ هرتز که همان برق فشار قوی است مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهد و با اینکه مطابق شکل تأسیسات تلفنی به خط فشار قوی وصل می‌شود. به هیچ وجه این برق با فشار بالا از خازن کوپلاژ و تنظیم کننده عبور نمی‌کند و خطری برای تأسیسات ظریف تلفنی ندارد.

اما چرا به جای سیم پیچها از ترانسفورماتور استفاده می‌شود. علتش این است که هر وقت دو کابل با جنس مختلف را بخواهیم به هم وصل کنیم حتما باید بین آنها یک ترانسفورماتور قرار دهیم یعنی می‌دانیم که کابل تلفن یک کابل ظریف است که به آن کابل کواکسیال (COAXIAL) گویند. وقتی بخواهیم آن را خط فشار قوی که از جنس دیگر و با ضخامت دیگر است وصل کنیم باید یک ترانسفورماتور بین آنها قرار داد که البته قابل ذکر است یکی از وظایف ترانسفورماتورهای تبدیل یا تطبیق امپدانس می‌باشد.

دستگاه دیگر (Line trap) یا تله موج یا تله خط است و ساختمان آن یک سیم پیچ قطور است که قطر سیم آن تقریبا مساوی خط فشار قوی است و خازنی دارد که از بیرون آن قابل مشاهده نیست. و در داخل آن نصب است و این خازن با این سلف موازی است و می‌دانیم که همان طور که در مبانی برق هم مطرح می‌شود وقتی یک سلف با یک خازن موازی می‌شود درست مثل حالت قبل در فرکانس خاصی مقاومت زیاد و در فرکانس خاصی مقاومت کم از خود نشان می‌دهد.

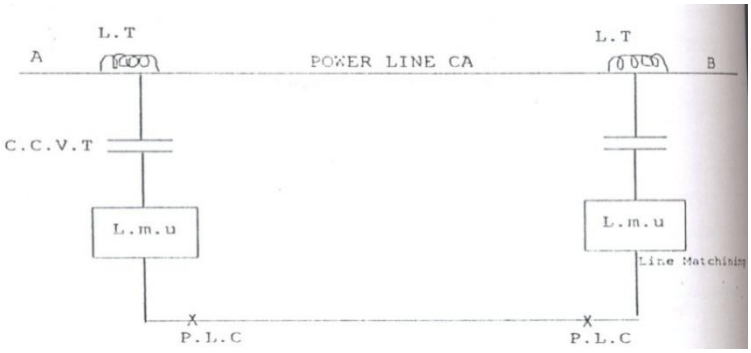
منتها فرق آن با حالت سری در این است که این بار وقتی سلف و خازن موازی روی فرکانس carrier یا مخابراتی تشدید کنند مقاومت خیلی زیاد و در فرکانس ۵۰ هرتز برق فشار قوی مقاومت خیلی کم نشان می‌دهند.

وقتی سیگنال مخابراتی از پست A به پست B می‌رود اصطلاحاً گوییم در لاین تراپ به تله می‌افتد و وارد پست نمی‌شود و قبل از تله موج وارد تأسیسات P.L.C می‌شود. اما ممکن است این سوال مطرح شود که چرا سیگنال P.L.C نباید وارد پست شود؟ که در جواب باید گفته شود که علت مهم اینست که حوادث پست از قبیل قطع و وصل دیژنکتوربا آن وضعیت ایجاد قوس در صدای تلفنی و سیگنال مخابراتی تولید پارازیت نکند.

پست B تأسیسات تلفنی ندارد ولی در همین حال لاین تراپ و خازن کوپلاژ و تنظیم کننده خط نیاز دارد. این به آن علت است که مطابق همان دلیلی که گفتیم سیگنال P.L.C نباید وارد پست شود. لذا باید به دو لاین تراپ و دو خازن کوپلاژ و دو تنظیم کننده خط این طرف و آن طرف پست B قرار بگیرند تا سیگنال مخابراتی پست را اصطلاحاً دور بزنند.

۲-۸- تأسیسات In door

شامل دستگاه‌هایی است که در داخل اطاق به شکل کمدهای فلزی دیده می‌شود نخستین کمد فلزی که در داخل آن کارتهای الکترونیکی وجود دارد یک وظیفه اش پیاده و سوار کردن سیگنال تلفنی و تله متری و... روی یک سیگنال با فرکانس خیلی بالا می‌باشد و وظیفه دیگر این کارتها تقویت کردن و فیلتر کردن (جداسازی) می‌باشد منظور از جدا سازی عبارت از این است که وقتی سیگنال تلفنی و تله متری و... همراه هم داخل خط فشار قوی فرستاده می‌شود باید در گیرنده از هم جدا جدا شده و سیگنال تلفنی آن را وارد دستگاه تلفن و تله متری وارد دستگاههای تله متری و تله پروتکشن وارد دستگاههای پروتکشن (protaction) حفاظت شوند و برای اینکه با هم ایجاد تداخل نکنند فرکانسهای متفاوت می‌گیرند.



کمد دیگر bt یا مرکز ترانزیت است که کارش شماره گیری و تولید سیگنال‌های زنگ(زنگ ممتد- بوق اشغال و غیره) می‌باشد.

دیگر AL است که وظیفه اش وصل خطوط خارجی تلفنی به خطوط داخلی پست می‌باشد. فرکانسهای حامل در ایران از ۴۰.۴^{KHZ} تا ۴۰۰^{KHZ} می‌باشدکه برای فاصله مفروض X۱ فرکانس F۱ و برای X۲ فرکانس F۲ را در نظر می‌گیرند و امواج با فرکانس در اصطلاح ۵۰^{HZ} short circuit یا اتصال کوتاه می‌شود.

۲-۹- ترانسهای ولتاژ

هنگامیکه مقادیر جریان و ولتاژ در مدار قدرت به اندازه‌ای بالا باشد که نتوان وسایل اندازه‌گیری یا رله‌ها را مستقیماً به آن وصل نمود از مبدل به عنوان رابط استفاده می‌شود.

به عبارت دیگر وظایف اصلی ترانسهای ولتاژ جریان عبارتند از :

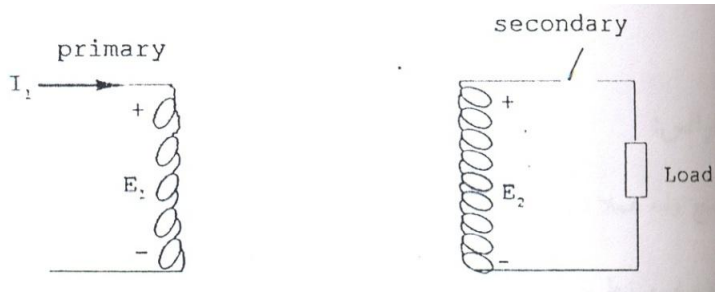
تبدیل جریان یا ولتاژ زیاد به مقداری کم، قابل استفاده در رله‌ها و تجهیزات مجزا نمودن مدار اندازه‌گیری از ولتاژ

بالافراهم نمودن امکان استاندارد نمودن رله‌ها و تجهیزات در چند مقدار نامی جریان و ولتاژ عملکرد ترانسهای اندازه‌گیری به هنگام تغییرات لحظه‌ای شدید کمیت ورودی حایز اهمیت می‌باشد زیرا ممکن است در این حالت کمیت ورودی از فرم سینوسی خود خارج شده و باعث انحرافاتی در ثانویه گردد در این مورد خطا و عدم دقت خروجی ترانس می‌تواند سبب تغییر غیر عادی گردد که سبب بکار افتادن حفاظت و یا به کار افتادن غیر ضروری آن گردد.

ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ از لحاظ تئوری با ترانسفورماتورهای قدرت مشابهند و روابط زیر برای آنها صادق است:

$$۱)\ \frac{I۱}{I۲}=\frac{N۲}{N۱} \qquad ۲)\ \frac{E۱}{E۲}=\frac{N۱}{N۲}$$

معادله (۱) در ترانسفورماتورهای جریان و معامله (۲) در ترانسفورماتورهای ولتاژ کاربرد دارد. برای بررسی ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ ابتدا بدون توجه به کاربرد آنها ترانسفورماتور زیر ار در نظر می‌گیریم :



اگر به سیم پیچ اولیه در حالیکه سیم پیچ ثانویه باز است ولتاژی اعمال گردد ترانس به صورت یک اندکتانس با هسته آهنی در می‌آید و آمپدانس نسبتا بالایی از خود نشان می‌دهد جریانی‌که از اولیه می‌گذرد افت ولتاژی معادل با آمپدانس ترانس در دو سر آن ایجاد می‌کند و جریان تماماً صرف مغناطیس کردن هسته می‌گردد به علت نیروی محرکه الکتریکی حاصل از فلوی عبوری از هسته ولتاژی در سیم پیچ اولیه و ثانویه و متناسب با آن نیروی محرکه الکتریکی در ثانویه بوجود می‌آید.

در صورتیکه آمپدانسی در سیم پیچ ثانویه قرار داده شود جریانی متناسب با این امپدانس از ثانویه خواهد گذشت و نیروی محرکه مغناطیسی بوجود می‌آید که مطابق با قانون لنز با عامل بوجود آورنده خود مطابقت می‌ورزد.

از طرف دیگر شار هسته توسط نیروی ضد مغناطیسی جریان ثانویه همراه کاهش مربوط به نیروی الکتروموتوری e.m.f بازگشتی سبب افزایش جریان در اولیه می‌گردد.

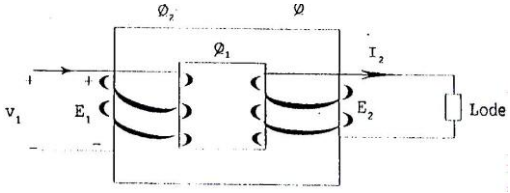
در صورتیکه سیم پیچ اولیه هیچ تلفاتی نداشته باشد ولتاژ اعمال شده ثابت باقی بماند آنگاه نیروی الکتروموتوری e.m.f بازگشتی و همچنین شار هسته در مقدار اولیه خود باقی خواهد ماند و افزایش نیروی محرکه مغناطیسیm.m.f در اولیه مشابه افزایش آن در سیم پیچ ثانویه خواهد بود.

۲-۹-۱- مدار معادل ترانس

سیم پیچ اولیه عملاً دارای مقداری مقاومت اهمی‌می‌باشد و علاوه بر آن راکتانسهای اضافی ناشی از شار غیرمرتبط با سیم پیچ ثانویه نیز داراست در نتیجه نیروی محرکه مغناطیسی m.m.f سیم پیچ ثانویه بر اثر افزایش نیرو محرکه مغناطیسی m.m.f اولیه کاملاً متعادل نمی‌گردد لذا شار اصلی اندکی ضعیف شده و نیروی محرکه مغناطیسی بازگشتی را به مقداری که باعث عبور جریان اضافی از مقاومت و راکتانس پراکندگی سیم پیچ شود کاهش شود.

این مسئله را می‌توان با افزودن مقاومت و راکتانس پراکندگی در سرهای ورودی نمایش داد. به همین طریق می‌توان امپدانس پراکندگی ثانویه را در اتصال با بار در نظر گرفت و آن را مقداری مناسب با مقاومت راکتانس در سرهای خروجی نشان داد.

امپدانس تحریک موازی که به صورت راکتانس خالص در نظر گرفته شده‌است را می‌توان تلفات هسته با اضافه نمودن یک مقاومت بطور موازی با این راکتانس اضافه نمود و تلفات هسته را نیز منظور نمود به این ترتیب مدار معادل کامل یک ترانس به دست می‌آید.



m.m.f= نیروی محرکه مغناطیسی

Q= فلوی مغناطیسی

R= رلوکتانس مسیر

A= سطح مقطع عبور فلوی

B= اندوکسیون مغناطیسی

N= تعداد دور

I= جریان الکتریکی

ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان با مقدار اسمی‌کم ولتاژ جریان اولیه را به آسانی از نوع با مقادیر اسمی‌بالا قابل تشخیص نیستند، معهذا تفاوتهای موجود بین آنها از روش نصب آنها به مدار قدرت معلوم می‌گردد.

ترانسفورماتورهای ولتاژ مانند ترانسفورماتورهای قدرت کوچک می‌باشند فقط با این تفاوت که جزئیات طراحی آنها نسبت دقت خروجی را در محدوده معینی از خروجی کنترل می‌نماید با هم مختلف می‌باشد.

سیم پیچ‌های اولیه ترانسفورماتورهای جریان بطور سری با مدار قدرت و با آمپدانس سیستم قرار می‌گیرند و همانند یک آمپدانس پایین می‌باشد و جریان آن تماماً توسط آمپدانس اولیه سیستم کنترل می‌شود. ترانسفورماتورهای ولتاژ به صورت موازی به سیستم متصل می‌شوند.

ولتاژ خروجی ثانویه Vs در محدوده تعیین شده ای آمپدانس دقیقی مشابه ولتاژ ورودی Vp باشد. بدین منظور افت ولتاژ سیم پیچها کوچک طراحی می‌شوند و دانستیه شار عادی هسته به اندازه کافی کمتر از مقدار اشباع آن طراحی می‌گردد تا جریان تحریک بتوان پایین باشد و آمپدانس تحریک با تغییرات ولتاژ عمل شده در محدوده کار معینی که شامل چند درجه افزایش ولتاژ است ثابت باقی بماند.

محدودیتهای طراحی فوق در ترانسفورماتور ولتاژ سبب می‌گردد که برای بار معینی ترانس مزبور به مراتب بزرگتر از یک ترانس قدرت معمولی با همان ظرفیت باشد.

۲-۹-۲- خطاها

طراح یک ترانس ولتاژ (V.T) خطاهای فاز، و ولتاژ ترانس مزبور را با استفاده از ثوابت مشخص هسته و سیم پیچ‌ها محاسبه می‌نماید. خطای نسبت به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\text{خطای نسبت} = \frac{K_N V_S - V_P}{V_P} \times ۱۰۰\%$$

که در آن K_N نسبت نامیو Vp و Vs ولتاژهای اولیه ثانویه حقیقی هستند.

۲-۹-۳- ضریب ولتاژ Vf

با وقوع احتمال در شبکه سه فاز ولتاژ روی VTها در برخی مواقع ممکن است تا Vf برابر ولتاژ نامی‌افزایش یابد.

IEC ضرایب ولتاژ ۱/۹ را برای سیستمهایی که خوب زمین نشده‌اند و ۱/۵ را برای سیستمهای Neatrat خوب زمین شده‌اند در نظر گرفته است.

۲-۹-۴- کلاسهای دقت VT

وقتی بار ترکیبی از مولفه‌های اندازه‌گیری و حفاظت است و کلاس دقت بالاتر مورد نیاز بایستی انتخاب گردد. در برآورد بایستی کل تجهیزات متصل شده به V.T در نظر گرفته شوند.

۲-۹-۵- کلاسهای دقت جهت P.T (V.T)های حفاظتی

کلاسهای دقت	خطای نسبت تبدیل	جابجایی فاز دقیقه
۳P	۳٪	۱۲۰
۵P	۶٪	۲۴۰

کلاس دقت VTهای اندازه گیر مطابق با استانداردIEC در زیر آورده شده‌است. مطابق با IEC۱۸۶ این کلاسها دقیقاً در ۱۲۰-۸۰ ولتاژ نامی‌و ۱۰۰-۲۵ بارنامی‌معتبر می‌باشد.

کلاسهای دقت	خطای نسبت تبدیل	خطای فاز
۰/۱	۰/۱	۵
۰/۲	۰/۲	۱۰
۰/۵	۰/۵	۲۰
۱	۱	۴۰
۳	۳	بیان نشده

۲-۹-۶- انواع ترانسفور ماتور ولتاژ

ترانسفورماتورهای ولتاژ از نظر ساخت به دو دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند:

- ☐ ترانسفورماتورهای ولتاژ مغناطیسی (MVT)
- ☐ ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی (CVT)

در سطوح ولتاژ پائین نظیر ۲۰ و۳۳ کیلوولت که استفاده از سیستم PLC ضرورتی ندارد وتجهیزات دیگری نظیر بی سیم و تلفن جهت ارتاطات تلفنی کاربرد دارد از ترانسفورماتورهای ولتاژ مغناطیسی(MVT) استفاده می‌شود ولی در سطوح ولتاژی ۶۳ کیلو ولت (بعضاً) و بالاتر استفاده از ترانسفورماتورهای ولتاژ مغناطیسی اقتصادی نبوده و ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی (CVT)بکار گرفته می‌شوند. خازن این ترانسفورماتورها می‌تواند به عنوان خازن کوپلاژ سیستم PLC هم بکار رود و در این صورت در پستهای با سطح ولتاژ بالاتر از ۶۳ (۶۶) کیلوولت که دارای سیستم PLCمی‌با شند نیازی به استفاده از خازن کوپلاژ مجزا نخواهد بود.

ترانسفورماتورهای ولتاژ از نظر عایق بندی به سه دسته زیر تقسیم بندی می‌شوند:

- ☐ نوع خشک با عایق رزینی
- ☐ نوع روغنی با کاغذ آغشته به روغن
- ☐ نوع SF۶

ساخت ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع خشک با عایق رزینی برای ولتاژهای پایین (۲۰ تا۶۳ کیلوولت) عملی است و موارد استعمال آن با توجه به عدم انفجار این نوع ترانسفورماتور و داشتن ایمنی بیشتر در مقایسه با نوع روغنی، بیشتر در محلهای سر پوشیده (کلاس داخلی) است. ساخت ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع روغنی با کاغذ آغشته به روغن برای کلیه سطوح ولتاژی معمول بوده و در حال حاضر عمده ترانسفورماتورهای ولتاژ فشار قوی از این نوع ساخته می‌شوند. ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع SF۶ در آنها از ماده عایقی SF۶ استفاده می‌شود هنوز در مراحل اولیه استفاده بود و تعداد محدودی از سازندگان در حال حاضر این نوع ترانسفورماتور ولتاژ را تولید می‌نمایند.

در ولتاژهای ۴۰۰،۱۳۲،۲۳۰ کیلوولت استفاده از نوع خشک (رزینی) به دلایل اقتصادی و حجم و وزن بالای این نوع ترانسفورماتور ولتاژ معمول نبوده و از نوع روغنی استفاده می‌شود. در سطح ولتاژ ۶۳ کیلو ولت استفاده از هر نوع از ترانسفورماتور ولتاژ نوع خشک و روغنی مرسوم می‌باشد.

۲-۹-۷- مقایسه ترانسفورماتور ولتاژ نوع اندو کتیو(MVT)با نوع خازنی (CVT)

ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع اندوکتیو شامل سیم پیچیهای اولیه و ثانویه و هسته بوده و بر اساس نسبت تبدیل ترانسفورماتور، ولتاژ اولیه را به ولتاژ ثانویه قابل استفاده در دستگاههای اندازه گیری، رله‌ها، کنتورها ودستگاههای کنترل و... تبدیل می‌کنند.

ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع خازنی شامل یک بانک خازنی و یک ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو با ولتاژ پایین می‌باشند. به این صورت که ولتاژ فشار قوی ابتدا توسط مقسم خازنی و ولتاژ پایین (معمولاً حدود ۲۴ کیلوولت) کاهش یافته و سپس این ولتاژ بعنوان ولتاژ اولیه ترانسفورماتور نوع اندوکتیو مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولتاژ ثانویه واحد اندوکتیو متناسب و هم فاز با ولتاژ اولیه اعمال شده به مقسم خازنی است. بنابراین در ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع خازنی، نسبت تبدیل ناشی از نسبت تبدیل مقسم خازنی و نسبت تبدیل ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو خواهد بود. به دلیل مورد استفاده قرار گرفتن ترانسفورماتورهای نوع خازنی در ولتاژهای فشار قوی و روغنی بودن بخش خازنی لذا بخش اندوکتیو هم لزوما روغنی خواهد بود. ترانسفورماتورهای ولتاژ بایستی قادر باشند تغییرات ولتاژ سیستم در اثر اتصال کوتاه را سریعاً در ثانویه خود منعکس نمایند. این ویژگی دارای اهمیت بسزایی در عملکرد صحیح و به موقع سیستم‌های حفاظتی می‌باشد. با بروز اتصال کوتاه در شبکه، انرژی ذخیره شده در المانهای خازنی و سلفی CVT باعث بروز نوسان گذرایی در طرف ثانویه می‌شود. این نوسان گذرا عموماً

ترکیبی از دو فرکانس پایین (۲ تا ۱۵ هرتز) و فرکانس بالا (حدود ۹۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز) می‌باشد. نوسان فرکانس بالا معمولاً بسیار سریع و در زمانی کوتاه (حدود ۱۰ میلی ثانیه) میرا می‌شود. موج فرکانس پایین ممکن است برای مدت بیشتری باقی بماند. دامنه نوسانات بستگی به لحظه اتصال کوتاه در رابطه با مقدار ولتاژ (زاویه اولیه هنگام اتصال کوتاه) دارد. البته تأثیر رفتار حالت گذاری CVT بر عملکرد سیستم به عوامل متعددی مثل دامنه و فرکانس حالت گذرا هم بستگی دارد.

در ترانسفورماتورهای ولتاژ مغناطیسی نوسانات فرکانس بالا که به سرعت میرا می‌شوند حضور داشته و نوسانات بحرانی تر فرکانس پایین به دلیل عدم وجود مقسم خازنی، غایب بوده و مشکلی ایجاد نمی‌نماید. از این رو پاسخ زمانی و رفتار گذاری MVTها سریعتر از CVTهاست و این امر باعث شده‌است که در برخی شبکه‌های فشار قوی که مساله پایداری حائز اهمیت بسیاری است علیرغم دیدگاههای اقتصادی از ترانسفورماتورهای ولتاژ مغناطیسی به جای ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی استفاده گردد.

در مواردی که ظرفیت حرارتی ترانسفورماتورهای ولتاژ اهمیت زیادی داشته باشد و یا بخواهیم بار به دام افتاده خط را پس از بی برق شدن از آن طریق ترانسفورماتورهای ولتاژ تخلیه نمائیم، ترانسفورماتورهای ولتاژ مغناطیسی به دلیل ظرفیت حرارتی بالاتر و مسیر نشتی که می‌توانند برای تخلیه بار به دام افتاده خط بی برقی شده به زمین فراهم نمایند، ارجحیت دارند.

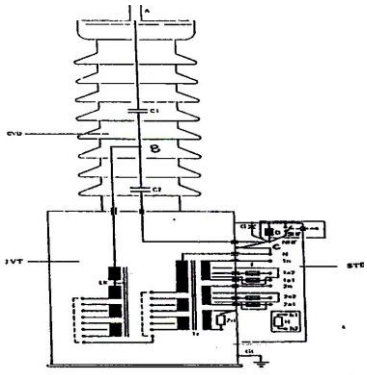
۲-۹-۸- ساختمان و وظایف اجزاء اصلی ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی

از نظر ساختمان و نحوه اتصال به شبکه، ترانسفورماتور ولتاژ خازنی به صورت یک واحد تکفاز ساخته می‌شود و بین خط و زمین قرار می‌گیرد. این نوع ترانسفورماتورها معمولاً در دو دسته با ظرفیت بالا و ظرفیت پایین ساخته می‌شوند. هر چه ظرفیت خازنی آنها افزایش یابد قیمت تجهیز بالا رفته ولی در عوض می‌توان جهت اهداف مخابراتی سیستمهای PLC از باندهای فرکانس پایین تری که تلفات سیگنال کمتری دارند استفاده نمود. بزرگ بودن ظرفیت خازن ترانسفورماتور ولتاژ خازنی همچنین می‌تواند روی عملکرد آن در شرایط آلودگی شدید منطقه تأثیر مثبت داشته و اثر منفی خازنهای پراکندگی اجزاء ترانسفورماتور ولتاژ خازنی روی دقت آن را کاهش دهد. علاوه بر این هر اندازه ظرفیت خازنی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی بزرگتر باشد، اضافه ولتاژهایی که احتمالا در سطح پست ظاهر می‌شوند مناسب تر کنترل شده و در مجموع اثر مثبتی روی حفاظت تجهیزات فشار قوی در برابر اضافه ولتاژها خواهد داشت.

شکل زیر اجزاء اصلی و نحوه اتصال آنها در یک ترانسفورماتور ولتاژ خازنی را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود یک ترانسفورماتور ولتاژی خازنی از سه بخش اصلی تشکیل می‌شود.

الف) مقسم خازنی CVD[1] که شامل اجزاء زیر می‌باشد.

- ☐ ترمینال فشار قوی یا اولیه
- ☐ تانک انبساط روغن
- ☐ خازن فشار قوی C۱ (متصل بین ترمینال اولیه و ترمینال فشار متوسط)
- ☐ ترمینال فشار متوسط
- ☐ خازن فشار متوسط C۲ (متصل بین ترمینال فشار متوسط و ترمینال فشار ضعیف)



ب)ترانسفورماتور ولتاژ متوسط [(2)] (IVT) که شامل اجزاء زیر میباشد:

- ☐ راکتور جبران کننده
- ☐ ترانسفورماتور ولتاژ متوسط
- ☐ وسیله میرا کننده

ج)جعبه ترمینال ثانویه (STB) که شامل اجزاء زیر می‌باشد:

- ☐ ترمینال‌های ثانویه (حفاظت، اندازه‌گیری و در صورت نیاز سیم پیچ ولتاژ باقی مانده در اتصال زمین شبکه‌ها)
- ☐ ترمینال زمین ET

۲-۹-۹- مقسم خازنی (CVD)

مقسم خازنی معمولاً از چند واحد خازنی که بسته به سطح ولتاژ و ظرفیت مورد نیاز سری‌شده و ستون و یا برج خازنی را تشکیل می‌دهند ساخته شده‌است. توسط مقسم خازنی، ولتاژ فشار قوی شبکه به ولتاژی در سطح متوسط (در حدود چند ده کیلو ولت) پایین آورده و به این ترتیب امکان استفاده ترانسفورماتور ولتاژ متوسط (IVT) برای ولتاژهای مختلف اولیه مسیر می‌شود. بنا به تعریف نسبت ولتاژی یک مقسم خازنی (K) عبارتست از:

[1] Capacitive Voltage Divider

$$K = \frac{c_1 + c_2}{c_1}$$

ظرفیت معادل یک ستون خازنی در ترانسفورماتور ولتاژ خازنی نیز برابر است با:

$$C_{eq} = \frac{c_1.c_2}{c_1 + c_2}$$

مقسم‌های خازنی غالبا از نوارهای فلزی با عایقهای کاغذی که در روغن‌های معدنی غوطه‌ور شده‌اند ساخته می‌شوند. سلامت کار مقسم خازنی در طول عمر مفید و کار CVT بسیار موثر است.

معمولاً فشار روغن داخل CVD کمی‌بیشتر از فشار اتمسفر است تا از نفوذ رطوبت یا هوا به درون آن جلوگیری شود.

بدلیل غیر ایده ال بودن خازن‌های مورد استفاده، همواره مقداری تلفات توان در آنها دیده می‌شود که باعث تولید حرارت داخلی و پیری زودرس عایقها می‌گردد. در مدل الکتریکی، خازنهای واقعی با یک مقاومت مجازی سری می‌شوند تا تلفات فوق الذکر توجیه شود. این تلفات می‌تواند باعث افزایش دمای درون برج خازنی شده و باعث کهولت و پیری زودرس مواد سازنده آنها گردد. از سوی دیگر تغییرات دما باعث تغییر ظرفیت‌های خازنی در مقسم خازنی شده و این امر می‌تواند روی کلاس دقت ترانسفورماتور ولتاژ خازنی تأثیر سوء بگذارد. از این نظر باید تدابیر لازم برای توزیع یکنواخت دما و ثابت ماندن نسبت تقسیم مقسم خازنی با وجود تغییر ظرفیت‌های C_1 و C_2 اندیشیده شود.

در مقام مقایسه اثر تغییییر دما وتغییر ظرفیت خازن کوپلاژ روی سیتم PLC کم اهمیت تر بوده و تنها می‌تواند باعث جابجایی مختصر مشخصه فرکانس (LMU) [1] و تله خط (LT) [2] گردد.

در انتخاب ظرفیت خازنی CVD در صورتیکه این خازن به عنوان خازن کوپلاژ سیستم PLC به کار رود، ملاحظات مربوط به نیازهای شبکه مخابراتی نیز در نظر گرفته می‌شود. هر چه ظرفیت این خازن بیشتر باشد می‌توان از فراکانسهای پایین تری جهت مبادله اطلاعات بهره گرفت.

۲-۹-۱۰- ترانسفورماتور ولتاژ متوسط(IVT)

[1] Line Matching Unit
[2] Line Trap

پس از تقلیل ولتاژ توسط مقسم خازنی به یک ولتاژ فشار متوسط چند ده کیلو ولتی، ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط این ولتاژ را به ولتاژهای ثانویه مناسب برای کار و رله‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری و سنکرونیزاسیون کاهش می‌دهد.

ظرفیت معادل مقسم خازنی، در فرکانس نامی‌شبکه، بطور همزمان توسط سیم پیچ جبران کننده در حالت تشدید قرار می‌گیرد تا بدین ترتیب میزان خطای CVT تحت شرایط مختلف بارگیری و بهره برداری در حدود تعیین شده قرار گیرد. سیم پیچ جبران کننده و ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط معمولاً دارای تپ‌هایی جهت اصلاح خطای فاز و نسبت تبدیل هستند. علاوه بر این در مواردی که مقسم خازنی یک CVT به عنوان خازن کوپلاژ سیستم PLC به کار می‌رود، انشعاب ترانسفورماتور ولتاژ متوسط (IVT) یک مسیر آزاد برای نشست سیگنالهای فرکانس بالای PLC ایجاد می‌نماید.

کلیه تجهیزات واحد IVT از قبیل ترانسفورماتور ولتاژ فشار متوسط، سیم پیچ جبران کننده و امپدانس میرا کننده در یک محفظ فلزی قرار گرفته و در روغن شناور می‌باشند. مکانیزم مناسبی برای کنترل فشار داخلی IVT در اثر تغییرات درجه حرارت پیش بینی می‌شود.

ارتباط‌های الکتریکی لازم با مقسم خازنی CVD و جعبه ترمینال ثانویه STB از طریق رابط‌های بوشینگی صورت گرفته و با طرح مناسب محفظه فلزی IVT مثلاً استفاده از آلومینیوم، فولاد گالوانیزه و یا فولاد ضد زنگ مسئله خوردگی کنترل می‌شود.

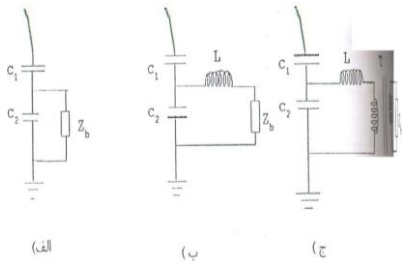
این محفظه می‌تواند به تجهیزات جانبی از قبیل شیر تخلیه روغن، دریچه پر کردن روغن، نشان دهنده ی سطح روغن برای کنترل نشتی احتمالی و امکانات لازم برای حمل و نقل ایمن CVT مجهز باشد.

۲-۹-۱۱- ترانسهای ولتاژ خازنی

ترانسفورماتورهای ولتاژ (C.V.T) capacitor voltage transformer همچنانکه گفته شد در ولتاژهای بالاتر از ۴۵ کیلوولت استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ مغناطیسی مقرون به صرفه نمی‌باشد لذا از ترانسفورماتورهای مقسم خازنی (C.V.T) استفاده می‌شود این نوع ترانسها اساساً به صورت یک مقسم ولتاژ خازنی عمل کرده و در این مورد ولتاژ خروجی شدیداً توسط بار تأثیر می‌پذیرد.

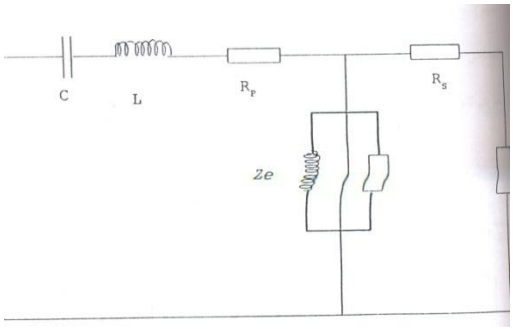
چون امپدانس منبع در C.V.T از نوع خارجی است. می‌توان با استفاده از راکتور سری آنرا اصلاح نمود. با استفاده از یک راکتور ایده‌آل چنین مداری هیچگونه افت ولتاژ تنظیمی‌نخواهد داشت و می‌توان به اندازه هر مقدار دلخواه زمین از خروجی را تغذیه نمود.

اما از طرفی یک راکتور هرگز ایده آل نبوده بلکه همواره دارای مقاومت است که خروجی رله را محدود می‌سازد.



اگر مقسم خازنی ولتاژ را تا مقدار ۱۱۰ ولت کاهش دهد مقدار ظرفیت خازنها برای بدست آوردن خروجی با خطایی مورد قبول خیلی بزرگ خواهد بود لذا با انتخاب ولتاژ تا حد نه چندان کم و استفاده از یک P,T الکترومغناطیسی می‌توان به خواسته مطلوب رسید.

مدار معادل C.V.T در شکل زیر آورده شده‌است:



۲-۹-۱۲- حفاظت ولتاژی خازن کمکی

در صورتیکه اتصال کوتاه در مدار ثانویه C.V.T اتفاق بیفتد، افزایش ولتاژ در راکتور فقط توسط تلفات راکتور و اشباع احتمالی محدود می‌شود. این مقدار ممکن است بیش از حد بزرگ شود. بنابراین باید توسط برقگیر gap speak در دو سر خازن کمکی آنرا محدود ساخت.

برقگیر به گونه ای تنظیم می‌شود که ولتاژی حدود دو برابر ولتاژ بار خروجی عمل نماید اثر برقگیر محدود ساختن جریان اتصال کوتاه برقگیر است. برای مدار ثانویه باید حتماً فیوز حفاظت تأمین گردد.

- ☐ **تستهای PT**
  - ☐ بررسی وضعیت ظاهری PT
  - ☐ بررسی اتصال زمین ترمینالهای S۲ , P۲ سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه

- ☐ تست پلاریته
- ☐ Continuity test سیم پیچ‌ها
- ☐ تست نسبت تبدیل
- ☐ تست مقاومت عایقی بین سیم پیچها با هم و زمین
- ☐ اندازه‌گیری مقاومت ثانویه
- ☐ بررسی phase rotation

۲-۹-۱۳- تست پلاریته و Continuity test

ولت متر بکار رفته در این مدار، یک ولت متر دارای نقطه صفر مرکزی central zero scale یا یک گالوانومتر می‌باشد. در صورت صحیح بودن پلاریته، با بستن کلید یک پالس مثبت و با باز شدن مجدد کلید یک پالس منفی ایجاد خواهد شد و هرگونه حرکت عقربه نشان دهنده پیوستگی continuity سیم پیچ‌هاست.

۲-۹-۱۴- تست نسبت تبدیل

با تزریق ولتاژی بین ۰/۵ تا ۱/۲ ولتاژ نامی‌به اولیه PT و اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه می‌توان نسبت به تبدیل را
بدست آورد.

Ratio = V۱/V۲

مطابق با استانداردها تا ٪۵± خطا در محاسبات قابل چشم پوشی است. درصد خطای اندازه‌گیری طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود :

%e = ۱۰۰* (measured ratio – calculated ratio) / calculated ratio

$$\frac{\frac{V_1}{V_2} - \frac{V_1 - \Delta V}{V_2}}{\frac{V_1}{V_2}} \cdot ۱۰۰ = \frac{\Delta V}{V_1} \cdot ۱۰۰ = (\varepsilon)\%$$

در پایان نتیجه تست را با مقدار ذکر شده در Name plate ترانس مقایسه می‌کنیم.

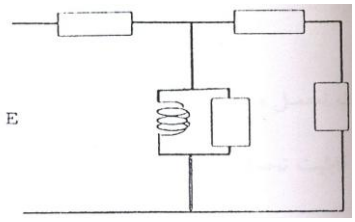
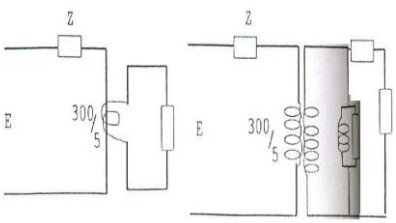
۲-۹-۱۵- تست مقاومت عایقی و اندازه‌گیری مقاومت ثانویه PT

با استفاده از megger (میگر یا مگا اهم متر) ۵۰۰V مقاومت عایقی بین سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه و همچنین ثانویه و Earth را اندازه می‌گیریم.

میزان مقاومت سیم پیچ ثانویه را می‌توان بوسیله پل و تستون به دست آورد.
بررسی توالی چرخش فازها phase Rotation check

۲–۱۰– ترانسفورماتور جریان (C.T) Current transformer

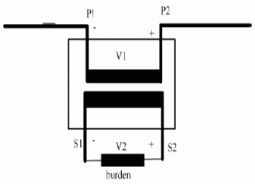
سیم پیچ اولیه یک ترانسفورماتور جریان به صورت سری در مدار قرار می‌گیرد و دارای امپدانس ناچیز می‌باشد لذا جریان سیستم توسط آمپدانس مدار قدرت کنترل می‌گردد.
جریان ثانویه C.T با تغییر زیاد و قابل ملاحظه آمپدانس بار تأثیر نمی‌پذیرد.

همچنانکه در شکل فوق مشاهده می‌شود، در حالیکه سیم پیچ اولیه برقدار است مدار ثانویه نباید قطع شود. در غیر اینصورت چون ولتاژ حاصل فقط توسط آمپدانس موازی مغناطیس کننده محدود می‌شود ممکن است خیلی افزایش یابد.

۲–۱۰–۱– قابلیت ترانس جریان توسط چهار عامل اصلی معین می‌شود:

- ☐ سطح عایقی
- ☐ جریان نامی‌اولیه



- حداکثر جریان قابل تحمل در کوتاه مدت
- بار (BURDEN) و دقت

ترانس جریان باید قابلیت تحمل ولتاژ سیستم و اضافه بـر ولتاژهـای گـذرا را داشـته باشـد همچنین C.T بایستی قابلیت تحمل عبور دائمی‌جریان نـامی‌را داشـته باشـد. در مـواردی کـه جریان‌ها از مقدار نامی‌بیشترند یک
ضریب جریان نامی(Rating factor) بایستی در IEC مشخص شود. در استاندارد این مقادیر برابر با ٪۱۲۰ , ٪۱۵۰ ,٪۲۰۰ جریان نامی‌اولیه می‌باشد.

۲-۱۰-۲- خطای (C.T)

خطای حاصل (C.T) بر اثر موازی شدن جریـان بـار آمپـدانس مغنـاطیس کننـده ایجـاد می‌شود زیرا این مسئله سبب می‌شود قسمت کوچکی از جریان ورودی برای تحریک هسته بـه کار رود و مقدار جریانی را که از بار می‌گذرد کاهش دهد. برای اصلاح خطای کوچک حاصل در ترانس جریان غالباً از روش کم کردن یک یا دو دور از سیم پیچ ثانویه استفاده می‌شـود کـه در نتیجه جریان نیز اندکی افزایش می‌یابد. اما از طرفی خطـای جریـان حاصـل از مولفـه تحریـک کننده کاهش می‌یابد و در نتیجه خطای جریان واقعی می‌تواند خیلی کوچک شود.

۲-۱۰-۳- انداه گیری جریان

اندازه‌گیری جریان به دو بخش تفکیک می‌گردد:

- اندازه‌گیری در شرایط نرمال و بطور مکرر با دقـت بـالا، بـار کـم (خروجـی)، ولتـاژ اشباع هسته پایین اندازه‌گیری در محدوده ٪۱۲۰-۵ جریان نامی‌و کلاسهای دقـت ۰/۲-۰/۵ (بر طبقIEC) و ۰/۳-۰/۶ (بر طبق ANSI).

یک ترانس جریان می‌تواند تا شش هسته داشته باشد برای اندازه‌گیری و حفاظت.

- اندازه‌گیری در شرایط اختلال در محدوده ی اضـافه جریـان هسـته‌هـای حفـاظتی دارای کلاسهای زیر هستند:

ANSI:۲۱۰۰.۸۰۰ IEC:۱۰P,۵P

۲-۱۰-۴- هسته‌های اندازه گیری

به منظور حفاظت دستگاه‌ها و وسایل اندازه‌گیری در مقابل جریان ناشی از شرایط اخـتلال، هسته می‌بایست نوعاً در ۵ تا ۱۰ برابر جریان نامی‌اشباع شود.Fs ضریب ایمنی در C.T انـدازه گیر است و مشخص کننده اشباع ترانس و بالا نرفتن جریان ثانویه بـه مقـادیر خطرنـاک بـرای وسایل اندازه‌گیری می‌باشد هر چه مقد ار Fs کمتر باشد تجهیزات متصل به ثانویه هسته اندازه گیر در مقابل شرایط غیر عادی ایمنی بیشتری دارند.

۲-۱۰-۵- هسته‌های حفاظتی

این C.Tها در محدوده جریانی بالاتر از جریان‌ها نامی‌کار می‌کنند. کلاسهای IEC برابر ترانس جریان حفاظتی ۱۰P, ۵P می‌باشد.

مشخصه اصلی C.Tهای حفاظتی عبارتند از :

الف) دقت کم (خطاهای بزرگتری نسبت به ترانس اندازه گیر مجاز است).

ب) ولتاژ اشباع زیاد

ج) نداشتن اصلاح دور

ولتاژ اشباع توسط ALF داده می‌شود، (Accurary Limit Factor)

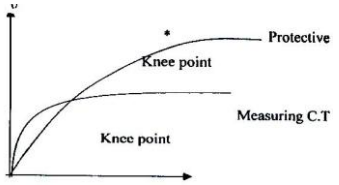
به معنای ضریب حد دقت، حد اضافه ی جریان بیان شده به صورت ضریبی از جریان نامی‌است تا زمانی که دقت نامی‌در بار نامی‌محفوظ بماند، این ضریب معمو لاً به عنوان مقداری حداقل برای هسته‌های حفاظتی داده می‌شود.

ضریب مزبور را می‌توان همچنین به عنوان نسبت بین ولتاژ در جریان و بار نامی‌در طرف ثانویه تعریف نمود.

مثلا ۵p۱۰ یعنی C.T حفاظتی در ۱۰ برابر جریان نامی‌دارای ۵ درصد خطا باشد.

مقادیر استاندارد ALF مطابق استاندارد IEC، ۳۰، ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵ می‌باشد شکل عمومی‌منحنی مغناطیسی در شکل زیر نمایش داده شده‌است مشخصه اشباع برای C.Tهای حفاظتی و اندازه‌گیری وابسته به جنس ماده هسته تغییر می‌کند.

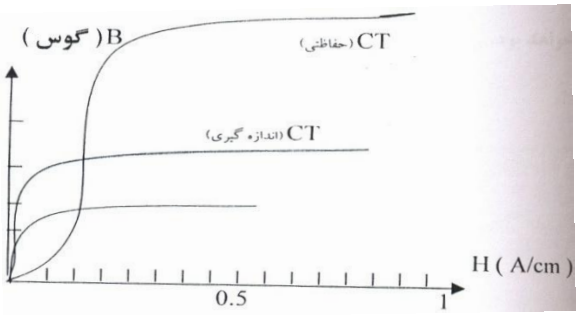
مشخصه اشباع دارای دو ناحیه می‌باشد نقطه زانو (Knee point) نقطه ایست که به ازای ۱۰درصد افزایش در ولتاژ ثانویه ۵ درصد جریان تحریک افزایش می‌یابد.



C.T اندازه گیر در حدود جریان عادی دارای افت زیاد بوده و در جریان‌های خیلی بالا ناشی از اتصال کوتاه، سریعاً اشباع می‌شود (خطای زیاد دارد).

در C.T حفاظتی دقت در حدود جریان نامی‌و جریانهای بالاتر نیاز می‌باشد. نظر به اینکه میزان خطا به جریان مغناطیسی هسته می‌باشد، لذا انتخاب جنس و طرح هسته با توجه به میزان خطا صورت می‌گیرد.

معیار توانایی یک ترانس جریان در بازسازی جریان اولیه بر حسب جریان ثانویه بیشترین ولتاژ ثانویه ای است که می‌تواند بدون اینکه به اشباع برسد تولید کند.



ولتاژ مدار باز ثانویه

ثانویه C.T هنگامی‌که از اولیه آن جریان می‌گذرد نباید باز نمود زیرا در صورت باز نبودن ثانویه هیچ نیروی الکتروموتوری حاصل از جریان اولیه وجود نخواهد داشت و تمام این نیرو بر روی هسته به صورت کمیت مغناطیسی کننده اثر می‌کند.

در صورتی که اگر باز باشد نیروی الکتروموتوری شدیدی در سیم پیچ ثانویه القاء خواهد شد که ممکن است در C.Tهای حفاظتی به چند کیلو ولت برسد چنین ولتاژهایی نه تنها برای عایق و وسایل متصل به آن مضر است بلکه برای سلامتی افرادی که با C.T کار می‌کنند نیز خطرناک خواهد بود.

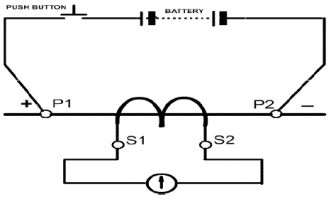
تست‌های CT

میگر تست : این تست برای تعیین مقاومت عایقی بین اولیه و ثانویه (ها)، اولیه و زمین، ثانویه‌ها و زمین و سیم پیچهای مختلف ثانویه با هم انجام می‌گیرد. مقدار ولتاژ اعمالی ۵۰۰V می‌باشد.

لازم به ذکر است قبل از انجام این تست باید Earth از سمت ثانویه باز شود.

تست نسبت تبدیل Ratio Test: ثانویه‌های تمامی‌هسته‌های CT را اتصال کوتاه کرده و توسط دستگاه تزریق جریان (Current Injection Set)، جریانی برابر جریان نامی‌به اولیه CT اعمال نموده و مقدار جریان به دست آمده در سمت ثانویه را یادداشت می‌کنند.

: Continuity test & Polarity Test



۲–۱۰–۶– تعیین مقاومت اهمی‌سیم پیچ ثانویه

منحنی مغناطیس شوندگی : هدف از انجام این تست به دست آوردن ولتاژ نقطه زانو (Knee point) و مقایسه آن با مقدار تعیین شده توسط کارخانه است. همانطور که اشاره شد نقطه اشباع (زانو) نقطه ایست که در آن به ازای ۱۰% افزایش در ولتاژ، جریان مغناطیس کنندگی به اندازه ۵۰ % تغییرات داشته باشد. منحنی تحریک تا نقطه ای که در آن به ازای ۱۰% افزایش ولتاژ، ۱۰۰% افزایش جراین داشته باشیم، ادامه می‌یابد.

نکته: پس از انجام تست ولتاژ را به تدریج کم کرده و سپس منبع تغذیه را جدا می‌کنیم. زیرا؟

یک تغییر ناگهانی در فلو (شار) می‌تواند باعث تولید ولتاژی در سمت ثانویه گردد که این ولتاژ برای آسیب رسانیدن به ایزولاسیون سیم پیچ ثانویه کافیست.

Example of measurement characteristics as per IEC ۶۰۰۴۴-۸

Rated primary current Ipn = ۱۰۰ A

Rated extended primary current Ipe = ۱۲۵۰ A

Secondary voltage Vsn = ۲۲.۵ mV

Class ۰.۵:

Accuracy ۰.۵٪ from ۱۰۰ A to ۱۲۵۰ A,

Accuracy ۰.۷۵٪ at ۲۰ A,

Accuracy ۱.۵٪ at ۵ A.

Example of protection characteristics as per IEC ۶۰۰۴۴-۸

Primary current Ipn = ۱۰۰ A

Secondary voltage Vsn = ۲۲.۵ mV

Class ۵P from ۱.۲۵ kA to ۴۰ kA (fig.۲).

۲–۱۱– فیوز

وسیله ای است که با مصرف کننده بطور سری قرار مـی‌گیـرد و عناصـر مـدار را در مقابـل اتصال کوتاه یا جریان زیاد محافظت می‌کند.

فیوزها به دو نوع ذوب شونده واتوماتیک تقسیم می‌شوند.

نوع دیگر تقسیم بندی فیوزهای تندکار و کندکار است.

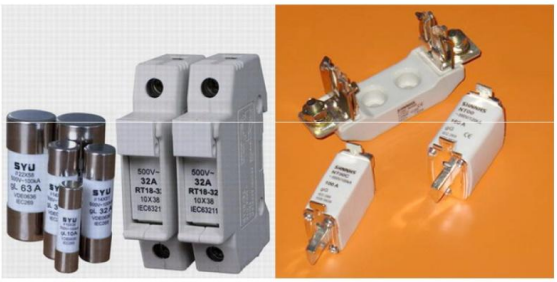
الف- فیوزلینک "g" (فیوزلینک با ظرفیت قطع در تمام محدوده)

ب- فیوزلینک "a" (فیوزلینک با ظرفیت قطع در بخشی از محدوده)

☐ "Gg" عبارت از فیوز لینکی است که توانایی قطع در تمامی‌محـدوده کـاری را دارا بوده و برای کاربردهای عمومی‌بکار برده می‌شوند.

☐ "g M" عبارت از فیوزلینکی است که توانایی قطع در تمامی‌محـدوده کـاری را دارا بوده و برای حفاظت موتورها بکار می‌رود.

☐ "aM" عبارت از فیوزلینکی است که توانایی قطع در بخشـی از محـدوده کـاری را دارا بوده و برای حفاظت موتورها بکارمی‌رود.



۲-۱۱-۱- مقادیر استاندارد ولتاژ نامی‌فیوزهای فشار ضعیف

ولتاژ a,c	---	۲۲۰		۳۸۰		۵۰۰		۶۶۰	
ولتاژ D.C	۱۱۰	۱۲۵	۲۲۰	۲۵۰	۴۴۰	۴۶۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۵۰

ولتاژ A.C بهره برداری بطور کلی بین ۱۰٪- تا ۱۰٪+ ولتاژ نامی‌سیستم تغییر میکند، در ولتاژهای D.C سوار می‌شود حداکثر ۵٪ مقدار مجاز ولتاژ نامی‌سیستم ۱۱۰٪ مقدار ولتاژ نامی) می‌باشد.

مقادیر جریان‌های نامی‌فیوز لینک برحسب آمپر بیان می‌شود و بطور استاندارد مقادیر زیر را داراست:

۲-۴-۶-۸-۱۰-۱۲-۱۶-۲۰-۲۵-۳۲-۴۰-۵۰-۶۳-۸۰

۲۵۰-۳۱۵-۴۰۰-۵۰۰-۶۳۰-۸۰۰-۱۰۰۰-۱۲۵۰

صرف نظر از فرکانس نامی‌فیوز، تمامی‌فیوزها بایستی طوری طراحی و ساخته می‌شوند که توانایی تحمل تغییرات فرکانس از ۴۵ هرتز تا ۶۲ هرتز ار داشته باشند.

حد مشخصه جریان – زمان براساس درجه حرارت محیط یعنی c ۲۵=Ta مشخص و بیان می‌شود.

سازنده می‌باید منحنی‌های مشخصه زمان – جریان فیوزلینک‌ها را در مرحله ساخت ارائه نماید. تغییرات منحنی مشخصه زمان – جریان نبایستی بیشتر از ۱۰٪ مقدار تعیین شده از طرف سازنده باشد.

In جریان نامی‌برا "gG"	زمان قرار دادی (h)	جریان قرار دادی (If)	(Inf)
	۱	۱.۶*In	۱.۲۵*In
If : مقدار جریانی که باعث عمل کردن فیوزلینک در زمان مشخص شده می‌شود. Inf: مقداری جریانی که اگر تحت شرایط مشخص شده در استاندارد IEC ۶۰۲۶۹ و در زمان معین از فیوز لینک عبور کند باعث ذوب شدن آن نشود.			

In جریان نامی(آمپر)	زمان قراردادی (ساعت)	جریان قراردادی	
		If	Inf
	۱	۲.۱	۱.۵*In
	۱	۱.۹*In	۱.۵*In

In برای gG Icn برای g M	Imin (۱۰s)	Imax (۵s)	Imin (۰.۱s)	Imax (۰.۱s)
۱۶	۳۳	۶۵	۸۵	۱۵۰
۲۰	۴۲	۸۵	۱۱۰	۳۰۰
۲۵	۵۲	۱۱۰	۱۵۰	۲۶۰
۳۲	۷۵	۱۵۰	۲۰۰	۳۵۰
۴۰	۹۵	۱۹۰	۲۶۰	۴۵۰
۵۰	۱۲۵	۲۵۰	۳۵۰	۶۱۰
۶۳	۱۶۰	۳۲۰	۴۵۰	۸۲۰
۸۰	۲۱۵	۴۲۵	۶۱۰	۱۱۰۰
۱۰۰	۲۹۰	۵۰۰	۸۲۰	۱۴۵۰
۱۲۵	۳۵۵	۷۱۵	۱۱۰۰	۱۹۱۰
۱۶۰	۴۶۰	۹۵۰	۱۴۵۰	۲۵۹۰
۲۰۰	۶۱۰	۱۲۵۰	۱۹۱۰	۳۴۲۰
۲۵۰	۷۵۰	۱۶۵۰	۲۵۹۰	۴۵۰۰
۳۱۵	۱۰۵۰	۲۲۰۰	۳۵۲۰	۶۰۰۰
۴۰۰	۱۴۲۰	۲۸۴۰	۴۵۰۰	۸۰۶۰
۵۰۰	۱۷۸۷	۳۸۰۰	۶۰۰۰	۱۰۶۰۰
۶۳۰	۲۲۰۰	۵۱۰۰	۸۰۶۰	۱۴۱۴۰
۸۰۰	۳۰۶۰	۷۰۰۰	۱۰۶۰۰	۱۹۰۰۰
۱۰۰۰	۴۰۰۰	۹۵۰۰	۱۴۱۴۰	۲۴۰۰۰
۱۲۵۰	۵۰۰۰	۱۳۰۰۰	۱۹۰۰۰	۳۵۰۰۰

Imin(۱۰s) :عبارت از کمترین جریانی که زمان پیش جرقه آن کمتر از ۱۰ ثانیه

می‌باشد.
Imax (۵s) : ماگزیمم جریانی که زمان عمل بیشتر از ۵ ثانیه طول نمی‌کشد.
In : جریان نامی‌فیوزلینک و حامل فیوز Inc : مقدار جریان مربوط به مشخصه زمان-جریان

مقادیر محدوده کار استاندارد شده برای فیوزهای gG

Imax (۰.۱s)	Imin (۰.۱s)	Imax (۵s)	Imin (۵s)	In (A)
۲۳	۶	۹/۲	۳/۷	۲
۴۷	۱۴	۱۸/۵	۷/۸	۴
۷۲	۲۶	۲۸	۱۱	۶
۹۲	۴۱	۳۵/۲	۱۶	۸
۱۱۰	۵۸	۴۶/۵	۲۲	۱۰
۱۴۰/۴	۶۹/۶	۵۵/۲	۲۴	۱۲

Imin (۱۰s) : عبارت از کمترین جریانی که زمان پیش جرقه آن کمتر از ۱۰ ثانیه می‌باشد.
Imax (۵s) : ماگزیمم جریانی که زمان عمل بیشتر از ۵ ثانیه طول نمی‌کشد

مقدار محدوده کار استاندارد شده برای فیوزهای پیچی

Imax (۰.۱s)	Imin (۰.۱s)	Imax (۵s)	Imin (۱۰s)	In (A)
۷/۵	۴/۶	۵	۳/۴	۲
۱۸/۵	۱۰	۱۰/۵	۶/۵	۴
۳۵	۱۷	۱۸	۱۰	۶
۶۰	۳۵	۳۶	۱۵	۱۰

Imin (۱۰s) : عبارت از کمترین جریانی که زمان pre-arcing آن کمتر از ۱۰ ثانیه می‌باشد.
Imax (۵s) : ماگزیمم جریانی که زمان عمل بیشتر از ۵ ثانیه طول نمی‌کشد

Imax (۰.۱s)	Imin (۰.۱s)	Imax (۵s)	Imin (۱۰s)	In (A)
۷/۵	۴/۶	۵	۳/۴	۲
۱۸/۵	۱۰	۱۰/۵	۶/۵	۴
۳۵	۱۷	۱۸	۱۰	۶

۶۰	۳۵	۳۶	۱۵	۱۰
Imin (۱۰s) : عبارت از کمترین جریانی که زمان pre-arcing آن کمتر از ۱۰ ثانیه می‌باشد.				
Imax (۵s) : ماگزیمم جریانی که زمان عمل بیشتر از ۵ ثانیه طول نمی‌کشد				

مقادیر مربوط به ابعاد مکانیکی فیوزهای چاقویی (mm)

اندازه	a۲	a۱	a۳	a۴	b(min)	*	c۲	d	e۱(max)	e۲(max)	e۳	*	f(max)
..	۷۵/۵±۱/۵	۵۴-۶	۴۵±۱/۵	۴۹±۱/۵	۱۵	۳۵	۱۰-۱	۲+۱ ۲-۰/۵	۴۸	۳۰	۲۰±۵	۶	۱۵
۰	۱۲۵±۲/۵	۶۸-۸	۶۲+۳ ۶۲-۱/۵	۶۸+۱/۵ ۶۸-۳	۱۵	۳۵	۱۱-۲	۲+۱/۵ ۲-۰/۵	۴۸	۴۰	۲۰±۵	۶	۱۵
۱	۱۳۵±۲/۵	۷۵-۱۰	۶۲±۲/۵	۶۸±۲/۵	۲۰	۴۰	۱۱-۲	۲/۵+۱/۵ ۲/۵-۰/۵	۵۳	۵۲	۲۰+۵ ۲۰-۲	۶	۱۵
۲	۱۵۰±۲/۵	۷۵-۱۰	۶۲±۲/۵	۶۸±۲/۵	۲۵	۴۸	۱۱-۲	۲/۵+۱/۵ ۲/۵-۰/۵	۶۱	۶۰	۲۰+۵ ۲۰-۲	۶	۱۵
۳	۱۵۰±۲/۵	۷۵-۱۰	۶۲±۲/۵	۶۸±۲/۵	۳۲	۶۰	۱۱-۲	۲/۵+۱/۵ ۲/۵-۰/۵	۷۶	۷۵	۲۰+۵ ۲۰-۲	۶	۱۸
۴	۲۰۰±۲/۵	۹۰(max)	۶۲±۲/۵	۶۸±۲/۵	۴۹	۸۷	۱۱-۲	۲/۵+۱/۵ ۲/۵-۰/۵	۱۱۰	۱۰۵	۲۰+۵ ۲۰-۲	۸	۲۵
۴a	۲۰۰±۲/۵	۱۰۰(max)	۸۴±۲/۵	۹۰±۲/۵	۴۹	۸۵±۲/۵	۱۱-۲	۲/۵+۱/۵ ۲/۵-۰/۵	۱۱۰	۱۰۲	۳±۱۰	۶	۳۰

مطابق با استاندارد ملی ۲۶۱۱ و ۶۰۹۴۷ IEC/EN , IEC/EN ۶۰۸۹۸

کلیدهای مینیاتوری در دو نوع AC از رنج ۱ آمپر تا ۱۲۵ آمپر در تیپ‌های C,B و D و نوع DC از رنج ۱ ۵۰ آمپر در تیپهای B و C تولید می‌گردند.

۲-۱۱-۲- پوسته

قطعه‌ای است که قطعات اصای کلید از جمله مگنت، شاسی، فنر، جرقه گیر و دیگر اجزاء کلید درون آن جای می‌گیرد و باید از مواد عایق و غیرقابل اشتعال باشد که معمولاً از پلی آمید استفاده می‌کنند.

۲-۱۱-۳- مگنت

مگنت از سیم پیچ، هسته و دیگر اجزا تشکیل شده‌است و در برابر اضافه جریان و اتصال کوتاه واکنش نشان می‌دهد و باعث قطع کلید می‌گردد.

۲-۱۱-۴-شاسی کلید

شاسی کلید وسیله ای برای دو حالت قطع و وصل قرار دادن کلید می‌باشد که باید از مواد عایق و با استحکام کافی ساخته شده باشد.

۲-۱۱-۵- بی متال

رله اضافه بار بکار رفته در روی کلیدهای مینیاتوری یک بی متال است که در زمان تولید بوسیله یک پیچ، آمپر دقیق آن تنظیم و باید توسط کارخانه لاک شود.

۲-۱۱-۶- جرقه گیر

جرقه‌گیر از صفحات فلزی که بصورت موازی و توسط لایه‌های عایق از هم جدا شده، تشکیل شده‌است و در زمان قطع با تقسیم جرقه، به جرقه‌های کوچکتر از ایجاد جرقه خطرناک وایجاد صدای زیاد جلوگیری می‌نماید.

۲-۱۱-۷- سرامیک

این وسیله کنار جرقه‌گیر قرار می‌گیرد و برای جلوگیری از آسیب رساندن حرارت جرقه گیر به پوسته بکار می‌رود.

۲-۱۱-۸- رنگ بندی کلیدها

با توجه به تأکید استاندارد مبنی بر ثبات مشخصات کلید و همچنین عمر طولانی این کلیدها، استفاده از رنگ بندی در شاسی کلیدها به عنوان یک نشانه ماندگار در کارخانه‌های معتبر بکار رود.

رنگ شاسی کلیدها طبق استاندارد به شرح ذیل می‌باشد:

۲ آمپر : صورتی، ۴ آمپر : سبز، ۱۰ آمپر : زرد، ۳۲ آمپر : شکلاتی، ۴۰ آمپر : مشکی، ۵۰ آمپر : سفید، ۶۳ آمپر : نارنجی.

۲-۱۱-۹- تنوع آمپراژ

کلیدهای مینیاتوری F&G دارای تمام رنجهای معمول کلیدهای مینیاتوری (۱ آمپر تا ۶۳ آمپر) می‌باشد.

۲-۱۱-۱۰- نوع چاپ

علیرغم تاکید استاندارد بر غیر قابل محو بودن مشخصات کلید قطع خودکار به وفور دیده شده که کارخانه‌ها از برچسب استفاده می‌کنند ولی باید علاوه بر رعایت اصل رنگ بندی دارای چاپی با کیفیت بالا و مطابق با خاصه استاندارد IEC/EN ۰۸۹۸ می‌باشد.

۲-۱۱-۱۱- کلیدهای DC

علیرغم تاکید استاندارد بر استفاده نکردن کلیدهای AC بجای DC متأسفانه در بسیاری از موارد دیده شده‌است که کلیدهای AC بجای DC استفاده می‌شود که بعلت اختلافاتی که در زیر ذکر می‌شود این عمل مجاز نمی‌باشد.

مواد اولیه که درمگنت کلیدهای AC بکار می‌رود در مقابل جریان DC بخوبی واکنش نشان نمی‌دهد ومواد اولیه خاصی باید در آن بکار برده شود.

در ضمن روی هر دو سرامیک‌های کلیدهای DC بایدیک تکه مغناطیس طبیعی به صورت قطب مخالف قرار گیرید تا عمل قطع راحت تر صورت پذیرد.

۱. Actuator lever – used to manually trip and reset the circuit breaker.

۲. Actuator mechanism – forces the contacts together or apart.

۳. Contacts – Allow current to flow when touching and break the flow when touching and break the flow of current when moved apart.

۴. Terminals

۵. Bimetallic strip

۶. Calibration screw – allows the manufacturer to precisely adjust the trip current of the device after assembly.

۷. Solenoid

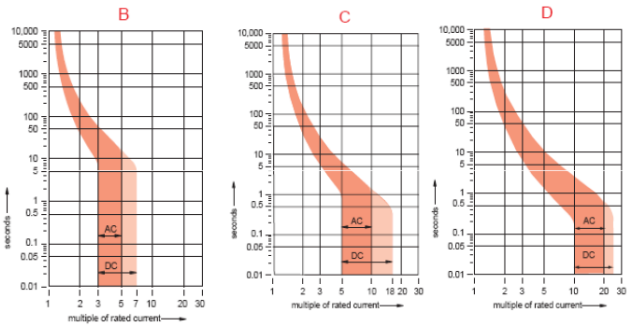
۸. Arc divider / extinguisher

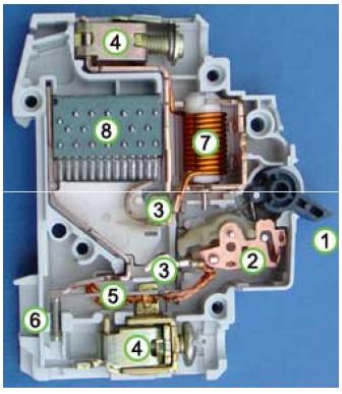
Rated voltages of ۴۰۰V or less, rated frequency of AC ۵۰Hz / ۶۰Hz, and rated current of ۶۳A or less.

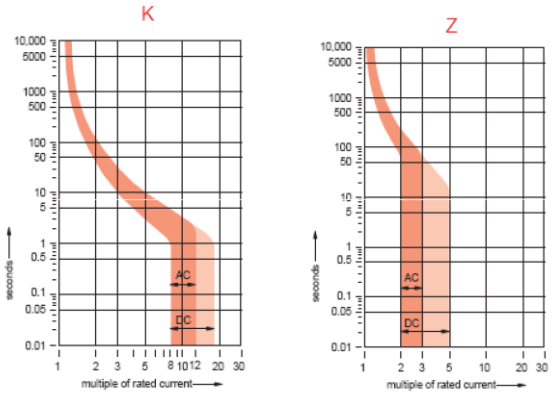
For equipment overloud, short circuit protection and infrequent transformation of circuits in illumination systems and distribution Lines in in office buildings, houses and other similar buildings.

Accordance with the requirement of IEC۶۰۸۹۸, EN۶۰۸۹۸ standards

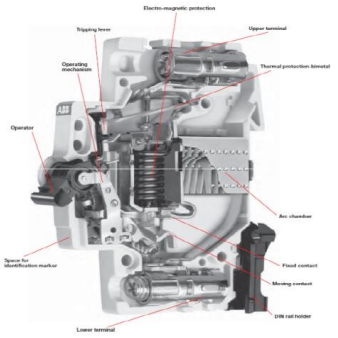
۶KA & ۱۰KA breaking capacity.



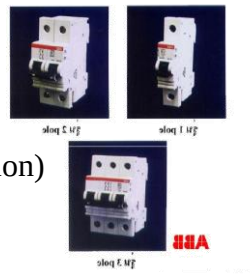




Features:



۱. Pole number: ۱, ۲, ۳P
۲. Rated voltage: ۲۳۰ / ۴۰۰V
۳. Rated current: ۶, ۱۰, ۱۶, ۲۰, ۲۵, ۳۲, ۴۰,۵۰, ۶۳A
۴. Tripping characteristic: B (۳-۵In), C(۵-۱۰In)
۵. Rated short – circuit capacity: ۴.۵k A, ۶k A (Class ۳)
۶. Rail dimension: ۳۵mm
۷. Machanical life: ۲۰,۰۰۰ cycles (on/off)



☐ Underwriters Laboratories (UL)
☐ National Electrical Code (NEC)
☐ IEC (International Electrotechnical Commission)
☐ CSA (Canadian Standards Association)
☐ Canadian Electrical Code (CEC)

۲-۱۲- ارتینگ Earthing

دلایل استفاده از سیستم ارت:

- ☐ ایجاد ولتاژ مرجع جهت سیستم
- ☐ جلوگیری از ایجاد ولتاژ شناور
- ☐ جلوگیری از استرس‌های عایقی
- ☐ آشکارسازی خطای تک فاز
- ☐ جریان خطا براحتی قابل اندازه‌گیری است.
- ☐ از دامنه جریان برای تریپ وسایل حفاظتی استفاده می‌شود.
- ☐ جلوگیری از ایجاد ولتاژ تماسی
- ☐ تخلیه اضافه ولتاژ

۲-۱۲-۱- انواع زمین کردن

۱. زمین کردن حفاظتی
۲. زمین کردن الکتریکی

۲-۱۲-۱-۱- زمین کردن حفاظتی

زمین کردن حفاظتی عبارت است از زمین کردن کلیه قطعات فلزی تأسیسات الکتریکی که در ارتباط مستقیم (فلز به فلز) با مدار الکتریکی قرار ندارد.

این زمین بخصوص برای حفاظت اشخاص در مقابل اختلاف سطح تماس زیاد به کار گرفته می‌شود.

جریانهای خطرناک

جریانهای تا ۰/۰۲ آمپر برای انسان قابل تحمل است.

جریانهای تا حدود ۰/۰۵ آمپر خطرناک و جریانهای از ۰/۱ آمپر بالا خطر جانبی دارد.

برای افراد تا وزن ۵۰ کیلوگرم $I = \frac{۰/۱۱۶}{\sqrt{t}}$

برای افراد تا وزن ۷۰ کیلوگرم $I = \frac{۰/۱۵۷}{\sqrt{t}}$

(ولتاژ ۵۰ ولت متناوب برای محیطهای عادی زندگی و کار، حداکثر ولتاژی است که از نظر برق گرفتگی در ایران ایمن تشخیص داده شده‌است.)

۲-۱۲-۱-۲- زمین کردن الکتریکی

زمین کردن الکتریکی یعنی زمین کردن نقطه‌ای از دستگاه‌های الکتریکی و ادوات برقی که جزئی از مدار الکتریکی می‌باشد.

مثل زمین کردن مرکز ستاره سیم پیچ ترانسفورماتور یا ژنراتور.که این زمین کـردن بخـاطر کار صحیح دستگاه و جلوگیری از ازدیاد فشار الکتریکی فازهای سالم نسبت به زمـین در موقـع تماس یکی از فازهای دیگر با زمین است.

۲-۱۲-۲- انواع ارتینگ

- Isolated Neutral
- Earthed Neutral

Resistance Earthing
Reactance Earthing
Compensation reactance Earthing
Solidly Earthing Neutral

۲-۱۲-۲-۱- Isolated Neutral

جریان خطا فقط خازنی و ناچیز است. بعنوان مثال برای یک شبکه با کابـل ۱۵۰ کیلوولـت که ظرفیت خازنی ۰/۳دارد، این جریان A ۲ می‌باشد.

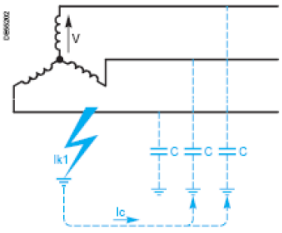


Fig. 1. Capacitive fault current in isolated neutral system.

مزایا:

باعث تریپ اتوماتیک مدار نمی‌شود.

معایب:

- ☐ اضافه ولتاژ گذرا
- ☐ در صورت گرفتن یک فاز به زمین، ولتاژ بین زمین و [illegible]
- ☐ همچنین عایق گرانتر لازم می‌شود.

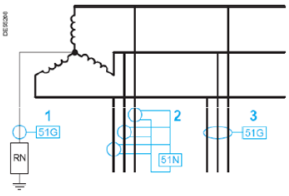


Fig. 6. Earth fault protection solutions.

Insulation Monitoring Device (IMD) در زمان اول ابزار تشخیص فالت باید حساس و قوی باشد.

خطر Over V.

کاربرد: سیستم صنعتی $\leq ۱۵KV$

اسپانیا، ایتالیا، ژاپن

۲-۱۲-۲-۲- Resistance Earthed Neutral

در سیستم‌های صنعتی A ۵۰-۱۵جریان خطا محدود می‌شود. باید جریان $I_C \leq I_{RN}$ ۲ باشد، تا اضافه ولتاژهای ناشی از Switching تخلیه شوند.

در سیستم‌های توزیع جریان خطا به ۳۰۰~۱۰۰ محدود می‌شود، برای تخلیه Over Vهای ناشی از صاعقه.

مزایا: جریان خطای محدود، اضافه ولتاژ رضایت بخش، عایق بین فاز و زمین نیزای نیست. که مثل عایق بین فاز و فاز در نظر گرفته شود، حفاظت آسان و ساده می‌باشد.

۲-۱۲-۲-۳- Reactance Earthing

جهت شبکه‌های بیشتر از ۴۰ KV (Reactance) زیرا جریان خطا زیاد بوده و مقاومت ایجاد حرارت زیاد می‌نماید.

در شبکه‌های توزیع جریان خطا را ۳۰۰~۱۰۰۰ A محدود می‌کنند تا اجازه دهد Over Voltageهای صاعقه تخلیه شوند.

مزایا: دامنه جریان خطا را کاهش می‌دهد، فرق گذاری آسانتر است، انرژی حرارتی کمتری در سلف بوجود می‌آید و حجم سلف کوچکتر از مقاومت می‌شود، از نظر اقتصادی در H.V مناسب تر است.

معایب: ادامه سرویس دهی بعد از Fault وجود ندارد و فالت باید به زودی رفع شود، زمان رفع فالت Over V ناشی از رزونانس زیاد است. بین خازنهای سیستم و سلف زمین)

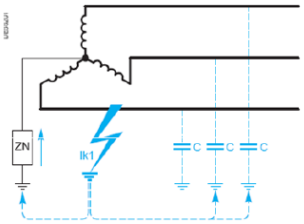


Fig. 1. Equivalent diagram of a power system with an earth fault.

کاربرد در MV با جریان‌های چند صد آمپر

۲-۱۲-۲-۴- Compensation reactance Earthing

جریان خطا تا صفر محدود می‌شود. جریان مقاومت ناچیز است.

مزایا:

جریان خطا محدود می‌شود حتی اگر کاپاسیتانس شبکه زیاد باشد، بوسیله سلف جبرانگر جریان زمین صفر می‌شود. فالت اولیه بوسیله جریان سلف تشخیص داده می‌شود.

معایب:

قیمت سلف ارتینگ گران می‌باشد. زیرا سلف برای جبران سازی نیاز به تغییر دارد، باید مطمئن بود که جریان خطا برای افراد و دستگاه‌ها خطرناک نباشد، ولتاژگذاری بالایی (Over

Voltage در زمان فالت ایجاد می‌شود، مرتب مراقبت نیاز دارد، فرق گذاری برای فالت اولیه مشکل است.

کاربرد: شبکه‌های با ظرفیت خازنی بالا.

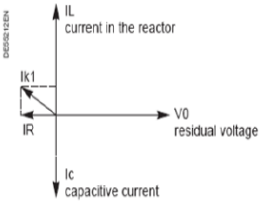


Fig. 2. Vector diagram of currents during an earth fault.

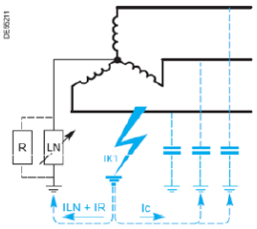


Fig. 1. Earth fault in power system with compensation reactance earthing.

Solidly Earthed Neutral –۵–۲–۱۲–۲

چون نوترال مستقیم ارت شده، جریان اتصال کوتاه بالاست.

مزایا:

- ☐ تخلیه اضافه ولتاژها ایده‌آل است.
- ☐ عایق کاری جهت ولتاژ فاز و نوئل مورید نیاز است.
- ☐ رله ارت فالت خاصی نیاز ندارد و رله اضافه جریان می‌تواند خطای زمین را تشخیص دهد.

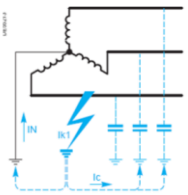


Fig. 1. Earth fault in a solidly earthed neutral power system.

معایب:

- ☐ جریان ارت فالت شدید (بیشترین آسیب و اغتشاش)
- ☐ حفاظت اشخاص بعلت بالا بودن ولتاژ تماسی در حین فالت پایین است.
- ☐ عدم امکان ادامه سرویس دهی در زمان فالت.

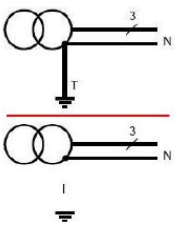
کاربرد:هادی نوترال توزیع، توزیع سه فاز و نول، دو فاز و نول، فاز و نول و جایی که جریان اتصال کوتاه سیستم زیاد نباشد.

تقسیم بندی سیستم‌های فشار ضعیف از نظر روش زمین کردن سیستم ارت

در فشار ضعیف سه نوع سیستم ارت (سیستم زمین) معمول می‌باشد.

سیستم TN که خود به سه گونه مختلف میباشد که عبارتند از :

- ☐ TN-C-S



- ☐ TN-C
- ☐ TN-S
- ☐ سیستم TT

۲-۱۲-۳- سیستم IT

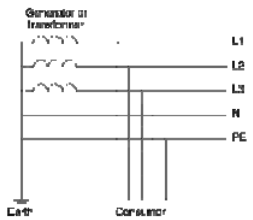
حرف اول از سمت چپ مشخص کننده رابطه نول سیستم با زمین است به این صورت که:
T یعنی نقطه نول مستقیماً به زمین وصل است.
I یعنی نقطه نول از طریق یک امپدانس به زمین متصل است یا نسبت به زمین ایزوله است.
حرف دوم از سمت چپ مشخص کننده رابطه بدنه‌های‌هادی تأسیسات با زمین است به این صورت که:
N یعنی بدنه‌های فلزی تجهیزات از نظر الکتریکی مستقیماً به نقطه زمین شده ترانس اصلی متصل شده‌اند.
T یعنی بدنه‌های فلزی مستقل از اتصال زمین مستقیم نیرو به زمین وصل می‌شوند.
TERRA-T = زمین
NEUTRAL-N = خنثی
ISOLATED-I = مجزا شده
COMBINED-C = مشترک
SEPARATED-S = جدا شده
PROTECTECTIVE EARTHING – PE = اتصال زمین حفاظتی
PROTECTIVE EARTHING & NEUTRAL – PEN =هادی مشترک حفاظتی و خنثی

۲-۱۲-۳-۱- TN

ژنراتور یا ترانس (نقطه ستاره سیستم سه فاز) ارت شده‌است. بدنه دستگاههای الکتریکی به وسیله PE زمین شده‌است.

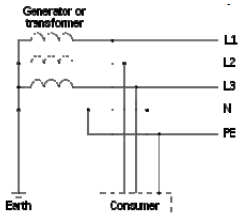
۲-۱۲-۳-۲- TN-S

PE و N فقط درنزدیکی منبع به هم وصل هستند و تا مصرف کننده جدا هستند.

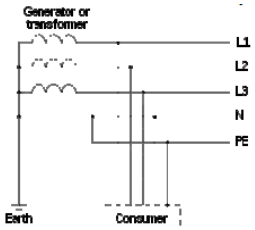


TN-C –۴–۳–۱۲–۲

PEN ترکیب شده نقش هر دوهادی را ایفا نمی‌کند. (از ترانسفور ماتور یا ژنراتور تا مصرف کننده)



TN-C-S –۵–۳–۱۲–۲

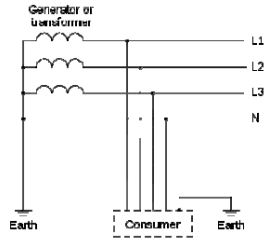


قسمتی از سیستم PEN ترکیب شده استفاده شده و قسمتی بصورت ایزوله. معمولاً از ترانسفورماتور (ژنراتور) بصورت PEN ترکیب شده و از آنجا تا مصرف کننده جدای از هم می‌باشند. در انگلیس با عنوان Protectivemultiple Earthing (PME) و در استرلیا به اسم multiple Earthed neutral (MEN) شناخته شده‌است.

TT –۶–۳–۱۲–۲

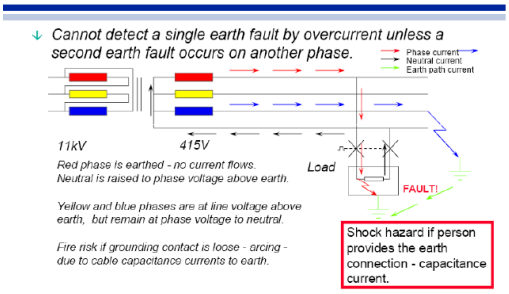
مصرف کننده مستقل از ارت سیستم تغذیه (ترانسفورماتور یا ژنراتور) بصورت محلی زمین شده‌است.

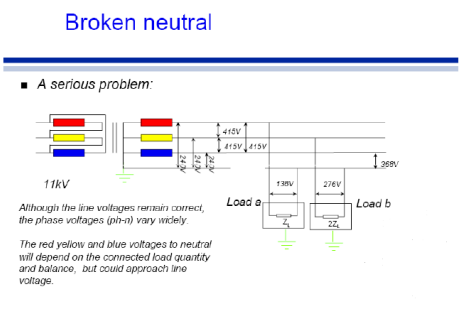
IT –۷–۳–۱۲–۲

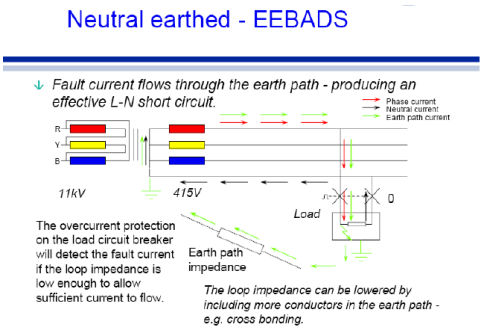


در این شبکه سیستم توزیع هیچ اتصال زمینی ندارد یا با امپدانس بالایی خواهد داشت. در چنین سیستمی‌از IMD امپدانس عایقی استفاده می‌شود.

Neutral not earthed







در سیستمهای TN، حداکثر مقاومت اتصال زمین معادل کلیه الکترودهای موازی (با احتساب الکترودهای زمین اختصاصی مشترکین)، نباید از ۲ اهم تجاوز کند.

حداقل سطح مقطع‌هادی حفاظتی متناسب باهادی فازی S (میلیمتر مربع)	سطح مقطع‌هادی فاز در تأسیسات S (میلیمتر مربع)
S	$S \leq ۱۶$
۱۶	$۱۶ < S \leq ۳۵$
S/۲	S>۳۵

۲-۱۳- رله و حفاظت

فلسفه رله گذاری و حفاظت در سیستم‌های قدرت ما معمولاً فکر می‌کنیم که یک سیستم قدرت الکتریکی برحسب قسمت‌های مهم و موثرش، نیروگاه‌های بزرگ، ترانسفورماتورها، خطوط فشار قوی و... می‌باشند، اما اجزاء ضروری و مهم دیگری نیز وجود دارد. که رله‌های حفاظتی یکی از این اجزاء می‌باشند.

۲-۱۳-۱- نقش رله‌ها

۱- بهره برداری عادی

بهره برداری نرمال: فرض عدم شکست الکتریکی دستگاه‌ها، عدم خطای اشخاص و عدم حوادث طبیعی.

۲- پیشگیری از شکست الکتریکی

۳- کاهش تأثیرات شکست الکتریکی

در سیستم‌های قدرت شکست دستگاه‌های الکتریکی، قطعی‌های تحمل ناپذیری را باعث می‌شوند. جهت به حداقل رسانیدن آسیب به دستگاه‌ها و همچنین کاهش قطعی‌ها در زمان رویداد خطا دو راه چاه وجود دارد:

۱- یکی کردن مشخصات طراحی برای جلوگیری از شکست.

۲- کم کردن تأثیرات شکست وقتی که خطا رخ می‌دهد.

از دو راه ذکر شده کدام مناسب تر است؟

در سیستم‌های قدرت مدرن، درجات مختلفی از دو چاره به کار برده می‌شود. با توجه به شرایط خاص و ملاحظات اقتصادی، پیشرفت قابل توجه بسوی قابلیت اطمینان بیشتر در حال ادامه است. اتکا به سیستم الکتریکی، بطور فزاینده‌ای رو به افزایش است، اتکا به سیستم الکتریکی، بطور فزاینده‌ای رو به افزایش است، همزمان خطاهای سیستم و قطعی‌ها رو به کاهش، اما پیشگیری کامل از خطا از لحاظ اقتصادی بسیار هزینه بَر است این خیلی سودمندتر است که اجازه دهیم بعضی از خطاها اتفاق بیافتد و پس از آن، به کاهش اثرات آن بپردازیم.

۲-۱۳-۲- پارامترهای پیشگیری از ایجاد خطا

- ☐ رعایت ضوابط عایق مناسب
- ☐ هماهنگی مقاومت عایقی اجزاء سیستم بامقررات برق بگیرها؟
- ☐ استفاده از سیم گارد مناسب بالای دکل‌ها با مقاومت پای دکل پایین
- ☐ طراحی برای مقاومت مکانیکی مناسب برای کاهش اثرات تابش و به حداقل رساندن احتمال ایجاد خطا بوسیله حیوانات، پرندگان، آلودگی و غیره
- ☐ بهره برداری مناسب و استفاده از شیوه‌های مناسب تعمیرات و نگهداری

۲-۱۳-۳- پارامترهای کاهش اثرات خطا

- ☐ محدود کردن جریان اتصال کوتاه
- ☐ مقاومت بالا در برابر استرس‌های مکانیکی و پرداخت‌های حرارتی در برابر جریان‌های اتصال کوتاه
- ☐ تأخیر زمانی فالت Under Voltage بر روی بریکرها برای جلوگیری از خارج شدن بارها در برابر افت و ولتاژهای لحظه ای
- ☐ رله‌های حفاظتی
- ☐ بریکرهای با ظرفیت قطع کافی (بالا)
- ☐ فیوزها
- ☐ ریکلوزر

- AVR (کمک به پایداری سیستم)
- مشاهده، بررسی، ضبط، ثبت و نگهداری داده‌های مهم سیستم

وقتی می‌گوییم رله‌های حفاظت می‌کنند، منظورمان این است که رله‌ها با دیگر دستگاه‌ها، با هم به کاهش آسیب و بهبود سرویس دهی کمک می‌کنند.

پس واضح است که هر یک از پارامتهای فوق، بستگی به دیگر پارامترها، برای موفقیت در به حداقل رساندن اثرات خطا دارد.

«پس امکانات، توانایی و ملزومات کار بر روی رله‌های حفاظتی دستگاه‌ها، باید با دیگر پارامترها، مدنظر قرار گرفته شوند. » این جمله دارای تأکید است؛ زیرا گاهی اوقات، بعد از همه ملاحظات طراحی، به فکر رله‌های حفاظتی دستگاه‌ها می‌افتند که بسیار اشتباه می‌باشد.

۲-۱۳-۴- وظیفه سیستم حفاظت

وظیفه سیستم حفاظت این است که هر جزء از سیستم برق رسانی که دچار خطا یا اتصالی شده و یا آغاز به عمل غیر عادی کند را در کمترین زمان ممکنه از سیستم خارج سازد به قسمی‌که احتمال خطر از بین رفته و مزاحمت برای عملکرد درست بقیه سیستم نیز وجود نداشته باشد.

۲-۱۳-۵- زمان پاک شدن خطا

عبارتست از فاصله زمانی ما بین وقوع خطا و لحظه قطع نهایی خطا توسط کلید قدرت. این زمان مجموع زمان عملکرد رله اصلی، زمان عملکرد رله‌های تریپ و کمکی و همچنین زمان باز شدن کلید قدرت می‌باشد. زمان‌های اشاره شده بدین ترتیب تعریف می‌گردند:

۲-۱۳-۶- زمان عملکرد رله

فاصله زمانی بین حادث شدن خطا تا لحظه بستن کنتاکتهای رله یا زمان مابین دریافت مقدار عملکرد توسط رله تا بستن کنتاکتهای رله.

۲-۱۳-۷- زمان عملکرد رله‌های تریپ و کمکی

عبارتست از کل 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.

۲-۱۳-۸- زمان باز شدن کلید قدرت

عبارتست از کل زمانی که صرف می‌شود تا مکانیسم عمل کننده کنتاکتهای کلید را باز کند و جرقه خاموش گردد زمان پاک شدن خطا به دلایل زیر دارای اهمیت می‌باشد.

۲-۱۳-۹- تسریع در پاک شدن خطا

یعنی کوتاه شدن زمان پاک شدن خطا که باعث حداقل شدن میزان خسارات ناشی از خطا می‌شود و سبب بالا رفتن پایداری سیستم می‌گردد.

زمان عملکرد رله در رله‌های سریع در کمتر از چند سیکل می‌باشد، زمان عملکرد رله‌های کمکی و تریپ بسته به نوع آرایش آنها نسبت به رله‌های اصلی، حداکثر ۴۰ میلی ثانیه می‌باشد و زمان باز شدن کلیدهای قدرت در کلیدهای غیر سریع در حدود ۵ سیکل و در کلیدهای سریع حدود ۲ تا ۳ سیکل خواهد بود. امروزه رله‌های استاتیکی با زمان نیم یا یک سیکل متداول و در دردسترس می‌باشند که درنهایت با در نظر گرفتن زمان‌های فوق و یک فاصله اطمینان، زمان پاک شدن خطا از لحظه وقوع خطا تا خاموش شدن قوس بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

۲-۱۳-۱۰- حفاظت اصلی

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

۲-۱۳-۱۱- حفاظت پشتیبان

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

۲-۱۳-۱۲- محدوده حفاظتی

محدوده یا قسمتی از شبکه است که حفاظت آن قسمت به عهده یک سیستم حفاظت مشخص واگذار شده‌است.

۲-۱۳-۱۳- قابلیت اطمینان

قابلینت اطمینان در سیستمهای حفاظت بمعنای انجام کامل وظایف محوله و جلوگیری از صدمات ناشی از تداوم خطا در شبکه است. بعبارت دیگر، سیستم حفاظت باید احتمال وقوع صدمات بخاطر عدم عملکرد احتمالی رله‌ها را به حداقل ممکن برساند.

۲-۱۳-۱۴- حساسیت

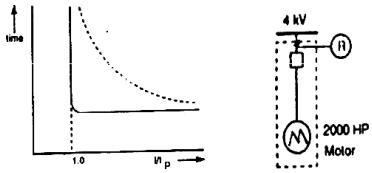
حساسیت عموماً در حداقل جریان عملکرد سیستم حفاظت مطرح می‌گردد. یک سیستم حفاظت، حساس است اگر جریان اولیه عملکرد کوچک داشته باشد. چنانچه حساسیت در مورد یک رله مجزا مطرح گردد، به معنای مصرف ولت آمپر در حداقل جریان عملکرد می‌باشد.

۲-۱۳-۱۵- تشخیص گذاری(توانایی تمایز)

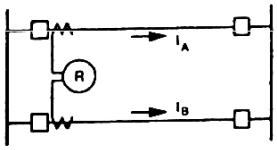
سیستم حفاظت شامل محدوده‌هایی است که سراسر شبکه را پوشش می‌دهند. یک سیستم حفاظت باید تنها خطای ظاهر شده در محدودهٔ حفاظت خود را تشخیص داده و فرمان را به بهترین کلیدها ارسال نماید تا حداقل خروج صورت می‌گیرد.

۲-۱۳-۱۶- دسته بندی رله‌ها

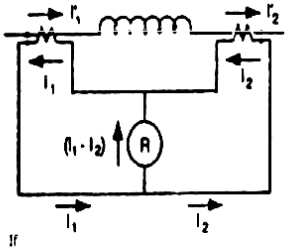
۱. بر اساس دامنه:



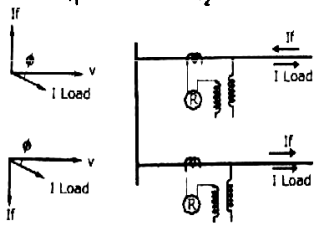
۲. مقایسه دامنه:



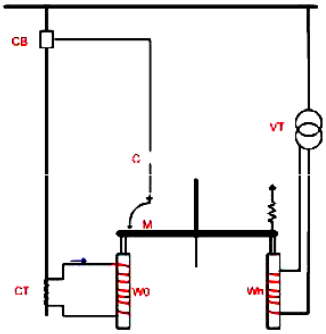
۳. مقایسه تفاضلی:



۴. مقایسه زاویه فاز:



سنجش فاصله:



براساس هارمونیک:

سنجش فرکانس:

۲-۱۳-۱۷- اصول اساسی در رله گذاری حفاظتی

اصول رله گذاری در سیستم حفاظتی بر مبنای رله گذاری اصلی و پشتیبان بنا نهاده می‌شود. رله گذاری اصلی، پایه حفاظت سیستم در مقابل خطا یا اتصال کوتاه محسوب میشود. بعنوان یک اقدام احتیاطی علاوه بر حفاظت اصلی، حفاظت پشتیبان نیز در نظر گرفته می‌شود تا چنانچه حفاظت اصلی نتوانست عمل کند، حفاظت پشتیبان عمل کرده و قسمت معیوب را از سیستم جداکند. مهمترین دلایل بکارگیری حفاظت پشتیبان به شرح زیر است:

عدم عملکرد احتمالی یا ایراد در هر کدام از المانهای تشکیل دهندهٔ حفاظت اصلی اعم از ترانسفورماتور جریان، ترانسفورماتور ولتاژ، رله‌های اصلی، رله‌های کمکی، رله گذاری اصلی و... که موجب عدم کارکرد صحیح حفاظت اصلی می‌شوند.

تعمیرات و آزمایش حفاظت اصلی باعث خروج این سیستم از مدار می‌گردد که در این حالت حفاظت پشتیبان وظیفه حفاظت سیستم را بر عهده می‌گردد.

حفاظت پشتیبان به صورت مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو روش مهم و معمول استفاده از رله گذاری پشتیبان و استفاده از کلیدهای پشتیبان می‌باشند.

۲-۱۳-۱۸- استفاده از رله گذاری پشتیبان

در این روش رله‌های حفاظت اصلی و پشتیبان هر دو به کلید واقع در پست فرمان قطع می‌دهند. دو سیستم حفاظتی می‌تواند کاملاً متفاوت از هم باشند و کلیدها نیز اکثراً دارای دو مدار قطع میباشند. یکی برای حفاظت اصلی و دیگری جهت حفاظت پشتیبان، رله گذاری پشتیبان به دو صورت زیر انجام می‌گیرد.

۲-۱۳-۱۹- حفاظت پشتیبان بر مبنای طبقه بندی زمانی

در این روش زمان عملکرد رله‌های پشتیبان و زمان قطع کلید طوری تنظیم می‌گردد که ابتدا رله‌های اصلی عمل نمایند و در صورت عدم موفقیت رله گذاری برای پاک کردن خطا، رله‌های پشتیبان عمل نموده و فرمان قطع کلید را صادر می‌کند.

۲-۱۳-۲۰- حفاظت پشتیبان براساس انتخاب دوبل تجهیزات

در این روش المانهای سیستم حفاظت یعنی رله‌های دو سری انتخاب می‌شود. یکی بعنوان حفاظت پشتیبان، هر دو حفاظت در یک زمان و به صورت موازی عمل می‌کنند. این سیستم اکثراً به نام MainII,Main I نامگذاری می‌شود. در این سیستم سعی می‌گردد، رله‌های مشابه حفاظت‌هایMain II, MainI از تیپ‌های مختلف و یا از سازندگان مختلف انتخاب شوند تا ایمنی و اطمینان سیستم افزایش یابد. در بعضی موارد جهت حفاظت، Main II, Main I از دو نوع رله مختلف ناهمسان استفاده می‌شود. علاوه بر این ممکن است این دو نوع

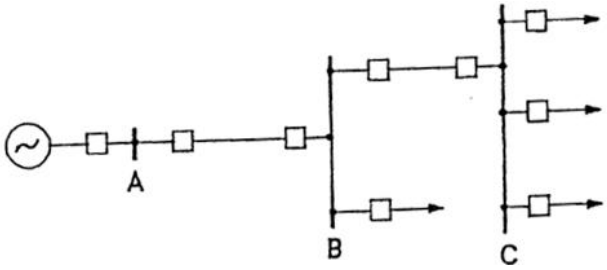
رله تنظیم‌های زمانی مختلف داشته و با یکدیگر عمل نکنند مانند رله‌های حفاظتی جهت ترانسفورماتورهای قدرت.

تجهیزات فشار قوی نظیر ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ به صورت یک واحد شامل حداقل بیش از دو سیم بندی در ثانویه جهت نمونه‌گیری از جریان و ولتاژ و تغذیه رله‌های Main I و Main II انتخاب می‌گردند.

بطور معمول ترانسفورماتورهای جریان استفاده در پستهای انتقال قدرت دارای ثانویه یک آمپری یا ۵ آمپری می‌باشند و بالطبع رله‌ها نیز بهمین صورت می‌باشند. موارد کاربرد این دو نوع ترانسفورماتور جریان بستگی به شرایط پست مورد نظر دارد. بعنوان مثال در پستهای بزرگ که فواصل محوطه با اطاق رله و کنترل زیاد می‌باشد از ترانسفورماتروهای جریان یک آمپری استفاده میشود. علت این امر کاهش تلفات و مصرف ثانویه ترانسفورماتورهای جریان می‌باشد.

۲-۱۳-۲۱- استفاده از کلیدهای پشتیبان

در برخی موارد از کلیدهای واقع در پست یا پستهای دیگر بعنوان پشتیبان برای حفاظتهای در نظر گرفته شده برای هر جزء در پست استفاده می‌شود و این زمانی است که حفاظت‌های دیگر نظر گرفته شده و یا کلید هر جزء موفق به حذف خطا در آن جزء نباشد که در این صورت کلیدهای پشتیبان یا به وسیله گرفتن سیگنال از رله اشکال کلید جزء مورد حفاظت عمل می‌نمایند یا اینکه زمان تنظیم رله‌های حفاظتی کلیدهای پشتیبان سپری شده و دستور قطع کلید را صادر می‌نماید که در این دو حالت خطای هر جزء در پست به وسیله کلیدهای دیگر که در همان پست یا پست‌های دیگر قرار دارند برداشته می‌شود.



شمای حفاظت با استفاده از کلیدهای پشتیبان

چنانچه در شکل قبل نشان داده شده‌است کلیدهایی که روی شینه B میباشند بعنوان حفاظت پشتیبان کلیدهای روی شینه C عمل می‌کنند و به همین دلیل زمان قطع کلیدهای شینه B بالاتر از کلیدهای شینه C می‌باشند.

اکنون با توجه به تعاریف و موارد گفته شده، به بررسی حفاظت هر یک از اجزاء سیستم پرداخته می‌شود.

۲-۱۳-۲۲- سیستم حفاظتی

۲-۱۳-۲۲-۱- حفاظت خط انتقال

خطوط انتقال فشار قوی امروز در اکثر موارد هوایی و بصورت یک یا چند مداره و با توجه به ظرفیت قدرت انتقال آن‌ها میتوانند بصورت چندین هادی گروهی (باندل) انتخاب شوند. خطوط انتقال هوایی با توجه به شرایط محیط آب و هوا و دیگر مسائل در معرض انواع مسائل طبیعی و حوادث می‌باشند که هرکدام از این حوادث ممکن است بنحوی باعث اتصالی فازها با یکدیگر و یا با زمین شود. در بعضی موارد پارگی فاز و یا برخورد به بدنه برجهای خط انتقال نیز اتفاق می‌افتد. هر کدام از این حوادث چنانچه تشخیص داده نشوند و رفع عیب نگردند، باعث بروز اختلالات وسیع در شبکه و از بین رفتن سرمایه‌های زیادی می‌گردند. لذا حفاظت خط دارای اهمیت خاصی است. جهت انتخاب حفاظت مناسب خط فاکتورهای زیادی مطرح می‌باشند از جمله :

نوع مدار که شامل کابل، خط هوایی یک مداره، خطوط هوایی موازی و چند مداره می‌باشد.

۲-۱۳-۲۲-۱-۱- اهمیت و ظرفیت خط

با توجه به عوامل بالا، رایجترین و مهمترین حفاظتهای مورد استفاده جهت خط عبارتند از:

- ☐ حفاظت دیستانس
- ☐ حفاظت جریان زیاد
- ☐ حفاظت دیفرانسیلی پایلوت
- ☐ حفاظت اضافه و کاهش ولتاژ

معمولاً در طراحی حفاظت یک خط از رله‌های فوق به صورت مجزا و یا ترکیبی استفاده می‌گردد.

۲-۱۲-۲۲-۱-۲- رله گذاری جهت حفاظت خطوط انتقال

با توجه به اهمیت خطوط فشار قوی ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلو وات امروزه سیستم حفاظت بر مبنای انتخاب دوبل تجهیزات حفاظتی می‌باشد. همانطور که قبلاً نیز گفته شد تجهیزات فشار قوی نظیر ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ بایستی دارای حداقل دو سیم بندی در ثانویه و رله‌های حفاظتی دوبل باشند. در حقیقت دو سیستم حفاظت جداگانه و مستقل از هم طراحی می‌گردند. البته دو سیستم ممکن است کاملاً شبیه بهم نباشند و رله‌هایی که از درجه اهمیت کمتری در حفاظت خط قرار دارند مانند رله‌های کاهش و افزایش ولتاژ، فقط در یک سیستم

بکار روند. معمولاً سیستم حفاظت Main I تمامی‌حفاظتهای مورد نیاز را داراست و Main II همان سیستم اصلی با حذف رله‌های با درجه اهمیت کمتر می‌باشد.

یکی از طرح‌های معمول رله گذاری جهت حفاظت خطوط فشار قوی عبارتست از :

الف - رله‌های Main I

- ☐ حفاظت دیستانس
- ☐ حفاظت اتصال زمین جهت دار
- ☐ حفاظت افزایش یا کاهش ولتاژ
- ☐ حفاظت ناحیه کور

ب - رله‌های Main II

- ☐ حفاظت دیستانس
- ☐ حفاظت اتصال زمین جهت دار
- ☐ در برخی مواقع حفاظت اتصال زمین جهت دار جزئی از رله دیستانس می‌باشد که در این حالت رله دیستانس و رله اتصال زمین جهت دار بعنوان یک رله به کار می‌روند.

۲-۱۳-۲۲-۲- گزینه‌های حفاظت خط

برای حفاظت خطوط انتقال رله‌های دیستانس در Main I و Main II مطرح می‌شود. از آنجاکه مقاومت زمین بسیار متغییر است، رله دیستانس اتصال زمین ندرتاً بکار می‌رود، مگر با نظر طراح و استفاده از رله‌های راکتانسی انجام گیرد. در رله گذاری برای اتصالیهای فاز در خطوط انتقال، حفاظت دیستانس مناسب‌تر است. در خطوط کوتاه نوع راکتانسی برتری دارد زیرا می‌توان بدون تأثیر مقاومت قوس (که در خطوط کوتاه در مقابل امپدانس خط قابل ملاحظه است) حفاظت را انجام داد.

در خطوط بلند استفاده از رله مهو بسیار مناسب است زیرا مشخصه عملکرد رله صفحه مختصات R-X کمترین فضا را اشغال می‌کند، بنابراین از دیگر حالتهای غیر عادی سیستم کمتر تأثیر می‌پذیرد. به عبارت دیگر رله مهو، سلکتیوترین نوع رله‌های دیستانس است. از طرف دیگر، رله مهو بخاطر تأثیر پذیری زیاد در مقابل مقاومت قوس، تنها برای خطوط طولانی مناسب می‌باشد.

در حفاظت خطوط انتقال، مرز مشخصی در مورد گزینش رله وجود ندارد. بنابراین، علاوه بر موارد یاد شده، انتخاب طراح مناسب می‌باشد.

در حفاظت خطوط انتقال، مرز مشخصی در مورد گزینش رله وجود ندارد. بنابراین، علاوه بر موارد یاد شده، انتخاب طراح و شرایط شبکه، محل پست و ارتباط پست با پست‌های دیگر مطراح می‌باشد.

استفاده از حفاظت دیستانس سوئیچ شونده، تعداد واحدهای اندازه گیری رله‌ها را کاهش داده و رله را بصورت خودکار به منابع جریان و ولتاژ مناسب متصل می‌نماید. زمانیکه از تکنیک فوق بهره گرفته شود، کیفیت فنی حفاظت کاهش می‌یابد و در مقابل هزینه رله گذاری کاسته می‌شود. پائین آمدن کیفیت حفاظت بخاطر تاخیر زمانی بیشتر، کاربرد مشکلتر، دقت کمتر و نیاز به تعمیر و نگهداری بیشتر است. به همین خاطر در پستهای کلیدی که دقت و سرعت از ارزش بالائی برخوردار است، استفاده از نوع غیر سوئیچ شونده باسه واحد برای اتصالیهای فاز و سه واحد برای اتصالیهای زمین مطمئن تر خواهد بود.

۲-۱۳-۲۲-۳- حفاظت خطوط انتقال چند مداره

عبارت خط انتقال چند مداره زمانی بکار می‌رود که تعداد دو یا بیشتر از دو مدار خط انتقال سه فاز بر روی یک برج انتقال کنار یکدیگر قرار گرفته باشند. سطح ولتاژ مدارها ممکن است یکسان یاغیر یکسان باشد. دراین حالت مدارها روی هم تأثیر مغناطیسی گذاشته و بعلت میدان مغناطیسی که هر مدار روی مدار دیگر اعمال می‌کند، امپدانس متقابلی بوجود خواهد آمد. بنابراین در طراحی حفاظت و محاسبات اتصال کوتاه شبکه بایستی مسأله امپدانس متقابل در نظر گرفته شود.

جهت مطالعه و در نظر گرفتن پدیده القاء متقابل در طراحی حفاظت، خطوط و شبکه‌های چند مداره به سه بخش عمده تقسیم می‌گردند.

- ☐ مدارهای موازی با منابع توالی مثبت و صفر مشترک
- ☐ مدارهای موازی با منبع توالی مثبت مشترک ولی منابع توالی صفر جدا از هم
- ☐ مدارهای موازی با منابع توالی مثبت و صفر جدا از یکدیگر

طراحی حفاظت در هر یک از موارد گفته شده دارای شرایط خاصی است ولی اصولی کلی بر حفاظت کلیه مدارهای فوق حاکم است که بصورت زیر عنوان خواهند شد.

۲-۱۳-۲۲-۴- حفاظت دیستانس در خطوط انتقال موازی و چند مداره

حفاظت دیستانس نسبت به خطاهای فاز – فاز و سه فاز در خطوط موازی ایراد پذیر نیست ولی حفاظت فاز – زمین در اندازه‌گیری امپدانس داری اشتباه خواهد بود.

در خطوط موازی بواسطه وجود امپدانس متقابل، جریان زمین ولتاژی در حلقه خطا تولید می‌کند و لذا امپدانسی که رله در این حالت می‌بیند دارای درصدی اشتباه خواهد بود. این

اشتباه باعث بیشتر دیدن طول یا کمتر دیدن طول رله می‌گردد. جریان اندازه‌گیری شده توسط رله دیستانس وابسته به فاکتوری به نام فاکتور جبران زمین است. اگر این فاکتور به نحو مناسبی انتخاب گردد، رله ای که روی خط آسیب دیده نصب میباشد، امپدانس صحیح خطا را خواهد دید و صحیح عمل خواهد نمود ولی رله واقع در خط سالم جریان را صحیح اندازه‌گیری نکرده و تمایل به بیشتر شدن دارد. بنابراین جهت عمل صحیح رله‌های واقع در روی خط سالم یا رله‌های این خط بایستی قفل شوند و یا عامل جبران امپدانس متقابل در این رله‌ها دراین حالت از مدار خارج گردد و یا قادر به عمل نباشد.

یکی از راه حل‌های پیشنهادی عبارتست از مقایسه جریانهای زمین هر دو خط و آنگاه آزاد ساختن عامل جبران سازی بر روی خطی که جریان بیشتری دارد که معمولاً خط آسیب دیده می‌باشد. این روش محتاج به وصل تعدادی از سیم‌های حامل جریان زمین بی فیدرهای موازی به یکدیگر و هم چنین تجهیزات مقایسه جریان می‌باشد. شاید یکی از دلایلی که اغلب رله‌های دیستانس فاقد جبران سازی امپدانس متقابل می‌باشند همین است. دلیل دیگر این است که با تنظیم مناسب نواحی حفاظتی این مساله قابل حل است. البته در خیلی موارد جبران سازی لازم است بعنوان مثال جهت تشخیص صحیح محل خطا توسط دستگاه تعیین محل عیب.

۲-۱۳-۲۲-۵- حفاظت شینه

۲-۱۳-۲۲-۵-۱- به دلایل زیر حفاظت شینه دارای اهمیت زیادی است.

- ☐ سطح اتصال کوتاه در زیر شینه‌های پست‌های انتقال قدرت خیلی زیاد است.
- ☐ پایداری سیستم قدرت اکثراً متاثر از خطا در محدوده شینه است.
- ☐ اتصال کوتاه روی شینه‌ها باعث ایجاد گرمای بیش از حد تحمل‌هادیها شده و باعث آسیب خواهد شد لذا در کوتاهترین مدت بایستی این اتصال رفع گردد.
- ☐ یک حفاظت مطمئن جهت شینه بایستی دارای شرایط زیر باشد:
- ☐ سرعت بالا در رفع اتصال کوتاه (کمتر از ۰/۱ ثانیه)
- ☐ تشخیص و تمیز دادن اتصال کوتاه‌های خارج از آن
- ☐ عدم عملکرد در زمان اشباع ترانسفورماتورهای جریان یا نوسان‌های قدرت
- ☐ کنترل مدار قطع هر کلید بطور مستقل
- ☐ جلوگیری از عمل وصل مجدد اتوماتیک و قطع تک فاز به هنگام بروز اتصال کوتاه در شینه
- ☐ مهمترین عواملی که باعث بروزاتصال کوتاه در شینه‌ها می‌شوند عبارتند از:

- ناتوانی مقره‌های نگهدارنده که شینه‌های قدرت بوسیله آنها از زمین عایق می‌شوند.
- به هنگام بروز اضافه ولتاژ، قوس از نگهدارنده عایقی عبور کرده و اتصال کوتاه بوجود می‌آید.
- آلودگی که در مناطق با آلودگی زیاد باعث ایجاد قوس می‌گردد. (سطح عایقی‌هادی شده و باعث عبور جریان خزشی میشود
- زمین لرزه، خرابی‌های مکانیکی و غیره

معمولترین نوع حفاظت مورد استفاده جهت شینه استفاده از حفاظت دیفرانسیلی است که خود نیز به دو بخش تقسیم می‌گردد.

- حفاظت دیفرانسیلی امپدانس زیاد بر مبنای جریان چرخشی
- حفاظت دیفرانسیلی امپدانس زیاد بر مبنای افت ولتاژ

۲-۱۳-۲۲-۵-۲- گزینه‌های حفاظت شینه

موارد بشرح زیر برای حفاظت شینه معرفی گردیده اند:

- حفاظت دیفرانسیلی امپدانس زیاد بر مبنای جریان چرخشی
- حفاظت دیفرانسیلی امپدانس زیاد بر مبنای افت ولتاژ

تفاوت دو گزینه فوق در ساختار رله امپدانس زیاد می‌باشد بطوریکه در گزینه اول رله به صورت جریانی است و در گزینه دوم جریان با استفاده از یک امپدانس به ولتاژ تبدیل شده و به رله ولتاژی اعمال می‌شود.

برای حفاظت اتصال زمین، حفاظت دیفرانسیلی امپدانس زیاد بر مبنای جریان چرخشی مناسب می‌باشد. در حفاظت اتصال کوتاه فازها، CTهای مربوط به یک فاز با هم موازی شده و مجموعاً بصورت ستاره با سه رله دیفرانسیل امپدانس بالا قرار می‌گیرد. این سیستم جریان چرخشی، علاوه بر ساده بودن دارای مشخصه مطلوبی است.

استفاده از CTها با نسبت تبدیل مختلف در یک گروه سه فاز و اتصال موازی آنها باعث می‌گردد که از تعداد هادیهای رابط و رله‌ها کاسته شود. برای اتصال زمین تنظیم کم و برای اتصال فازها تنظیم بالا منظور می‌گردد. از طرف دیگر، استفاده از این روش نیازمند CTهای بزرگتر بوده و نتیجتاً هزینه CTها را افزایش می‌دهد. علاوه برآن، برای استفاده در پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلو ولت و حفاظت‌های حساس مناسب بنظر نمی‌رسد. بنابراین بکارگیری آن به نظر طراح و پارامترهای شبکه بستگی دارد.

۲-۱۳-۲۲-۶- حفاظت ترانسفورماتور

خطاهای الکتریکی که باعث بوجود آمدن اشکال در بهره‌برداری فیدرترانسفورماتورهای قدرت می‌شوند،

بطور کلی به دو دسته خطاهای داخلی و خطاهای خارجی تقسیم می‌گردند.

- ☐ اتصال کوتاه داخلی بعلت ضعف عایق بندی یکی از سیم پیچها
- ☐ اتصال زمین بین سیم پیچی و بدنه

خطاهای فاز به فاز داخلی که خیلی به ندرت اتفاق می‌افتد.

خطاهای خارجی عبارتند از:

- ☐ اضافه بار
- ☐ خطاهای شبکه
- ☐ ازدیاد ولتاژ
- ☐ کاهش فرکانس سیستم

علاوه بر خطاهای نامبرده، یک سری خطاهای غیر الکتریکی نیز وجود دارند که عبارتند از:

- ☐ کمبود روغن
- ☐ نقص فنی در دستگاه خنک کننده روغن
- ☐ نقص فنی در تنظیم کننده ولتاژ ترانسفورماتور

با توجه به خطاهای شمرده شده فوق حفاظتهای زیر جهت ترانسفورماتور بطور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- حفاظت جریان زیاد فاز و نوترال
- حفاظت خطای زمین محدود شده
- حفاظت دیفرانسیل
- حفاظت شار زیاد (برای ترانسفورماتور نیروگاهی)
- حفاظت امپدانسی
- حفاظت جریان قابل تنظیم بالا و پایین برای سیم پیچ شود.
- حفاظت تپ چنجر
- حفاظت اتصال زمین تانک (بدنه ترانسفورماتور)
- حفاظت دمای زیاد سیم پیچی و روغن
- حفاظت بوخ هلتس
- حفاظت در مقابل فشار و آزاد ساز فشار

- حفاظت نرخ افزایش فشار روغن
- حفاظت بوخ هلتس
- حفاظت در مقابل فشار و آزاد ساز فشار
- حفاظت نرخ افزایش فشار روغن

۲-۱۳-۲۲-۶-۱- رله گذاری جهت حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت

حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت را علاوه بر حفاظت‌هایی که بر روی خود ترانسفورماتور قرار دارند (حفاظت دمای سیم پیچی و روغن، حفاظت بوخ هولتس، رله نرخ افزایش فشار روغن و آزاد ساز فشار) همانطوریکه قبلاً اشاره شد می‌توان به صورت دو سیستم با عملکردها و رله‌های متفاوت و هم چنین زمان‌های عملکرد متفاوت تقسیم نمود. در این تقسیم بنا به دلایل ذکر شده در بالا و عدم وجود رله‌های اصلی موازی از نظر زمانی نمی‌توان سیستم Main II, Main I برای حفاظت ترانسفورماتور در نظر گرفت.

رله‌های جریان زیاد لحظه‌ای: اتصال زمین محدود شده دیفرانسیلی با انکه به صورت لحظه‌ای عمل می‌نمایند ولی دارای ماهیت پشتیبان رله دیفرانسیل می‌باشند و لذا حفاظت ترانسفورماتور را می‌توان به دو سیستم حفاظت اصلی و حفاظت پشتیبان تقسیم بندی نمود که شرح زیر می‌باشند:

۲-۱۳-۲۲-۶-۲- رله‌های اصلی

- رله‌های دیفرانسیلی
- رله افت ولتاژ
- رله شار زیاد
- رله‌های پشتیبان
- رله‌های جریان زیاد لحظه ای 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 اتصال زمین محدود شده دیفرانسیلی
- رله جریان زیاد لحظه ای تپ چنجر
- رله جریان زیاد قابل تنظیم بالا و پایین برای سیم پیچ سوم

اساس کلی بیشتر رله گذاری‌ها جهت حفاظت ترانسفورماتور بر همین ترکیب ذکر شده میباشد. در بعضی موارد ممکن است بسته به سطح ولتاژ و نحوه اتصال سیم بندیهای اولیه، ثانویه و وجود سیم پیچی سوم و
همچنین وجود ترانسفورماتورهای بدون کلید ترکیب فوق به میزان کمی‌تغییر یابد.

۲-۱۳-۲۲-۷- حفاظت راکتور

راکتورهای شانت در شبکه‌های قدرت جهت جبران راکتانس کاپاستیو خطوط انتقال بکار می‌روند. حفاظت‌های معمول استفاده شده جهت حفاظت‌های اصلی و پشتیبان عبارتند از:

- ☐ نرخ افزایش فشار روغن
- ☐ بوخ هلتس
- ☐ جریان زیاد سه فاز یا دیفرانسیل زمین محدوده شده

لازم به ذکر است که راکتورهایی که به صورت موازی و بدون کلید به خط متصل می‌شوند عملکرد حفاظتهای راکتور، در زمان وقوع خطا، توسط کانالهای PLC باید به انتهای خط ارتباطی در پست‌های مجاور ارسال گردد تا کلید خط مذکور در پست همجوار باز شده و تغذیه خط از پست همجوار قطع گردد.

۲-۱۳-۲۲-۷-۱- گزینه‌های حفاظت راکتور

سه گزینه زیر برای حفاظت راکتور معرفی شده‌اند:

- ☐ سه رله دیفرانسیل تک فاز و یک رله جریان زیاد نوترال
- ☐ یک رله دیفرانسیل سه فاز با سه رله جریان زیاد زمانی و لحظه‌ای تکفاز
- ☐ یک رله دیفرانسیل زمین محدود شده و سه رله جریان زیاد زمانی و لحظه یا تکفاز

در گزینه‌های فوق، گزینه یک رله دیفرانسیل زمین محدود شده و سه رله جریان زیاد زمانی و لحظه‌ای تکفاز در مقابل گزینه یک رله دیفرانسیل سه فاز با سه رله جریان زیاد زمانی و لحظه‌ای تکفاز بعلت قیمت بالای رله دیفرانسیل سه فاز نسبت به رله دیفرانسیل زمین به رله دیفرانسیل زمین محدود شده اقتصادی تر می‌باشد و همچنین گزینه سه رله دیفرانسیل تکفاز و یک رله جریان زیاد نوترال بعلت گران بودن رله‌های دیفرانسیل و همچنین نیاز به ۳۰ عدد ترانس جریان انتهای سیم پیچی از هر دو گزینه دیگر گرانتر بوده و توصیه نمی‌گردد.

۲-۱۳-۲۲-۸- حفاظت کلید قدرت

وظیفه کلیدهای قدرت ایزوله کردن بخشی از سیستم که درآن خطا اتفاق افتاده از بقیه سیستم می‌باشد.

بواسطه اهمیت کلید و مسائلی که برای آن پیش می‌آید، یک سری حفاظت جهت تشخیص و ایجاد فرمان مناسب برای رفع عیب ضروری میباشند. از جمله مسائلی که ممکن است برای یک کلید قدرت پیش آید، ناموفق بودن کلید در بر طرف کردن جریان اتصالی و یاعدم همزمانی بازشدن کنتاکتهای اصلی فازهای مختلف کلید به هنگام قطع جریان می‌باشند. بنابراین حفاظتهای مورد استفاده جهت کلیدهای قدرت عبارتند از:

- ☐ حفاظت اشکال کلید
- ☐ نظارت بر مدار تریپ
- ☐ حفاظت ناهماهنگی در باز شدن کنتاکتهای کلید

۲-۱۳-۲۲-۹- حفاظت بانک خازنی

بانک خازنی ازمجموعه خازن‌های سری و موازی تشکیل شده‌است که مجموعاً توان راکتیو مورد نیاز را تأمین می‌نماید. شرایط زیر برای انتخاب تجهیزات حفاظتی بانک خازنی باید مورد توجه قرار گیرند:

- ☐ ولتاژهای موجی سیستم
- ☐ اضافه جریان‌های ناشی از خرابی یک واحد جداگانه
- ☐ اضافه ولتاژهای پیوسته خازن‌ها
- ☐ جریان‌های تخلیه از طریق واحدهای خازنی موازی
- ☐ جریان‌های هجومی‌ناشی از کلیدزنی
- ☐ قوس الکتریکی درخازن

بنابراین حفاظت‌های مورد استفاده جهت بانک خازنی عبارتنداز :

- ☐ حفاظت جریان زیاد واحد خازنی مجزا
- ☐ حفاظت جریان زیاد بانک خازنی
- ☐ حفاظت قوس الکتریکی در خازن توسط رله ولتاژی
- ☐ حفاظت ولتاژ زیاد بانک خازنی
- ☐ بررسی فنی – اقتصادی گزینه‌های سیستم‌های حفاظتی مناسب
- ☐ گزینه‌های حفاظت پشتیبان
- ☐ استفاده از کلیدهای پشتیبان
- ☐ استفاده از رله گذاری پشتیبان

در هنگام بروز خطا، سیستم از حالت عادی و کارکرد نرمال خود خارج می‌شود ضمن اینکه ارتباط و بهم پیوستگی شبکه قدرت سراسری از هم باز می‌شود و در تأمین انرژی الکتریکی وقفه ایجاد می‌شود و این امر باعث ضررهای اقتصادی فراوانی می‌گردد.

جدا نمودن قسمت اتصالی در شبکه‌های ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلو ولت در کوتاهترین زمان ممکن باعث بهبود وضعیت شبکه و عدم ایجاد وقفه در تامین انرژی الکتریکی خواهد بود، در سیستم استفاده از کلیدهای پشتیبان زمان لازم برای پاک شدن خطا در صورت در دسترس نبودن حفاظت اصلی بیشتر می‌شود چون باید زمان تنظیم رله‌های حفاظتی پست‌های دیگر سپری شود تا کلید مربوطه بازگردد و این امر باعث تاخیر زمان و ایجاد وقفه می‌گردد و لذا استفاده از رله گذاری پشتیبان انتخاب می‌گردد.

۲-۱۳-۲۳- بررسی وضعیت موجود سیستم رله گذاری پستهای ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلو ولت شبکه سراسری ایران

این بخش به بررسی و مطالعه سیستم رله گذاری جهت حفاظت هر یک از اجزاء در پستهای انتقال قدرت ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلو ولت شبکه سراسری ایران اختصاص یافته است.

۲-۱۳-۲۳-۱- رله گذاری خطوط انتقال فشار قوی ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلو ولت

براساس مطالعات و بررسی‌های انجام شده بر روی سیستم‌های رله گذاری موجود بجز موارد معدودی، در بیشتر پستهای انتقال قدرت ۴۰۰ و ۲۳۰ رله گذاری جهت انتقال براساس سیستم Main I و Main II می‌باشد. رله گذاری سیستم Main I و Main II نیز به دو صورت کلی مطرح می‌باشد:

- دو سیستم از لحاظ رله گذاری دقیقا مثل هم هستند.
- سیستم رله گذاری Main II حاوی رله‌های اصلی سیستم Main I می‌باشد.

از دو روش ذکر شده در بالا روش دوم معمول تر و رایج تر می‌باشد.

در موارد معدودی در حفاظت خطوط ۲۳۰ کیلو ولت رله گذای Main I حذف شده و خط انتقال دارای سیستم رله گذاری اصلی و پیشتیبان می‌باشد.

بررسیهای انجام شده بر روی سیستم رله گذاری موجود در اکثر موارد ترکیب رله گذاری را بعنوان یک ترکیب مناسب و پایه ای تایید می‌کند. در پاره ای موارد تفاوتهای کوچکی مشاهده می‌گردند که عبارتند از:

- حذف رله اضافه یا کاهش ولتاژ از سیستم Main I
- حذف رله Stub

مختصر کردن رله گذاری سیستم Main II بصورتی که فقط شامل رله دیستانس می‌باشد.

اضافه کردن رله جریان زیاد جهت دار سه فاز به سیستم Main I

اضافه نمودن رله الکترو مکانیکی جریان زیاد با حداقل زمان معکوس اتصال زمین جهت دار به سیستم Main II

جایگزینی رله اتصال زمین جهت‌دار لحظه ای در سیستم Main II با رله جریان زیاد لحظه ای و جریان زیاد با حداقل زمان معکوس نوترال

۲-۱۳-۲۳-۲- رله گذاری شینه

حفاظت شینه توسط رله‌های دیفرانسیل امپدانس زیاد رایج ترین نوع رله گذاری می‌باشد. همانند حفاظت کلیدهای قدرت این حفاظت نیز بصورت منحصر بفرد کاربرد دارد و خارج از سیستم‌های Main I Main II و یا اصلی پشتیبان می‌باشد.

بررسی‌های بعمل آمده در مورد حفاظت شینه‌های پستهای ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلو ولت شبکه سراسری ایران نشان دهنده استفاده اکثر پستها از رله دیفرانسیل امپدانس زیاد جریانی و ولتاژی جهت حفاظت شینه می‌باشد. هم چنین در چند مورد حفاظت شینه‌ها بصورت دوبل و براساس سیستم Main I و Main II می‌باشند.

۲-۱۳-۲۳-۳- رله گذاری ترانسفورماتورهای قدرت

همانطور گفته شد در ترانسفورماتورهای قدرت بعلت یکسان نبودن نوع رله‌ها و هم چنین زمان عملکرد آنها حفاظت با عنوان اصلی و پشتیبان نام گذاری می‌گردد. بررسی و مطالعات بعمل آمده در اکثر موارد نشان دهنده حفاظتهای مشابهی در مورد ترانسفورماتورهای پستهای مختلف می‌باشند. مهمترین تفاوتهای موجود بین رله گذاری معرفی شده در بخش فوق الذکر و آنچه که از مطالعه حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت شبکه سراسری بدست آمده عبارتست از :

- ☐ ترکیب کردن رله‌های اصلی و پشتیبان در یک مجموعه و بصورت یک سیستم
- ☐ حذف رله شار زیاد و یا جایگزینی این رله بارله اضافه ولتاژ
- ☐ حذف رله امپدانسی (دیستانس) از سیستم حفاظتی پشتیبان
- ☐ حذف رله‌های جریان زیاد و قرار دادن تنها یک رله جریان زیاد بر روی نوترال

همانطور که مشاهده می‌گردد تفاوتهای ذکر شده ترکیب اصلی رله گذاری را تغییر نمی‌دهند بعنوان مثال در تفاوتهای ذکر شده هیچگاه حذف رله دیفرانسیل که یکی از مهمترین حفاظتهای ترانسفورماتور می‌باشد دیده نمی‌شود. بعبارت دیگر تفاوت در ترکیبهای رله گذاریها نشان دهنده نقصان رله گذاری جهت حفاظت آن عنصر نمی‌باشد بلکه با ترکیبهای مختلف رله‌های حفاظتی چندین ترکیب جهت حفاظت و پوشش مناسب هر عنصر می‌توان بدست آورد.

۲-۱۳-۲۳-۴- رله گذاری راکتورهای شانت

راکتورهای شانت با سیستم حفاظت اصلی و پشتیبان مورد پوشش قرار می‌گیرند. در این سیستم‌ها نحوه حفاظت خیلی شبیه به حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت می‌باشد بطوری که مثلاً رهل‌های دیفرانسیل و افت ولتاژ در سیستم حفاظت اصلی و رله‌های امپدانسی و جریان زیاد فاز و نوترال در سیستم حفاظت پشتیبان قرار دارند. دو سیستم بصورت مستقل عمل نموده و هر کدام از مدارات قطع کلیدها توسط یکی از سیستم‌ها مورد تحریک قرار می‌گیرد. مطالعات انجام شده بر روی حفاظت راکتورهای مورد استفاده در شبکه سراسری برق ایران نشان دهنده این مطلب است که کل حفاظت‌های راکتور اعم از اصلی و پشتیبان همه در یک تابلو و بعنوان حفاظت راکتور نام گذاری شده‌اند.

۲-۱۳-۲۳-۵- رله گذاری کلیدهای قدرت

همانطور که در بخش ۹-۲ اشاره شد حفاظت‌های استفاده شده جهت کلید قدرت به حفاظت اشکال کلید، عدم هماهنگی در باز شدن کنتاکت‌های کلید و نظارت بر مدار تریپ تقسیم می‌گردند.

بررسیهای بعمل آمده در مورد حفاظت کلیدهای قدرت در پست‌ها ی۴۰۰ و ۲۳۰ کیلو ولت شبکه سراسری ایران نیز موید همین رله گذاری است. لازم به توضیح است که این رله‌ها در سیستم رله گذاری بصورت Main I و Main II و یا اصلی و پشتیبان بکار برده نشده و بصورت مختصر منحصر و منفرداً بکار می‌روند.

بررسیهای بعمل آمده بر روی حفاظت کلیدها در شبکه سراسری حاوی چند تفاوت کوچک در موارد معدودی است که عبارتند از:

- ☐ حذف حفاظت عدم هماهنگی باز شدن پلهای کلید
- ☐ استفاده از حفاظت اشکال کلید بصورت دوبل

۲-۱۳-۲۴- انواع رله‌ها

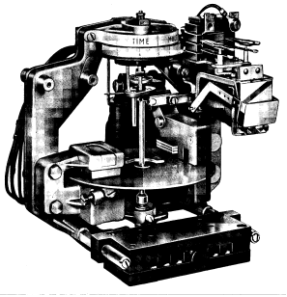
رله‌های الکترومغناطیسی دارای انواع مختلفی مثل آرمیچر جذب شونده، هسته متحرک، القایی، حرارتی و موتوری می‌باشد که عموما از اجزا مکانیکی و مغناطیسی تشکیل شده و توسط محرکهای الکتریکی (سیم پیچی یا بوبین) تحریک می‌شوند.

رله‌های استاتیکی از اجزا نیمه‌هادی مثل یکسو کننده‌ها، مبدل‌های ولتاژ، تقویت کننده‌ها، مدارات تأخیر زمانی، ترانزیستورها، دیودها و.... تشکیل شده‌اند. این رله‌ها نسبت به رله‌های الکترومغناطیسی دارای رفتار مطلوب تر بوده و قابلیت حفاظت سیستم‌های پیچیده تر را دارند.

رله‌های دیجیتالی از تکنولوژی دیجیتال و مدارات مجتمع IC بهره گرفته و قابلیت برنامه ریزی را دارا می‌باشند. پیشرفته ترین آنها رله‌های میکروپروسوری است که چندین حفاظت همزمان را انجام می‌دهند.

رله‌ها از نظر ساختار به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند :

- ☐ رله‌های الکترومغناطیسی
- ☐ رله‌های استاتیکی
- ☐ رله‌های دیجیتالی



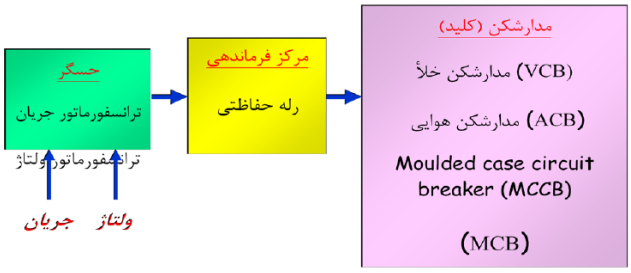
اصول عملکرد

۲-۱۳-۲۴-۱- رله‌های الکترومکانیکی

عملکرد رله‌های الکترومکانیکی براساس حرکت المانهای مکانیکی در اثر یک سیگنال الکتریکی در مدار ورودی است.

۲-۱۳-۲۴-۲- رله‌های استاتیکی

رله استاتیکی با مدار الکترونیکی متشکل از ICهای منطقی و میکروپروسسوری تحت تأثیر یک سیگنال الکتریکی در مدار ورودی کار می‌کند.



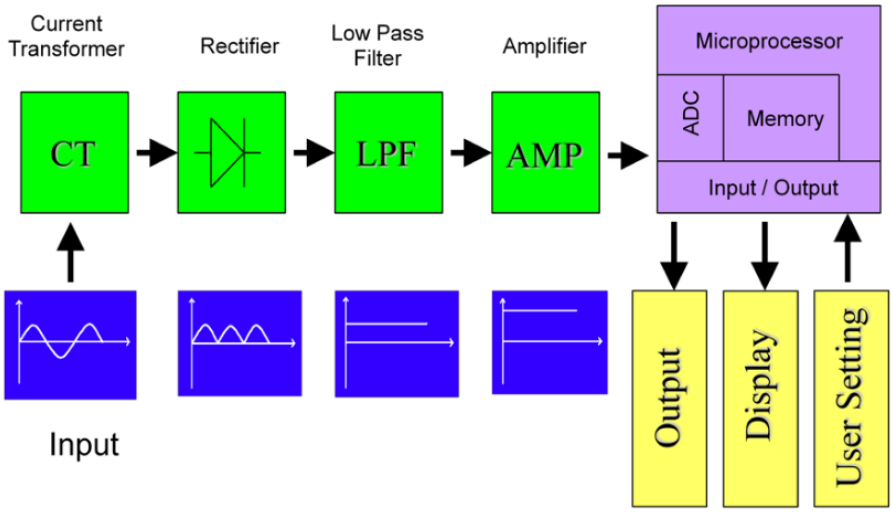
کلید مینیاتوری، کنتاکتور

مزایای رله‌های استاتیکی

- حذف حرکت مکانیکی اجزا و درنتیجه قابلیت اطمینان بالاتر

- استفاده رنج پایین تر روی ترانس جریان.
- سرعت بالاتر، امکانپذیری تریپ نیم سیکل، ریست سریع.
- قابلیت تمایز بین شرایط عادی وحالت خطا.

بلوک دیاگرام عملکرد رله غیرعددی



همچنین رله‌های حفاظتی دارای انواع زیر می‌باشند :

- رله دیستانس
- رله جریان زیاد
- رله ولتاژی
- رله دیفرانسیل
- رله فرکانسی
- رله سنکرونیزم
- رله زمانی

۲-۱۳-۲۴-۳-۱- رله دیستانس دیجیتالی

در سالهای اخیر پیشرفتهای چشمگیری در ساخت و استفاده از رله‌های دیستانس دیجیتالی صورت گرفته است بطوریکه رله‌های دیجیتالی سازندگان مختلف در شبکه برق تعدادی از کشورها نصب و بهره برداری می‌شوند. در زیر به چند نمونه از مطالعات و کارهای انجام یافته اشاره می‌شود.

یک گروه فرانسوی در سال ۱۹۸۲ گزارش ساخت یک رله دیستانس با چند میکروپروسسور را ارائه نموده اند. در این رله از ۴ میکروپروسسور ۱۶ بیتی برای انجام محاسبات امپدانسی بهره گرفته شده‌است. برای انواع اتصال کوتاه، این رله کمتر از یک سیکل، فرمان قطع را صادر می‌کند.

علاوه بر آن قطع تکفاز، عملکرد جهت دار و تشخیص نوسانات سیستم را انجام می‌دهد. این گروه در محاسبات از روش حداقل میانگین مربعات خطا بهره گرفته اند. این رله در یک خط ۴۰۰ کیلوولت مورد آزمایش قرار گرفته و رفتار مطلوب را ارائه کرده است.

در همان سال در دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی، رله دیستانس دیجیتالی با استفاده از فیلتر کالمن ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته است. از فیلتر کالمن در حالته برای تخمین حالت ولتاژها و از فیلتر کالمن سه حالته برای تخمین حالت جریانها استفاده شده‌است. فیلتر کالمن همگرایی زیاد در تخمین حالات داشته و زمان کوتاهی برای اجرا در کامپیوتر لازم دارد.

بدلیل زمان کم این تکنیک، می‌توان از هر میکروپروسسور ۱۶ بیتی بهره گرفت. در سال ۱۹۹۱ یک گروه پرتغالی از تکنیک فیلتر کالمن مودال MKF برای کاهش تأثیر نویز در تخمین پارامترهای خطوط فشار قوی ۴۰۰ کیلوولت بهره گرفتند.

در سال ۱۹۸۵ گروهی از محققین، یک رله دیستانس دیجیتالی برای حفاظت خطوط انتقال موازی طراحی کرده اند.

زمانی که یک اتصال کوتاه تکفاز روی فازهای مختلف خطوط انتقال موازی صورت می‌گیرد، رله‌ها اشتباها اتصال زمین در نظر گرفته و باعث قطع سه فاز در دو خط انتقال می‌گردد. این گروه با تجزیه و تحلیل این معضل، رله ای را طراحی نموده اند که در حالات پیچیده اتصال کوتاه، تنها فازهای اتصای را قطع می‌نماید. ساختار میکروکامپیوتری این رله زمان عملکرد بین ۰/۵ تا ۱ سیکل را تأمین می‌نماید.

در سال ۱۹۹۰، شرکت برق توکیو با همکاری یکی از شرکتها یک رله دیستانس دیجیتالی تهیه کرده اند که از توالی منفی جریان بهره می‌گیرد. این رله برای حفاظت پشتیبان دور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اتصال کوتاه در فواصل دور دارای جریان کم بوده و بنابراین تشخیص آن از جریان بار دشوار می‌باشد. به منظور حل این مشکل، رله دیستانس دیجیتال مربوط ساخته شده‌است.

در این رله تأثیر جریان بار کاهش یافته و بنابراین رله نسبت به جریان بار در طول اتصالی حساس نمی‌باشد. ترکیب سخت افزاری برای محاسبه جز منفی ساده است و احتمال خطا را کاهش می‌دهد. البته این رله تنها برای اتصال کوتاه تکفاز و دو فاز که نامتقارن هستند، بکار

می‌رود و برای اتصال کوتاه سه فاز عمل نمی‌کند. این رله هم اکنون در شبکه قدرت توکیو و برای خط ۵۰۰ KV مورد بهره برداری قرار می‌گیرد.

در سال ۱۹۹۱، یک گروه چینی موفق شدند یک رله دیستانس دیجیتالی تطبیقی را طراحی نمایند. سیستم قدرت، یک سیستم دینامیکی پیچیده است که پارامترها و حالات آن متداولاً در حال تغییر است. بنابراین در طراحی حفاظت این شبکه، تغییرات دینامیکی باید مدنظر قرار گیرد.

چنانچه رله از قبل دارای مشخصات تثبیت شده باشد، در این صورت به سختی می‌تواند خود را با تغییرات دینامیکی شبکه مطابقت دهد. بنابراین مطلوبست که رله بطور اتوماتیک خود را با تغییرات دینامیکی تطبیق دهد.

این کنترل تطبیقی تأثیرات تغییر فرکانس، مقاومت اتصال کوتاه در اتصالات تکفاز به زمین و نوسانات شبکه را بر روی حفاظت دیستانس کاهش می‌دهد. این سیستم در آزمایشگاه با مدل دینامیکی شبکه قدرت ۵۰۰ KV آزمایش شده‌است.

این نوع رله بطور وسیع برای حفاظت اصلی و پشتیبان در خطوط انتقال و همچنین برای حفاظت اتصال حلقه به حلقه سیم پیچی‌های ترانسهای قدرت بعنوان رله پشتیبان و حس کننده خطا در حالت اشکال کلید قدرت و در دسترس نبودن یکی از کانالهای مخابراتی بکار می‌رود.

اصول رله دیستانس

رله دیستانس نامی‌عمومی‌برای رله‌های امپدانسی است که از ورودیهای ولتاژ و جریان استفاده کرده و یک سیگنال خروجی را تهیه می‌نمایند. فرمان قطع زمانی صادر می‌شود که فاصله نقطه خطا از محل نصب رله کوچکتر از یک مدار بخصوص باشد.

مسافت با نسبت ولتاژ به جریان که نمایانگر امپدانس است و یا جز موهومی عبارت مختلط نسبت به ولتاژ به جریان که نمایانگر راکتانس است و یا نسبت جریان به ولتاژ که نشان دهنده ادمیتانس است، متناسب است و از روی سیگنال ولتاژ و جریان تعیین می‌شود.

رله‌های دیستانس الکترومکانیکی در ۱ تا ۱/۵ سیکل عمل نموده و رله‌های دیستانس استاتیکی (دیجیتالی) بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ سیکل عمل می‌کنند.

مشخصات رله‌های دیستانس بصورت گرافیکی بر حسب دو متغیر R و X و یا Z و θ نشان داده می‌شود. R مقاومت، X راکتانس، Z امپدانس و θ زاویه تأخیر جریان نسبت به ولتاژ است.

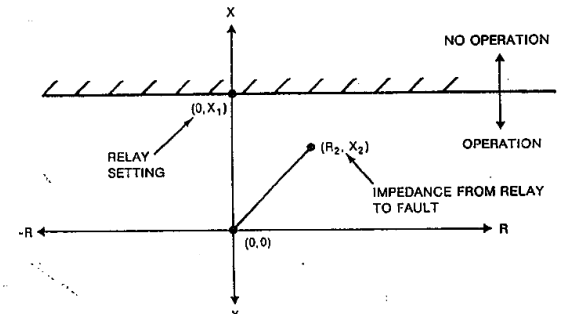
مشخصات رله و امپدانس خط بر روی دیاگرام R-X رسم می‌شود. و این دیاگرام نشان دهنده مکان هندسی امپدانسهایی است که در جهت قطع رله واقع می‌شوند و همچنین شامل

امپدانس‌های خلاف قطع رله پشت رله بوده که در این جهت عمل قطع توسط رله صورت نمی‌پذیرد.

الف – رله دیستانس نوع راکتانسی

این نوع رله جز موهومی‌امپدانس مختلط سیستم X را اندازه می‌گیرد. همانگونه که در شکل مشاهده می‌گردد.

مشخصه رله راکتانسی در صفحه مختصات R-X بصورت یک خط راست موازی با محور Xهاست.



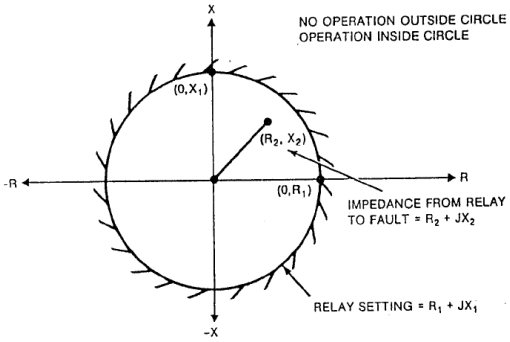
دیاگرام R-X مربوط به رله راکتانسی

رله راکتانسی هنگامی‌عمل می‌کند که مقدار راکتانس خط از محل رله تا نقطه خطا که با X نشان داده شده‌است، از راکتانس X۱ کوچکتر یا مساوی آن باشد. راکتانس X۱ راکتانس تنظیم رله می‌نامند.

این نوع رله به راکتانسها در جهت منفی نیز پاسخ می‌دهد بنابراین رله غیر جهت دار است و چون مقاومت قوس، تأثیری در عملکرد این رله ندارد و امکان عملکرد رله در جریان بار وجود دارد، بنابراین رله دارای امکانات اضافی برای جدا کردن مقاومتها و جهت راکتانس منفی می‌باشد.

ب – رله دیستانس نوع امپدانسی

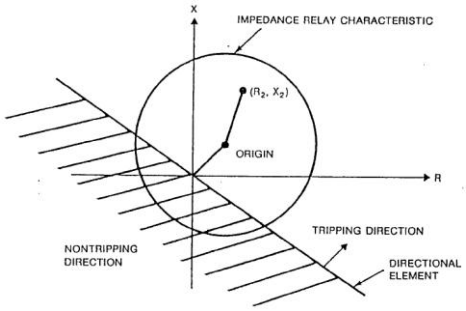
رله امپدانسی به دامنه امپدانس مختلط Z پاسخ می‌دهد. مشخصه رله امپدانسی، دایره‌ای در دیاگرام R-X می‌باشد که در شکل نشان داده شده‌است.



دیاگرام R-X مربوط به رله امپدانسی

رله امپدانسی وقتی عمل می‌کند که مقدار امپدانس خط بین محل رله و نقطه اتصالی، یعنی Z۲=R۲+JX۲، داخل دایره به شعاع $\sqrt{R^2+X^2}$ واقع شود. امپدانس Z=R۱+jX۱، امپدانس تنظیم رله نامیده می‌شود.

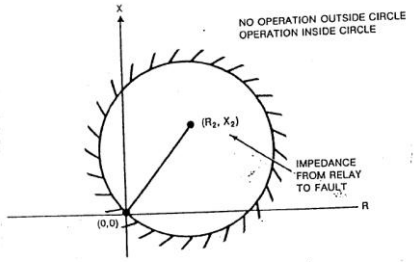
برای اینکه رله امپدانسی جهت دار شود، همانطوری که در شکل نشان داده شده‌است باید دارای امکانات اضافی دیگری باشد، تا جهت منفی ربعهای دوم، سوم و چهارم را جدا می‌کند.



دیاگرام R-X رله امپدانسی جهت دار

ج – رله دیستانس نوع MHO

رله نوع mho، ادمیتانس مختلط Y را اندازه گرفته و برخلاف رله امپدانسی، جهتدار می‌باشد. رله دیستانس نوع mho، در صفحه مختصات R-X مطابق شکل مشخصه دایره ای شکل دارد.



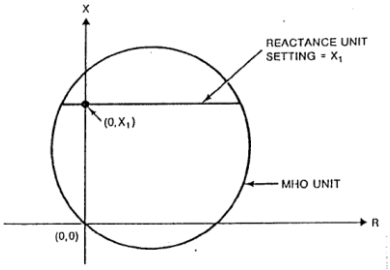
دیاگرام R-X مربوط به رله mho

رله mho هنگامی‌عمل می‌کند که امپدانس دیده شده ما بین محل رله و نقطه اتصالی، یعنی Z۲=R۲+jX۲، درون مشخصه mho واقع گردد. از آنجا که قسمت اعظم مشخصه دایره‌ای شکل در ربع اول واقع می‌شود، بنابراین رله mho، جهت دار است.

برای کاربردهای بخصوص، مشخصه mho به سمت جلو و یا در جهت معکوس شیفت پیدا می‌کند. بعنوان مثال برای کاربرد این رله در تشخیص از دست دادن تحریک در ژنراتورهای سنکرون، مرکز مشخصه آن بر روی محور Xها قرار گرفته و در جهت منفی شیفت پیدا می‌کند.

مشخصه رله دیستانس نوع راکتانسی نظارت شده توسط mho

جهت کاربرد در خطوط کوتاه، ترکیبی از یک واحد راکتانسی و یک واحد mho مورد استفاده قرار می‌گیرد. واحد mho، واحد استارت نامیده می‌شود و جهت دار عمل می‌کند. کنتاکت‌های قطع دو واحد بصورت سری قرار می‌گیرند بنابراین فرمان قطع زمانی صادر می‌شود که نقطه اتصالی در منقطه مشترک بین دو مشخصه قرار داشته باشد.



دیاگرام R-X مربوط به رله راکتانسی نظارت شده توسط mho

۲-۱۳-۲۴-۴- رله جریان زیاد

متداولترین نوع رله که در شبکه‌ها نصب می‌گردد، رله جریان زیاد می‌باشد. این نوع رله هم برای حفاظت اصلی و هم بعنوان حفاظت پشتیبان مورد استفاده قرار می‌گیرد. رله‌های جریان زیاد تأخیری برای ارسال فرمان قطع با تأخیر زمانی مشخص، رله‌های جریان زیاد آنی برای

ارسال فرمان قطع با سرعت بالا ۰/۵ تا ۲ سیکل و رله‌های جریان زیاد جهت دار برای قطع جریانهای اتصالی در یک جهت بخصوص به کار می‌روند.

الف – رله جریان زیاد آنی

این نوع رله که از مدتها قبل در صنعت مورد استفاده قرار گرفته دارای سیستم کشش الکترومغناطیسی و سیلندر القایی است. اخیراً نوع دیجیتالی این رله موجود می‌باشد که مشخصات مشابهی را ارائه کرده و علاوه بر آن زمانهای برگشت سریعتری را تهیه می‌نماید.

رله‌های جریان زیاد آنی از نوع الکترومغناطیسی به دو دسته تقسیم می‌شوند. نوع سولنوئیدی یا پیستونی که در این نوع رله نیروی محرکه از طریق سولنوئید کلاف تهیه می‌گردد و پیستون از آهن نرم است. حد جریان عمل کننده بستگی به موقعیت پیستون داشته و از طریق تنظیم مکان پیستون، جریان عمل کننده قابل تغییر است.

نوع دیگر رله آنی، نوع زبانه ای است که در این حالت نیروی محرکه مغناطیسی، برای جذب زبانه و برقراری اتصال در کنتاکتها باید بر نیروی کششی فنر غلبه نماید.

ب – رله جریان زیاد تأخیری

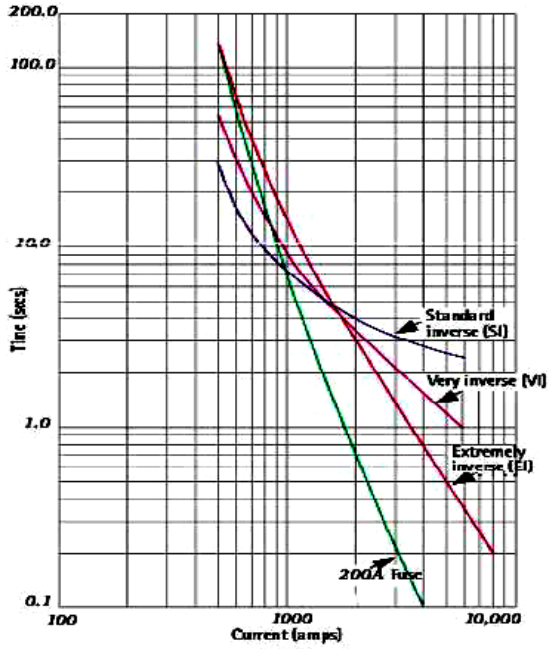
اکثریت رله‌های جریان زیاد تأخیری که در سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، از نوع دیسک القایی بوده و شبیه کنتورهای سنجش وات–ساعت در سیستم جریان متناوب عمل می‌کنند و مشخصه جریان–زمان متنوعی را ارائه می‌نمایند.

این رله‌ها دارای دو تنظیم هستند. یکی تنظیم تپ جریان که بصورت گسسته انجام می‌گیرد و دیگری مشخصه زمانی که توسط مکان اولیه کنتاکت متحرک تعیین می‌شود. این رله‌ها دارای مشخصه معکوس زمانی می‌باشند بدین معنا که در جریانهایی که از مقدار تنظیم کمی‌بیشتر باشند، کندتر عمل می‌کنند و در جریانهای بالاتر سرعت بیشتری خواهند داشت.

با افزایش جریان، بجایی می‌رسد که تأخیر زمانی مقدار ثابتی بخود می‌گیرد و کاهش نمی‌یابد و این در نتیجه اشباع الکترومغناطیسی است.

با مانور بر روی طراحی مسیر مغناطیسی می‌توان مشخصه‌های جریان–زمان متفاوت تهیه نمود.

۲-۱۳-۲۵- مقایسه مشخصه‌های رله‌های معکوس زمانی



کاربرد و انواع

با توجه به جریان تنظیمیو زمان عملکرد مشخصه‌های مختلف زمان– جریان بصورت زیر خواهیم داشت:

- ☐ زمان معین (Definite Time)
- ☐ معکوس با زمان حداقل معین استاندارد IDMT
- ☐ بسیار معکوس Very Inverse

در فیدرهای توزیع و فوق توزیع با سیستم ولتاژ کمتر از ۳KV که تغذیه فقط از یک طرف است، در این مدارات با فیوزوها هماهنگ می‌شوند.

در سطوح ولتاژ بالا و در خطوط انتقال از نوع جهت دار یا غیر جهت دار بعنوان حفاظت و پشتیبان رله‌های حفاظتی اصلی با عملکرد آنی استفاده می‌شود.

در رله‌های اتصال زمین برای تشخیص خطاهای زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند.

الف– رله Definite Time

در صورتیکه زمان کار رله برای همه جریان‌های بزرگتر از Iset ثابت باشد رله را D.T می‌نامند.

هنگامیکه امپدانس شبکه و جریان خطای سیستم بصورت گسترده تغییر می‌کند و همچنین زمانی که همراه با مشخصه معکوس استفاده شود، این مشخصه برای هماهنگی رله‌های پشت سر هم مناسب است.

در این صورت مزیت مشخصه معکوس در جریان‌های بالای خطا با مزیت DT در مقادیر کوچک جریان خطا، توام بدست می‌آید.

این رله‌ها در کاربردهای زیادی قابل استفاده اند. اما در شرایطی که جریان خطا با افزایش فاصله از منبع توان کاهش می‌یابد، نمی‌توانند جایگزین رله‌های IDMT یا VI شوند.

ب – منحنی IDMT

مشخصه زمان– جریان رله IDMT استاندارد در جریان‌های کمتر، معکوس بوده و در نهایت شکل DT را پیدا می‌کند. دارای زمان عملکرد کمتر در جریان‌های بزرگتر است.

روابط ریاضی مختلفی برای رله‌های IDMT وجود دارد که از جمله آنها دو رابطه ریاضی ساده شده زیر است:

$$t = 3(LogM)^{(-1)} \& t = 0.14/(M^{0.12} - 1)$$

که در این روابط :

t : زمان عملکرد رله بر حسب ثانیه

M : ضریبی از جریان تنظیمی‌بر حسب (PU)

از رابطه اول نتیجه می‌شود که در دو برابر جریان تنظیمی۱۰S و در پنج برابر ۴/۳ و در ده برابر ۳s زمان عملکرد رله خواهند بود.

ج– منحنی VI

از مشکلات رله‌های IDMT این است که با نزدیکتر شدن به منبع، زمان برطرف شدن خطا افزایش می‌یابد. اگر اختلاف فاحشی در سطح اتصال کوتاه بخش‌های متوالی سیستم باشد، با رله VI می‌توان وضعیت را بهبود بخشید.

در این رله‌ها مشخصه زمان– جریان در دامنه بزرگتری از جریان معکوس است و شیب مشخصه نیز بزرگتر است.

مشخصه این رله‌ها به گونه‌ای است که زمان عملکرد رله با کاهش جریان از ۷ به ۴ برابر به دو برابرمی‌رسد.

بطور کلی جایی که جریان خطا بین نقاط رله گذاری، اختلاف زیادی با هم دارند، استفاده از VI بهتر است. روابط ریاضی ساده ارائه شده برای رله VI عبارت است از:

$$t = 1.(LogM)\hat{}(-1)\&t = 13.5/(M-1)$$

۱۷. ۵-۳.۲۷۵-۱.

د– منحنی EI

مشخصه IDMT با مشخصه فیوزها تفاوت بسیاری دارد. مشخصه زمان– جریان رله‌های EI برای هماهنگ کردن با فیوزها در فیدرهای توزیع که در هنگام وصل به منبع در معرض جریان‌های شدید هستند، بسیار مناسب است.

زمان عملکرد طولانی این رله‌ها، در مقادیر حداکثر بار عادی، آنها را برای هماهنگی با فیوزها مناسب می‌سازد.

کاربرد دیگر این رله‌ها همراه با Recloser در مدارهای توزیع ولتاژ کم است.

روابط ساده ریاضی برای رله‌های فوق بدین صورت است :

$$t = 0.(LogM)\hat{}(-3)\&t = 80/(M\hat{}2) - 1)$$

از رابطه نخست زمان عملکرد برای دو برابر، پنج برابر و ده برابر به ترتیب ۲۲، ۱۷، ۰ ثانیه بدست می‌آید. در این رله‌ها در دامنه بزرگتری از جریان، مشخصه معکوس است. به علاوه شیب مشخصه بزرگتر و در جریان‌های بسیار بزرگتر به DT میل می‌کند.

۲–۱۳–۲۶– Relay setting

۲–۱۳–۲۶–۱– تنظیم جریان و تنظیم زمان

جریان عملکرد رله در واقع ۵ تا ۳۰ درصد از جریان تنظیمی‌رله بیشتر است. در رله‌های امروزی بصورت دیجیتالی از روی خود رله بوسیله Key Pad مخصوص تنظیم می‌شود و یا از طریق نرم افزار به رله اعمال می‌شود.

جریان ممکن است برحسب آمپر و یا بصورت درصدی از جریان نامی‌روی رله تنظیم شود. بعنوان مثال ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۷۵، ۲۰۰ درصد جریان نامی‌باشد.

زمان عملکرد رله نیز مانند جریان تنظیم می‌شود که یا بر حسب ثانیه و اعدادی است که نشان دهنده یک منحنی مشخصه است، که به اصطلاح آن را ضریب تنظیم زمانی TMS می‌گویند.

معمولاً TMSها از ۰/۱ تا ۱ بیان می‌شود و گاها از ۱ تا ۱۰.

در صورتی که TMS برابر یک باشد، به ازای یک جریان معینی بیشترین زمان عملکرد حاصل می‌شود و برعکس اگر روی ۰.۱ باشد، کمترین زمان عملکرد بدست می‌آید.

- **Cordination of over Current Relay**

موارد زیر برای تنظیم و هماهنگی رله‌ها مورد نیاز است:

نمودار تک خطی سیستم قدرت که نوع و مقادیر نامی‌سیستم و وسایل حفاظتی و CTها را نشان دهد.

امپدانس همه المنت‌های سیستم برحسب اهم و یا P.U.

حداکثر و حداقل جریان اتصال کوتاه که انتظار می‌رود از وسایل حفاظتی عبور کند.

مقادیر جریان راه اندازی، زمان راه اندازی و.....

۲-۱۳-۲۶-۲- قوانین اساسی هماهنگی رله‌های Over Current

تا حد ممکن رله‌ها با مشخصه‌های عملکرد یکسان باشند. باید اطمینان حاصل کرد که دورترین رله از منبع، دارای تنظیم جریانی برابر یا کمتر از تنظیم جریان رله‌های پشت سرخود باشد.

رله‌ها در ابتدا به گونه ای تنظیم می‌شوند که حداکثر جریان خطا را در کمترین زمان ممکن از شبکه جدا کند. سپس به بررسی آن برای عملکرد در کمترین جریان خطا پرداخته می‌شود.

۲-۱۳-۲۶-۳- رله جریان زیاد جهت دار

این رله‌ها برای قطع جریانهای اتصالی در یک جهت بخصوص بکار رفته و از قطع جریانهای بار اتصالی در جهت دیگر خودداری می‌نماید. کاربرد این نوع رله‌ها در شبکه‌های دارای خطوط غیر شعاعی و یا هنگامی‌است که جهت جریان مهم بوده و باید از جاری شدن جریان بار یا اتصالی در یک جهت جلوگیری گردد. یک نوع متداول از این رله‌ها، رله اتصال زمین جهت دار می‌باشد.

یک ورودی مرجع یا پلاریزه کننده مورد نیاز است تا کنترل جهت را تأمین نماید. ورودی پلاریزه کننده می‌تواند یک جریان یا یک ولتاژ و یا هر دو باشد. ساختمان رله‌های الکترومکانیکی از این نوع شامل یک عضو جریان زیاد تأخیری با دیسک القایی است که یک عضو جهت دار نیز به آن متصل است. زمانی که جریان در جهتی جاری شود که باید قطع گردد، کنتاکتهای قسمت تشخیص جهت بسته شده و به قسمت دیسک القایی اجازه می‌دهد که در صورت افزایش جریان از حد تنظیمی، فرمان قطع را صادر نماید.

۲-۱۳-۲۶-۴- رله عدم تقارن جریانی

رله عدم تقارن جریانی، حفاظت در مقابل جریانهای سه فاز نامتقارن را تأمین می‌کند و بر دو نوع است.

رله بالانس جریان:

این رله بر دو نوع است. نوع الکترومکانیکی آن از دو یا سه دیسک القایی تشکیل شده‌است و عدم تقارن جریانها باعث عملکرد رله می‌شود. نوع دیجیتالی آن می‌تواند شامل مجموعه‌ای باشد که چندین حفاظت را هم زمان انجام می‌دهد و در کنار آنها اختلاف جریانهای فازها را نیز بررسی می‌کند.

رله توالی منفی:

نوع الکترومکانیکی آن دارای یک رله جریان اضافی با دیسک القایی و یک فیلتر توالی منفی است که تنها در مقابل مولفه توالی منفی جریانها پاسخ می‌دهد. نوع دیجیتالی آن نیز شامل یک رله جریان زیاد دیجیتالی است.

۲-۱۳-۲۶-۴-۱- رله جریان زیاد دیجیتالی

رله‌های جریان زیاد دیجیتالی که توسط سازندگان رله‌ها ساخته شده‌اند دارای مشخصه‌های جریان- زمان توسط مدارات RC یا مدارات زمانی دیجیتالی می‌باشند. منحنی‌های مشخصه جریان– زمان و تنظیم‌های جریانی، مشابه رله‌های القایی است. این نوع رله‌ها همان کاربردهای رله‌های القایی را داشته و از طرف دیگر بدلیل اینکه ارتعاشات و شوک‌های لرزان را حذف می‌کند و بازگشت سریعتری دارد، مفیدتر می‌باشد.

یکی از شرکت‌های برق در سال ۱۹۹۰ مشخصات یک رله جریان زیاد معکوس با انعطاف پذیری مطلوب را با استفاده از میکروپروسسور ارائه نموده است. در این رله از تکنیکهای جدید نمونه برداری دیجیتالی و روشهای نوین فیلتر کردن و پردازش بهره گرفته شده و قابلیت اعتماد بالاتری را تأمین می‌نماید.

در سال ۱۹۹۱ یک محقق کانادایی از تکنولوژی میکروپروسسوری برای طراحی یک رله جریان زیاد زمانی یا چندین منحنی مشخصه استفاده نموده است. این رله ۵ یا ۶ منحنی را تهیه می‌کند که هر کدام بطور جداگانه تنظیم شده و خروجی‌های مستقل را دارا می‌باشند. در این رله از میکروپروسسورهای ۸ بیتی بهره گرفته شده‌است.

۲-۱۳-۲۶-۵- رله ولتاژی

رله‌های ولتاژی به دو نوع ولتاژ کم و ولتاژ زیاد تقسیم می‌شوند که در حالت‌های نقصان و ازدیاد ولتاژ در شبکه عمل می‌نمایند. علاوه بر این، حالت عدم تقارن ولتاژ در سه فاز سیستم را

حس نموده و فرمانهای کنترلی لازم را صادر می‌کنند. در بعضی از موارد، از رله ولتاژ زیاد در ترکیب حفاظت تفاضل ولتاژ بهره گرفته می‌شود. بنابراین چنانچه اختلاف دو ولتاژ از یک حد مشخص فراتر رود، رله عمل می‌کند.

الف – رله ولتاژ کم

رله ولتاژ کم رله ای است که با کاهش ولتاژ مجموعه ای از کنتاکت‌ها را متصل می‌کند. این رله هم بصورت الکترومکانیکی و هم بصورت دیجیتالی طراحی و ساخته می‌شود و به دو نوع تقسیم می‌گردد :

- **رله با تأخیر زمانی:** تنظیم ولتاژی با تپ‌های گسسته قابل انجام است و زمان تأخیر در ارسال فرمان قطع نیز قابل تنظیم می‌باشد. در حالت الکترومکانیکی، اینکار با طراحی دیسک القایی، بصورت پیوسته قابل تغییر است و در حالت دیجیتالی، بصورت پله‌های گسسته ممکن می‌باشد.
- **رله آنی:** در این حالت نیز تنظیم تپ‌های ولتاژ وجود دارد که در مورد رله الکتر مکانیکی زمان قابل تنظیم نمی‌باشد ولی در مورد رله‌های دیجیتالی در یک محدوده کوچک قابل تغییر می‌باشد.

ب – رله ولتاژ زیاد

رله ولتاژ زیاد در مقابل افزایش ولتاژ عمل نموده و فرمانهای کنترلی را صادر می‌نماید. این نوع رله در موارد
زیر بکار می‌رود.

ج– حفاظت سیستم در مقابل اضافه ولتاژ

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

د– عدم تقارن ولتاژ فازها

رله ولتاژی، عدم تقارن ولتاژ در فازها را در حالت اتصال کوتاه و اشکال در فیوز ثانویه ترانس ولتاژ 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.
همچنین این رله‌ها می‌توانند برای تشخیص عدم تقارن ولتاژ که در سیستم‌های سه فاز می‌آید نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. اینکار با اندازه‌گیری توالی منفی ولتاژ صورت می‌گیرد. رله اضافه شار یا اضافه تحریک: رله اضافه شار بر مبنای اندازه‌گیری نسبت ولتاژ به فرکانس V/HZ عمل می‌نماید. این انتخاب از آنجا ناشی می‌شود که شار موجود در هسته با نسبت ولتاژ به فرکانس رابطه مستقیم دارد. این رله دارای مشخصه عملکرد زمان معکوس می‌باشد برای تغییرات زیاد V/HZ، در زمان کوتاهتری عمل می‌نماید بطوریکه تغییرات کوچک V/HZ تأخیر طولانی تری را بخود اختصاص می‌دهد. معمولاً در این رله‌ها ضریب زمانی تعبیه می‌گردد تا هماهنگی در حفاظت شبکه قابل اجرا بوده و هر گونه متخصات رله گذاری و تنظیم رله‌ها ممکن گردد.
رله ولتاژ زیاد به دو طریق الکترومکانیکی و دیجیتالی ساخته می‌شود. نوع الکترومکانیکی بر پایه دیسک القایی استوار است. وقتی ولتاژی بالاتر از ولتاژ تنظیمی‌رله اعمال شود کنتاکتهای باز به سمت بسته شدن حرکت می‌کنند و زمان عملکرد به درصد اضافه ولتاژ بستگی دارد. بنابراین مشخصه عملکرد معکوس را دارا می‌باشد.
رله‌هایی که برای حس کردن اتصال زمین بکار می‌روند دارای فیلترهایی هستند که‌هارمونیک سوم ولتاژ را جدا کرده و از عمل کردن رله بر پایه‌هارمونیکهای سوم ولتاژ که در کارکرد نرمال ژنراتورها پدید می‌آید جلوگیری می‌نماید. رله‌های نوع دیجیتالی نیز همان مشخصه‌ها را ارائه نموده و توانایی ایستادگی در مقابل تنشهای لرزشی را نیز دارا هستند.
رله‌های ولتاژ زیاد تأخیری دارای دو تنظیم هستند. یکی تنظیم ولتاژ که با تپ‌های گسسته صورت می‌گیرد و دیگری تنظیم تأخیر زمانی است که در حالت الکترومکانیکی بصورت پیوسته و در دیجیتالی بصورت گسسته قابل تنظیم است. در مورد رله‌های ولتاژ زیاد آنی تنها تنظیم ولتاژ آستانه مطرح است و پس از افزایش ولتاژ از حد مربوطه، رله بلافاصله عمل خواهد نمود.

۲-۱۳-۲۶-۶- 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 گردد، 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 اتصالهای خارج از منطقه حفاظت شده را نمی‌بیند و همچنین این رله اتصالیهای بین دورهای 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 براحتی توسط خطاهای ترانسفورماتورهای جریان تأثیر می‌پذیرد. این نوع رله، در مقایسه با بقیه رله‌های دیفرانسیل دارای حساسیت کمتری است بخصوص زمانی که برای اتصالهای زمین با مقادیر کم مورد استفاده قرار گیرد.

در شرایط عادی، جریانی که از ترانسفورماتورهای جریان دو طرف می‌گذرد برابر است و بنابراین باید جریان ثانویه ترانسفورماتورها نیز یکسان باشند تا جریانی از رله عبور نکند.

معمولاً ترانسفورماتورهای جریان دقیقاً نسبت تبدیل را ارائه نمی‌نمایند. بنابراین اگر از رله دیفرانسیل جریان زیاد استفاده می‌گردد، این رله باید بطریقی تنظیم گردد که ماکزیمم جریان خطای ترانسفورماتورها 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

رله‌های دیفرانسیل درصدی در شینه‌ها، ترانسفورماتورها، موتورها و ژنراتورها مورد استفاد 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 فیلترهارمونیک 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، ژنراتورو موتور بکار می‌رود.

ج – رله دیفرانسیل امپدانس زیاد

رله دیفرانسیل امپدانس زیاد برای حفاظت شینه و سیم پیچی ترانسفورماتور و به صورت رله دیفرانسیل جریانی و یا رله دیفرانسیل ولتاژی بکار می‌رود. برای اتصالهایی خارج از منطقه حفاظتی خطای زیادی در ترانسفورماتور جریان مربوطه رخ می‌دهد و ولتاژی بالاتر از حد عادی بر روی رله بوجود می‌آید و از این ولتاژ زیادی بر روی ترانسفورماتور جریان قرار می‌گیرد و جریان تحریک ترانسفورماتورهای جریان را افزایش می‌دهد. بنابراین جریانهای خطا در ترانس‌های جریان ترجیح می‌دهند بجای عبور از امپدانس بالای رله، از امپدانس مغناطیسی معادل ترانسهای جریان عبور کنند و برای جلوگیری ازاین عمل از مقاومت متغیر موازی با رله استفاده می‌شود تا این ولتاژ در یک حد قابل قبول باقی بماند.

رله الکترومکانیکی از این نوع دارای یک واحد ولتاژ بالا و یک واحد جریان زیاد آنی است. واحد ولتاژ بالا با ثانویه موازی شده ترانسهای جریان متصل است. دامنه ولتاژ رله تابعی از محل اتصالی (داخلی یا خارجی)، مقاومت طرف ثانویه ترانس جریان، رفتار ترانس جریان، نسبت تبدیل ترانس جریان و دامنه جریان اتصال کوتاه می‌باشد. یک مقاومت غیر خطی در رله، ولتاژ اعمال شده به آن را محدود می‌کند. واحد جریان زیاد لحظه‌ای بصورت سری با مقاومت خطی قرار گرفته است. این رله فرمان قطع را در زمان ۰/۵ تا ۱/۵ سیکل صادر می‌کند و بنابراین دارای سرعت بالایی است.

د– رله دیفرانسیل پایلوت

این نوع رله دارای سرعت بالا 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 سیمی‌کابل است و ارتباط جریانی از طریق کابل تأمین می‌گردد.

نوع دوم پایلوت جریان کاربر PLC است. در این سیستم جریان فرکانس زیاد که فرکانس آن بین ۳ تا ۲۰۰ کیلوهرتز می‌باشد، از طریق یکی از سیم‌های خط انتقال به گیرنده‌ای واقع در سر دیگر خط منتقل می‌شود. در این سیستم معمولاً زمین و سیم زمین بجای سیم برگشت عمل می‌کنند.

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

این نوع رله‌گذاری شامل دو رله در دو انتهای خط راست که توسط سیم پایلوت، جریان کاربر و یا میکروویو بهم متصل می‌شوند. خروجی سه ترانسفورماتور جریان به شبکه توالی اعمال می‌شود. این شبکه یک جریان ترکیبی که متناسب با جریان خط است تولید می‌کند و پلاریته آن متناسب با جهت جریان است.

هر رله شامل یک عضو محدود کننده و یک عضو عمل کننده می‌باشد. عضو محدود کننده با مسیر جریانی پایلوت سری بوده و عضو عمل کننده هر رله موازی با مسیر جریانی پایلوت واقع می‌شود.

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

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

هـ – رله دیفرانسیل دیجیتالی

رله دیفرانسیل در شبکه‌های قدرت کاربرد وسیعی دارد و امروزه نوع دیجیتالی آن توسط شرکتها به بازار عرضه می‌شود. رله‌های دیفرانسیل باید در شرایطی که قسمتDC جریان زیاد باشد و اشباع در ترانسفورماتورهای جریان رخ دهد، بتوانند وظیفه خود را انجام دهند. بنابراین باید یکی از تکنیکهای زیر بکار گرفته شود.

۱- زمان عملکرد رله بزرگ انتخاب شود که جز DC جریان میراشده و جریان‌های خروجی ترانسهای جریان قابل اعتماد باشند.

۲-رله بطریقی برنامه گرفته باشد که اطلاعات مطلوب را از جریان خروجی ترانس جریان، درحالت اشباع،

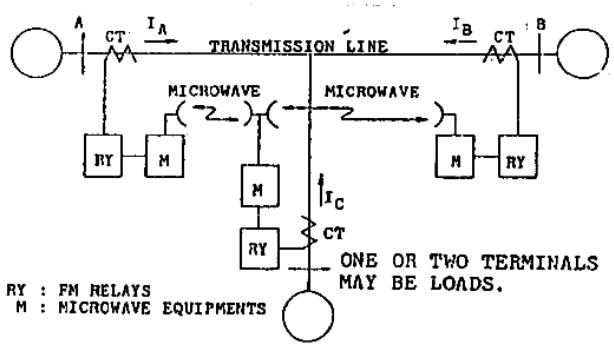
استخراج نماید. چنین رله ای در حالت امپدانس بالا شامل یک فیلتر فرکانسی است که‌هارمونیک‌های مورد نیاز خود را از جریانهای ثانویه که دارای اغتشاش است، برداشت نماید.

۳- رله از ترانسفورماتورهای جریانی که در شرایط اتصالی به اشباع نمی‌روند، بهره گیرد. البته این کار راه حل مناسبی نیست. کوپلرهای خطی مثل ترانسفورماتورهای جریانی که شامل هسته آهنی نباشند، مشکل اشباع را ندارند، اما حساسیت این نوع رله‌ها در شرایطی که جریان اتصالی زیاد باشد، محدود می‌گردد.

۴- رله بطریقی طراحی گردد که بتواند قبل از اشباع ترانس جریان به خروجی ترانسفورماتورهای جریان سریعاً پاسخ بدهد. که یک شرکت سازنده رله بهمراه یک شرکت مشاور پس از بررسی و ارائه مقالات اقدام به ساخت رله دیفرانسیل دیجیتالی نموده که در آن این روش را برگزیده اند.

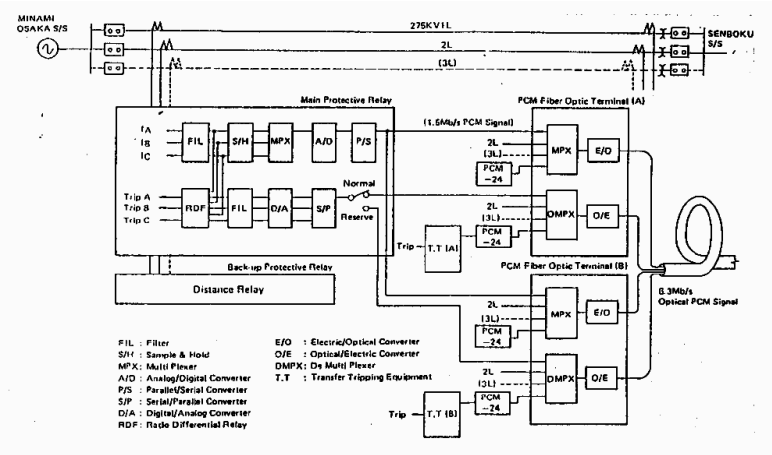
دو شرکت ژاپنی با استفاده از تکنولوژی میکروویو برای ارسال اطلاعات یک رله دیفرانسیل با حاملهای جریان بصورت FM که با اختصار رله FM نامیده می‌شود، طراحی کرده اند. در این رله مقادیر لحظه‌ای جریان ترمینالها توسط مدولاتورهای فرکانسی و از طریق کانالهای شبکه ارتباطات میکروویو انتقال می‌یابد. با اینکار رله‌ای با حساسیت زیاد و قدرت تشخیص بالا جهت تمایز اتصالیهای درونی و برونی تهیه شده‌است.

ساختار رله‌گذاری FM برای حفاظت خط انتقال سه ترمیناله در شکل نشان داده شده‌است.



مشکلاتی از قبیل تداخل القا الکترومغناطیسی در حفاظت پایلوت و افزایش اطلاعات انتقالی، متخصصان شرکتهای برق کانسایی و میتسوبیشی را بر آن داشت که از رفتار غیر القایی و پهنای باند فیبرنوری بهره گرفته و در سال ۱۹۸۴، فیبرنوری را بعنوان کانالهای ارتباطات جهت حفاظت سیستم کابلی EHV بکار گیرند.

بلوک دیاگرام سیستم در شکل ذیل مشاهده می‌شود. انتقال اطلاعات توسط فیبر نوری، تداخل القای الکترومغناطیسی و اغتشاش در کانال ارتباطی را کاهش داده و قابلیت اعتماد سیستم را افزایش می‌دهد.



بلوک دیاگرام سیستم

و– 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 پایین 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.

بطور کلی در حالت اضافه بار، فرکانس ژنراتورها کاهش یافته و از طریق عملکرد رله فرکانس پایین بارهای از قبل تعیین شده خارج می‌شوند و در نتیجه می‌توان از تولید برای تأمین بارهای بحرانی استفاده نمود.

ز– رله سنکرونیزم

این رله زمانی بکار می‌رود که دو یا چند فیدر به یک باس مشترک متصل می‌گردند. اتصال موفقیت آمیز 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، رله ای 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. برخلاف 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 سنکرون که بصورت سری قرار گرفته است از اتصال جلوگیری می‌کند.

کنتاکت رله کنترل سنکرون وقتی بسته می‌شود که اختلاف زاویه فاز در دو طرف کلید از مقدار مشخص کمتر بوده و همچنین اختلاف ولتاژ بین دو طرف مقدار کمی‌را دارا باشد. رله سنکرون کننده به دو طریق مورد استفاده قرار می‌گیرد. می‌توان این رله را بعنوان ناظر در اتصال دستی ژنراتور به شبکه مورد استفاده قرار داد. طریق دیگر استفاده از رله سنکرون کننده در اتصال اتوماتیک ژنراتور به شبکه است که در این حالت علاوه بر اینکه شرایط سنکرونیزم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، فرمانهایی از طرف رله سنکرون کننده به سیستمهای تنظیم فرکانس و ولتاژ ژنراتور ارسال می‌گردد و اتصال کاملا اتوماتیک صورت می‌گیرد.

ک- 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 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 استاتیکی و مکانیکی این رله موجود می‌باشد که نوع مکانیکی شامل موتور بوده و به دو نوع تقسیم می‌شود. رله زمانی با موتور جریان متناوب موتور سنکرون و رله زمانی با موتور جریان دائم. نوع دیجیتالی این رله‌ها دارای قسمتی است که تابع تأخیر را تهیه نموده و فرمان قطع یا وصل کنتاکتهای کنترلی را صادر می‌نمایند.

این رله‌ها علاوه بر سیستمهای حفاظت در تجهیزات کنترل اتوماتیک و فرایند صنعتی مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. این رله‌ها در محدوده‌های مختلف ساخته شده و از سطح چند صدم ثانیه تا دهها ساعت را پوشش می‌دهند.

۲-۱۳-۲۷-مقایسه بین رله‌های معمولی و دیجیتالی

هنگام وقوع حادثه در شبکه، اغتشاشات و اثرات نامطلوب آن در شبکه توزیع شده و تجهیزات سیستم را به نوعی تحت تأثیر قرار می‌دهند که این تأثیرات باید حذف و یا به حداقل برسند که مستلزم جدا نمودن هر چه سریعتر قسمتهای اتصالی شبکه قدرت بوسیله سیستم

حفاظت می‌باشد. سیستم حفاظت یا رله‌ها، وقوع خطا یا دیگر اغتشاشات سیستم را تشخیص می‌دهد و نهایتا از طریق باز و بسته کردن کنتاکتهای خود، اطلاعات و فرمانها را ارسال می‌نماید.

معمولاً رله مستقیما سیگنالی به تجهیزات عمل کننده ارسال می‌کند و اصلاح شبکه را انجام می‌دهد و در مواردی باز و بسته شدن کنتاکتهای رله، سیستم کنترل را مطلع کرده و این سیستم با پردازش اطلاعات ارسالی از تجهیزات دیگر، طریقه مقابله با اغتشاش سیستم را بر می‌گزیند و فرمان‌های کنترلی لازم را ارسال می‌نماید. بعبارت دیگر، رله عمل احساسگر را در شبکه قدرت انجام داده و فرمانهای قطع و وصل را نیز ارسال می‌نماید تا شبکه قدرت بموقع و به بهترین شکل اصلاح گردد.

نوع معمول رله‌ها، دارای ساختار استاتیکی یا الکترومغناطیسی بوده و با پیشرفت‌های تکنولوژی، از مدارات مجتمع IC برای ساخت رله‌های حفاظتی استفاده می‌شود. مزایای مدارات مجتمع و سیستمهای دیجیتالی جهت ساختار رله‌های حفاظتی در موارد زیر خلاصه می‌گردد.

۲-۱۳-۲۸- قابلیت اعتماد

رله‌های حفاظتی نیازمند قابلیت اعتماد بالایی بوده و نرخ خرابی مجاز در سیستم حفاظتی کمتر از ۰/۰۰۰۱ بر ساعت تعیین می‌شود. با پیچیده تر شدن سیستم و افزایش عناصر آن، قابلیت اعتماد کاهش می‌یابد و از این رو با ساخت رله‌های حفاظتی با بکارگیری ICها می‌توان قابلیت اعتماد را چند برابر کرده و سیستمهای چند تابعی و پیچیده را تهیه نمود.

۲-۱۳-۲۹- مصونیت از نویز

معمولاً رله‌های حفاظتی در محیط‌هایی با تداخل اغتشاشی قابل ملاحظه کار می‌کنند، بنابراین باید در مقابل اثرات نویز مصون شوند. ICها بدلیل حجم کم و ابعاد بسیار کوچک و همچنین بخاطر کاهش قابل ملاحظه ای که در تعداد اتصالات ایجاد می‌کنند، این خاصیت را دارا هستند که اغتشاشات موجود در محیط بر روی عملکرد رله تأثیر نداشته باشد.

۲-۱۳-۳۰- عملکرد رله

بکارگیری ICها در ساختار رله باعث می‌شود که رله کاملتر، سریعتر و کوچکتراز نوع استاتیکی یا الکترومغناطیسی شده و همچنین بار کمتری را بر ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری اعمال نماید.

۲-۱۳-۳۱- پیشرفت و تأثیر تکنیکی

واحدهای عملیاتی مختلف و متعدد در بسته بندی کوچک جمع آوری شده و بنابراین طراحی و ساخت وسایل مختلف را ساده‌تر می‌نماید.

۲-۱۳-۳۲- بررسی فنی - اقتصادی گزینه‌های انواع رله‌های حفاظتی

رله‌های حفاظتی از نظر ساختار آنها به دو صورت زیر تقسیم بندی شده‌اند:

- نوع معمول رله‌های حفاظتی که دارای ساختار استاتیکی یا الکترومغناطیسی می‌باشد.
- نوع پیشرفته تکنولوژی با ساختار مدارات مجتمع یا رله‌های دیجیتالی

چندین برابر بودن قابلیت اعتماد رله‌های دیجیتالی نسبت به رله‌های مرسوم، عدم تأثیر اغتشاشات محیطی روی رله‌های دیجیتالی، سادگی طراحی و ساخت، کوچک بودن حجم، کامل بودن، سرعت بالا و همچنین بارگذاری کمتر روی ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری از مزایای رله‌های دیجیتال نسبت به رله‌های مرسوم شمرده شده‌اند.

گسترش میکروپروسسورها در سالهای اخیر باعث گردیده است که با تکنیکهای پردازش اطلاعات دیجیتالی، تعدادی از مشکلات حفاظت و کنترل شبکه‌های ثدرت مرتفع گردد.

نتایج آزمایشات و آمار بهره برداری در پستهای پیشرفته نشان می‌دهد که بکارگیری حفاظت و کنترل میکروپروسسوری، فضای مورد نیاز برای نصب تجهیزات را به کمتر از ۱/۳ کاهش می‌دهد.

همچنین تعمیر و نگهداری این سیستم با توجه به نظارت و آزمایش اتوماتیک کاهش می‌یابد. از طرف دیگر برای توسعه پست و نصب تجهیزات فشار قوی جدید، سیستم میکروپروسسوری قابلیت توسعه توابع کنترل و حفاظت را دارا می‌باشد.

یکی از مزایای فنی سیستمهای میکروپروسسوری، تکنیکهای چک کردن اتوماتیک است که احتمال تریپهای نابجا را کاهش می‌دهد. بدین ترتیب قابلیت دسترسی سیستمهای حفاظت را افزایش می‌دهد.

از دیگر مزایای سیستمهای میکروپروسسوری به تکنیکهای جدید ارتباط پستها، قابلیت اعتماد بالا در اثر چک کردن مداوم، قابلیت انعطاف نرم افزاری به حداقل رساندن‌هادیهای رابط را می‌توان نام برد. همچنین پیشرفت سریع تکنولوژی میکروپروسسوری، ضمانت و پشتیبانی قابل قبولی را برای آینده شبکه تصویر می‌نماید.

از نقطه نظر اقتصادی مزایای سیستمهای دیجیتالی نسبت به انواع دیگر به اثبات رسیده است.

۲-۱۳-۳۳- نیازها و خواسته طراحی

طراحی و بهره برداری سیستمهای قدرت با حضور سیستم حفاظت مطمئن تحقق می‌یابد. تمام تجهیزاتی که برای تشخیص، تفکیک و برطرف کردن خطاهای سیستم بکار می‌روند، با نام

سیستم حفاظت دسته بندی می‌شوند.
از آنجاییکه تشخیص کلیه خطاها توسط یک رله امکان پذیر نمی‌باشد، می‌توان با استفاده از ترکیب انواع رله‌ها و هماهنگی آنها، سیستم حفاظت بهینه را ایجاد نمود. پارامترهای مهمی‌که در طراحی سیستم حفاظت بایستی مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:
قابلیت اطمینان، توانایی تمایز، محدوده حفاظتی، پایداری، سرعت عملکرد، حساسیت، دقت، سادگی و اقتصادی بودن.
عوامل متعددی وجود دارد که در عملکرد صحیح حفاظت اصلی اختلال ایجاد می‌کنند بنابراین برای بالا بردن قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت معمول است که حفاظت اصلی توسط سیستم پشتیبان حمایت شود تا خطا در کوتاهترین زمان برطرف گردد.
حفاظت پشتیبان ممکن است دارای خواص حفاظت اصلی بوده و یا تجهیزات اضافی در نظر گرفته شده باشد. سیستمهایی مثل حفاظت جریان زیاد می‌توانند بعنوان پشتیبان حفاظتهای دیگر عمل کنند. چنانچه سیستم حفاظت مختص به محدوده معینی باشد حفاظتهای واحد، حفاظت پشتیبان باید از طریق سیستمهای دیگر تأمین شود.
در بعضی موارد از حفاظتهای تأخیری برای پشتیبانی حفاظت اصلی استفاده می‌گردد اما در پستهایی که برای پایداری شبکه اهمیت خاصی دارند، از سیستمهای حفاظت سریع دوبل بهره گرفته می‌شود. بدین صورت که دو سیستم حفاظت موازی با هم نصب می‌گردد.
بهتر است که حفاظتهای اصلی و پشتیبان یا حفاظت‌های دوبل، اصول جداگانه داشته باشند، بطوریکه حوادث غیرعادی که روی یک سیستم اثر می‌گذارد، سیستم دیگر را مختل ننماید. بنابراین ترانسفورماتورهای جریان، ترانسفورماتورهای ولتاژ، رله‌های جانبی، مدارهای فرمان قطع و منابع تغذیه جداگانه باید در نظر گرفته شوند. اما عملا ترانسفورماتورهای جریان و ترانسفورماتورهای ولتاژ تنها در هسته‌ها و سیم پیچیهای ثانویه جدا هستند.

در بخش آخر، شماره وسایل حفاظتی که مرسوم می‌باشد، درج گردیده است. در طول این گزارش از این اعداد بعنوان شماره رله‌ها استفاده می‌شود. با توجه به روند پیشرفت تکنولوژی و افزایش روز افزون تجهیزات حفاظتی، پرداختن به ماهیت و ساختار رله‌ها ضروری به نظر نمی‌رسد. با گذشت زمان وسائل جدید با تکنولوژی ساخت پیشرفته جایگزین رله‌های قدیمی‌شده و این روند ادامه خواهد داشت. آنچه که در مدت زمان طولانی بر سیستمهای حفاظت حاکم خواهد بود، معیار و انتظار سیستم قدرت از یک حفاظت مناسب است.

لذا سعی شده‌است که تقاضای شبکه از سیستم حفاظت و معیار انتخاب و خروجی مورد انتظار از مجموعه حفاظت بررسی شود. بعنوان مثال، درخواست شبکه قدرت از رله گذاری دیستانس این است که با اندازه گیری‌های مختلفی که انجام می‌دهد، مسافت خطا تا نقطه

انتخابی را تخمین زده و در محدوده زمانی مورد نظر فرمان قطع را صادر کند.

همچنین حفاظت پشتیبان برای پستهای همجوار را تهیه کرده و در مواقع غیر ضروری عمل نکند. سرعت، قدرت انتخاب و هماهنگی آن با ترکیبهای دیگر حفاظتی اهمیت خاصی دارد. این رله می‌تواند با تکنولوژی الکترومکانیکی، استاتیکی، دیجیتالی، هوش مصنوعی یا..... ساخته شده باشد.

چنانچه رله از تکنولوژیهای برتر تهیه شود، قابلیتهای جانبی بیشتر، ارتباط گسترده تر با سیستم کنترل، ارتباط قویتر با فرایند آنالیز پس از خطا و تهیه و پردازش و ارسال اطلاعات را مهیا می‌کند. بدین ترتیب استفاده از آنها در سیستمهای حفاظت توصیه می‌شود.

۲-۱۳-۳۴- اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی

جهت ارائه یک سیستم حفاظت بهینه، اطلاعات متعددی در رابطه با شبکه پست و اجزا آن مورد نیاز است که بشرح زیر می‌باشند :

- ☐ دیاگرام تک خطی و مقادیر نامی‌تجهیزات پست
- ☐ امپدانس توالی‌ها بر حسب اهم، درصد یا پریونیت برای تمام اجزا پست شامل ترانسفورماتورای قدرت، خطوط و.....
- ☐ مقادیر ماکزیمم و می‌نیمم جریانهای اتصال کوتاه
- ☐ ماکزیمم جریان بار
- ☐ احتمال خطاها
- ☐ موضوع القا متقابل
- ☐ ولتاژ نامی‌پست
- ☐ سطح اتصال کوتاه نامی
- ☐ زمان اتصال کوتاه
- ☐ منحنی‌ها و رفتار ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ
- ☐ مشخصات کلید، ترانسفورماتورهای قدرت و.....
- ☐ مشخصات سیستم زمین پست و چگونگی زمین کردن تجهیزات پست
- ☐ تعداد رله‌های دیستانس در سیستم حفاظت انتهای خطوط ارتباطی در پستهای همجوار
- ☐ تعداد رله‌های اشکال کلید برای هر کلید انتهای خطوط ارتباطی در پستهای همجوار

در بخشهای بعد، با استفاده از اطلاعات فوق و خصوصیات سیستمهای حفاظت، مشخصات و پارامترهای حفاظتهای مختلف بررسی می‌گردد.

۲-۱۳-۳۴-۱- شاخص‌ها و پارامترهای مشخص کننده طراحی

الف – حفاظت خطوط انتقال

از آنجاییکه خط انتقال در یک مسیر طولانی و در معرض انواع حوادث طبیعی قرار می‌گیرد، محدوده وسیعی از صدمات به آن اختصاص دارد که بسیاری از این عوامل، منجر به اتصال کوتاه شده و در صورت تداوم آن، شبکه از پایداری خارج می‌شود. بدین منظور جلوگیری از تداوم خطا بر روی خط انتقال و یا رفع سریع آن، کیفیت و قابلیت اطمینان شبکه را بهبود می‌بخشد.

حوادث طبیعی از قبیل زلزله، طوفان، رعد و برق و..... باعث پارگی و اتصال زمین یا اتصال فازها به یکدیگر شده و جریان اتصال بزرگی را به سمت نقطه خطا جاری می‌نماید.

قسمت اعظم این خطاها گذرا بوده و در صورت قطع موقت، عوامل برطرف شده و می‌توان خط را پس از مدت کوتاهی در مدار قرار داد. اینگونه خطاها را گذرا نامیده و با استفاده از رله‌های وصل مجدد می‌توان خط را برقرار نمود. در شرایطی که خطا دائمی‌باشد، پس از قطع و وصل، رله مربوطه در می‌یابد که خطا دائمی‌است و خط را از مدار خارج می‌کند تا بازبینی، شناسایی و رفع خطا انجام گیرد.

برای حفاظت خطوط انتقال روشهای متعددی بکار می‌رود. این روشها را می‌توان در قالب دو گروه جداگانه دسته بندی کرد. گروه اول حفاظت نوع واحد می‌باشد که تنها محدوده مشخصی را حفاظت کرده و به خطاهای خارج از محدوده پاسخ نمی‌دهد و هماهنگی آن با سایر حفاظتهای پست یا شبکه مورد نیاز نمی‌باشد و از نظر زمانی مستقل از زمان عملکرد سایر رله‌ها می‌باشد. در این دسته حفاظت دیفرانسیل و حفاظت توسط سیگنال حامل را می‌توان نام برد.

گروه دوم حفاظت نوع غیر واحد است که می‌توان مرزهای مختلف را حفاظت نمود و توسط تنظیم آنها حفاظتهای پشتیبان برای رله‌های دیگر را فراهم کرد. در این حفاظت برخلاف نوع واحد هماهنگی با سایر حفاظتهای پست و شبکه مورد نیاز می‌باشد و مستقل از زمان عملکرد سایر رله‌ها نمی‌تواند در نظر گرفته شود. در این دسته حفاظت جریان زیاد و حفاظت دیستانس را می‌توان نام برد.

رله‌ها دیستانس شامل سه نوع امپدانسی، راکتانسی و مهو می‌باشد. برای خطوط خیلی کوتاه، نوع راکتانسی توصیه می‌شود زیرا از مقاومت جرقه تأثیر نمی‌پذیرد. برای خطوط با طول متوسط نوع امپدانسی و برای خطوط بلند نوع مهو بکار می‌رود.

حفاظتهای نوع واحد بسیار سریع و با قدرت تمایز بالا هستند. حفاظت پایلوت برای خطوط کوتاه که تلفات سیم حامل کم می‌باشد، مناسب است. حفاظت سیگنال حامل برای خطوط بلند و خطوط بهم متصل بکار رفته و رله گذاری سریعی را تدارک می‌بینند. سیگنالهایی با فرکانسهای ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ مگاهرتز برای این منظور بکار می‌رود.

ب –حفاظت دیستانس خطوط انتقال

ترکیبهای دیستانس جزو حفاظتهای اصلی غیر واحد بوده و علاوه بر اقتصادی بودن، مزایای فنی قابل ملاحظه ای دارند.

این نوع حفاظت ساده می‌باشد و از حفاظتهای خیلی سریع محسوب می‌گردد. با ترکیب این سیستم با کانال سیگنال می‌توان حفاظت واحد را فراهم نمود. در این صورت، برای استفاده با وصل مجدد اتوماتیک خیلی سریع، مناسب بوده و خطوط انتقال مهم را حفاظت می‌نماید.

رله دیستانس نسبت ولتاژ و جریان را اندازه‌گیری می‌نماید که این مقدار تابعی از مسافت بین رله و محل بروز اتصالی است. امپدانس (مقاومت، راکتانس، ادمیتانس) یک حلقه اتصالی، متناسب با مسافت بوده و رله دیستانس زمانیکه امپدانس اندازه‌گیری شده را از مقدار تنظیمی کوچکتر ببیند، فرمان قطع را صادر می‌کند. بدین ترتیب می‌تواند مسافت بخصوصی از خط را حفاظت نمود.

از معایب این روش تأثیر مقاومت جرقه در دقت اندازه‌گیری امپدانس می‌باشد. جرقه طبیعی اهمی‌دارد و امپدانس حلقه اتصال کوتاه را افزایش می‌دهد و باعث می‌گردد که در شرایط مرزی، رله اشتباها فرمان قطع را صادر نکند. بنابراین تکنیکهای برای اصلاح اندازه‌گیری رله دیستانس بکار گرفته می‌شود. قابل ذکر است که مقاومت جرقه بصورت تقریبی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R_{arc} = \frac{2/\times 10^4 \times L}{I^{1/4}}$$

که R_{arc} مقاومت جرقه اهم، L طول جرقه متر و I جریان اتصالی آمپر است. با حضور مقاومت جرقه، رله دیستانس، امپدانس $Z_f + R_{arc}$ را محاسبه می‌کند که با امپدانس واقعی Z_f متفاوت است.

یک تغییر ناگهانی در شرایط بارگذاری شبکه قدرت، نوسان شبکه بین بار و منبع را ایجاد می‌نماید که تحت شرایط بخصوص، نوسانات شبکه باعث عملکرد بی مورد رله دیستانس می‌گردد. بنابراین باید نوسان قدرت را در تنظیم رله‌ها در نظر گرفت.

برای برآوردن نیازهای اقتصادی و تکنیکی سیستم قدرت، چندین ترکیب برای حفاظت دیستانس با پله‌های حفاظتی متفاوت فراهم شده‌است. ترکیب اندازه‌گیری دیستانس و یک کانال حمل سیگنال مثل PLC یا سیگنالهای فرکانس صوتی روی مسیر پایلوت برای ایجاد یک حفاظت واحد بر روی خطوط بکار می‌رود.

ترکیبهای دیستانس کامل و دیستانس سوئیچ شونده بسته به ولتاژ سیستم و اهمیت خط بکار می‌روند. اختلاف بین این دو ترکیب در تعداد واحدهای اندازه‌گیری است، بدین ترتیب که دیستانس کامل از هیجده واحد اندازه‌گیری (سه واحد برای خطای فاز و سه واحد دیگر برای خطاهای زمین در هر محدوده حفاظتی) بهره می‌گیرد.

در حالیکه در دیستانس سوئیچ شونده، تنها یک واحد اندازه‌گیری برای تمام خطاها بکار می‌رود که این واحد توسط واحدهای شروع کننده، به حلقه امپدانس مربوطه سوییچ می‌شود.

ج– محدوده حفاظتی

جهت هماهنگی صحیح بین رله‌های دیستانس، تنظیم رله برای ۸۰ درصد امپدانس خط انتخاب می‌گردد که محدوده اول یا محدوده حفاظت آنی نامیده می‌شود. این تنظیم بخاطر اطمینان کافی از عملکرد صحیح رله منظور می‌شود.

در شرایط گذاری جریان یا خطاهای ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ یا تغییرات امپدانس خط، ممکن است رله در خطاهای دورتر از منطقه حفاظتی عمل نماید که این پدیده را فرا دسترسی می‌نامند.

بدیهی است که بقیه طول خط باید حفاظت گردد، که اینکار بعهده محدوده دوم حفاظت گذاشته می‌شود تا ۲۰ درصد بقیه خط انتقال بعلاوه ۵۰ درصد کوتاهترین خط بعدی را حفاظت کند.

به منظور تمایز این دو محدوده، یک تأخیر زمانی منظور می‌گردد. محدوده سوم را می‌توان محدوده دوم باضافه ۲۵ درصد طولانی ترین خط سوم قرارداد و حفاظت پشتیبان دور را تهیه نمود.

در عمل بعلت خطاهایی از قبیل تفاوت بین امپدانس محاسباتی و امپدانس واقعی خط، خطای ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ و همچنین عدم دقت رله‌ها، محدوده اول در ۱۰۰ درصد خط تنظیم نمی‌شود و مقدار تنظیمی‌آن حدود ۸۰ الی ۹۰ درصد خط را در بر خواهد گرفت.

باقیمانده خط توسط محدوده دوم بهمراه یک تأخیر زمانی محافظت می‌شود. محدوده سوم نیز همراه با یک تأخیر زمانی که با محدوده دوم هماهنگ می‌شود مورد تنظیم قرار می‌گیرد.

یکی از معایب حفاظت دیستانس در مقدار تنظیم محدوده حفاظت اول برای هر انتهای خط می‌باشد. همانطور که قبلا گفته شد، معمولاً محدوده اول تمامی‌طول خط را حفاظت نمی‌کند و حدود ۹۰-۸۰ درصد خط را شامل می‌شود. ۲۰-۱۰ درصد باقیمانده خط توسط محدوده دوم رله دیستانس محافظت می‌شود.

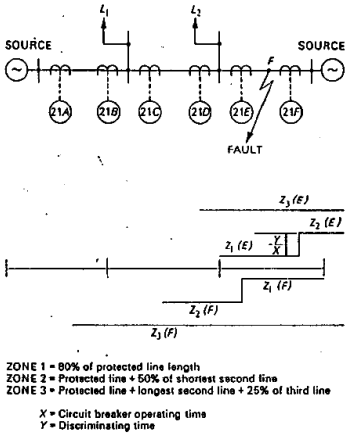
در سیستم حفاظت یک خط طویل که از دو طرف خط دو رله دیستانس مسئول حفاظت هستند اگر اتصال کوتاهی در نزدیکی یکی از دو انتهای خط پیش آید باعث عملکرد یکی از رله‌ها در محدوده اول و رله دیگر در محدوده دوم می‌شود.

رله ای که در محدوده اول عمل می‌کند. بلافاصله فرمان قطع صادر می‌کند حال آنکه رله دوم با تأخیر عمل نمود و بلافاصله فرمان قطع صادر نمی‌کند.

جهت جلوگیری از چنین حالتی که هنوز محل خطا توسط پست مقابل تغذیه می‌شود، حفاظت دیستانس توسط کانال مخابراتی رله دیستانس پست مقابل را وادار به تسریع و عمل نمودن در محدوده اول می‌نماید.

از آنجاییکه تأخیر زمانی ما بین محدوده‌های حفاظتی رله دیستانس در حقیقت جهت عمل پشتیبانی حفاظتهای خطوط پست مقابل و عدم تداخل در عملکرد دیگر رله‌ها بوجود آمده اند لذا جهت محاسبه این تأخیر زمانی باید زمان لازم برای برداشتن خطا توسط سیستم رله گذاری فیدر اتصالی در پست مقابل یعنی حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی ثانیه را در نظر گرفت.

معمولاً رله‌ها برای ماکزیمم دسترسی محدوده دوم، بمقدار ۵ برابر دسترسی محدوده اول و ماکزیمم دسترسی محدوده سوم، بمقدار ۱۰ برابر دسترسی محدوده اول طراحی شده‌اند. محدوده‌های حفاظتی دیستانس در شکل نشان داده شده‌است.



مشخصه زمان – مسافت رله دیستانس

ز – کاربرد رله

امپدانسهای خط و حداقل جریان خطا برای محدوده اول رله دیستانس در زمان کاربرد رله دیستانس باید در نظر گرفته شوند.

امپدانسهای توالی در آنالیز خطاهای سیستمهای قدرت بکار می‌رود که برای تجهیزاتی مثل ترانسفورماتورهای قدرت و خطوط انتقال، امپدانسهای توالی مثبت و منفی برابر بوده و برای اتصالی بین فازها تنها امپدانس منظور می‌گردد. امپدانس توالی صفر تنها در خطاهای زمین بکار می‌رود.

در جدول ذیل، جریانها و ولتاژها در نقاط رله گذاری برای خطاهای سه فاز و دو فاز بر حسب امپدانسهای توالی مثبت منبع و خط بیان شده‌است.

کمیتهای خطا	سه فاز (A-B-C)	دو فاز (B_C)
I'_a	I'_1	صفر
I'_b	$a^2 I'_1$	$(a^2 - a)I'_1$
I'_c	$Z_{L1} I'_1$	$(a^2 - a)I'_1$
V'_a	$a^2 Z_{L1} I'_1$	$2(Z_{s1} - Z_{L1})I'_1$
V'_b	$a^2 Z_{L1} I'_1$	$(2a^2 Z_{L1} - Z_{s1})I'_1$
V'_c	$a^2 Z_{L1} I'_1$	$(2aZ_{L1} - Z_{s1})I'_1$

۲–۱۳–۳۵– جریان و ولتاژهای نقطه رله گذاری برای خطاهای فاز

در خطاهای سه فاز، ولتاژهای فاز در نقطه رله گذاری بستگی به حاصلضرب امپدانس خط و جریان توالی مثبت دارد و برای خطاهای دو فاز تابعی از امپدانس منبع است. اگر ولتاژ خط به رله اعمال گردد، وابستگی به امپدانس منبع Z_{s1} از بین می‌رود.

برای خطاهای سه فاز $V'_{bc} = (a^2 - a) Z_{LI} I'_I$

برای خطاهای دو فاز $V'_{bc} = 2(a^2 - a) Z_{LI} I'_I$

ترکیب‌های اتصال رله‌های دیستانس در شکل آورده شده‌است. وقتی جریان ستاره با ولتاژهای مثلث مقایسه می‌شوند،امپدانس اندازه گیری شده برای خطاهای سه فاز و دو فاز نسبت $\sqrt{3/2}$ دارد.

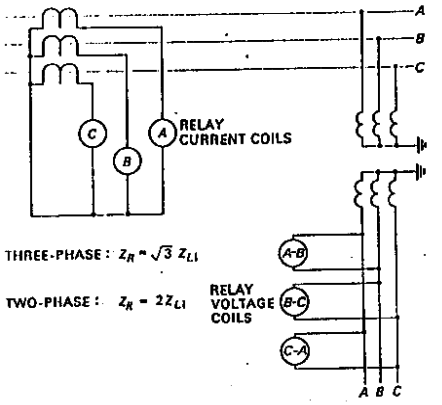
زمانیکه خطای زمین رخ می‌دهد، ولتاژ فاز به زمین در محل خطا صفر شده و افت ولتاژ خط، حاصلضرب مستقیم جریان خطا در امپدانس خط می‌باشد. جریان در حلقه خطا به تعداد نقاط زمین، روش زمین کردن و امپدانس‌های توالی حلقه خطا بستگی دارد. افت ولتاژ تا نقطه خطا، مجموع افت ولتاژهای توالی‌ها است:

$$V' = I'_{۱} Z_{LI} + I'_{۲} Z_{LI} + I'_{۰} Z_{LI}$$

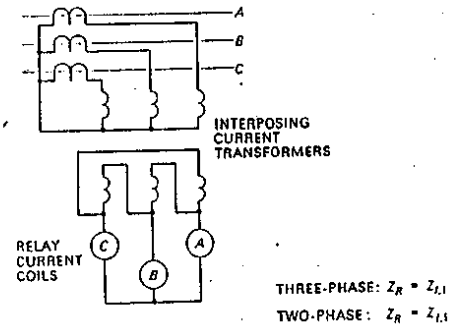
و جریان در حلقه :

$$I'_a = I'_{۱} + I'_{۲} I'_{۰}$$
$$I'_R = I'_a + I'_b + I'_c = ۳I'_o$$

که I'_a و I'_b و I'_c جریان‌های فاز در نقطه رله گذاری است.



اتصالات جریان و ولتاژ رله دیستانس برای خطای فاز



(b) CURRENT CIRCUIT ARRANGEMENT FOR COMPARING LINE CURRENTS WITH LINE VOLTAGES

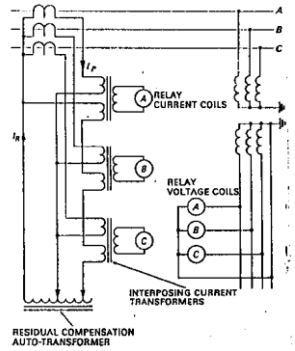
بنابراین ولتاژ در نقطه رله گذاری بر حسب جریانهای فاز، نسبت امپدانس توالی مثبت و

امپدانس توالی مثبت و جریان باقیمانده در نقطه رله گذاری:

$$\dot{V}_a = Z_{L1}\left[\dot{I}_a + (\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c)\frac{K-1}{3}\right]$$

اگر $\frac{K-1}{3}$ برابر جریان باقیمانده $I_R = I_a + I_b + I_c$ به جریان فاز I_a مطابق شکل اضافه گردد، رله می‌تواند امپدانسی مستقل از روش زمین کردن را اندازه‌گیری نماید. این تکنیک بنام جبران باقیمانده خوانده می‌شود.

مقدار K ثابتی است که به ترکیب خط و مقاومت پذیری زمین بستگی دارد و نسبت امپدانس توالی صفر به امپدانس توالی مثبت خط است و بطور تقریبی بین ۲/۵ تا ۴ در نظر گرفته می‌شود. (برای خطوط ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت)



اتصالات جریان و ولتاژ در رله خطای زمین

با دانستن امپدانسهای توالی خط، MVA خطا، ولتاژ سیستم و ترکیب زمین، می‌توان ولتاژ می‌نیمم در ترمینالهای رله را برای خطایی در انتهای محدوده رله محاسبه نمود.

اطلاعات خطا به دو روش مختلف برای خطاهای فاز و خطاهای زمین محاسبه می‌گردند. برای خطاهای فاز، سطح خطا برحسب MVA خطای سه فاز و برای خطاهای زمین جریانهای فاز اتصال شده و فازهای سالم در نظر گرفته می‌شوند.

برای خطاهای فاز فرآیند زیر انجام می‌گیرد:

الف - با سطح اتصال کوتاه شبکه در نقطه رله گذاری، امپدانس توالی مثبت Z_{SI} محاسبه می‌گردد

$$Z_{SI} = \frac{(KV)^2}{MVA}$$

که KV ولتاژ خط و MVA سطح اتصال کوتاه شبکه است.

ب – امپدانس قسمت حفاظت شده محاسبه می‌شود : $Z_{LI} = 0/8 \times Z_1 \times L$

که Z_{LI} امپدانس قسمت حفاظت شده و Z_I امپدانس توالی مثبت خط بر حسب اهم بر کیلومتر و L طول خط برحسب کیلومتر می‌باشند.

ج – جریان خطا I_F بدست می‌آید :

$$L_F = \frac{KV \times 10^3}{\sqrt{3}(Z_{SI} + Z_{LI})}$$

د – جریان خطای I_F با استفاده از مقدار C_1 و سطح اتصال کوتاه می‌نیمم ناشی از خطا در انتهای محدوده حفاظتی بدست می‌آید.

مقدار C_1 برابر با نسبت جریان جاری شده از شاخه رله به نقطه اتصالی و جریان کلی خطا می‌باشد.

$$I_F = C_1 \frac{MVA \times 10^3}{\sqrt{3} KV}$$

هـ - در بررسی خطاهای فاز، ولتاژ می‌نیمم در خطای سه فاز ظاهر می‌گردد. با استفاده از I_F که توسط قسمت ج یا د محاسبه می‌گردد، ولتاژ ترمینالهای رله بدست می‌آید :

$$V_R = \sqrt{3} Z_{L1} \times \frac{I_F}{KV \times 10^3} \times 110$$

برای خطاهای زمین روابط زیر بکار می‌رود :

الف – از روی خط انتقال نسبت K یعنی Z_{LO} / Z_{LI} محاسبه می‌شود.

ب – با استفاده از جریان فازها در شاخه رله، می‌توان جریان باقیمانده را محاسبه نمود :

$$I_R + I_a + I_b + I_c$$

ج – امپدانس قسمت حفاظت شده خط بدست می‌آید :

$$Z_{L1} = 0/8 Z_1 L$$

د- با جریان خطا در فاز اتصالی که از شاخه رله یعنی I_F می‌گذرد، ولتاژ در ترمینالهای رله محاسبه می‌شود:

$$V_R = Z_{LI} \frac{\left[I_F + I'_R \times \frac{k-1}{3} \right]}{K_V \times 10^3} \times 110$$

۲–۱۳–۳۶– تنظیم رله دیستانس

رله‌های دیستانس برحسب اهمهای ثانویه مدرج شده‌اند. رله‌های مدرن دارای تنظیم پیوسته بوده و در محدوده‌های زیر موجود می‌باشند:

- ۰/۲۵-۳۲ اهم بر پایه ۱ آمپر
- ۰/۲۵-۸ اهم بر پایه ۵ آمپر

ترانسفورماتورهای جریان و لتاژ مقادیر به ترتیب ۱ یا ۵ آمپر و ۱۱۰ ولت را دارا هستند. برای تنظیم رله، لازم است که اهمهای اولیه محاسبه شده و توسط رابطه زیر به اهمهای ثانویه تبدیل گردد:

$$Z_s = Z_p \frac{Z_۱ + Z_۲ + Z_O}{۳}$$

Z_p امپدانس اولیه و Z_s امپدانس دیده شده در ثانویه است که مقدار ثانویه باید در محدوده تنظیم رله قرار گیرد.

برای محاسبه حداقل طول خط که توسط دیستانس قابل حفاظت باشد، لازم است که ولتاژ می‌نیمم رله برای خطا در انتهای محدوده اول حفاظتی، در حد حساسیت رله باشد. از طرف دیگر، امپدانس اهمی‌ثانویه خط نیز در محدوده تنظیم رله قرار گیرد.

برای یک رله با حساسیت S ولت، حداقل طول خط که در خطاهای فاز حفاظت می‌گردد، از رابطه زیر بدست می‌آید:

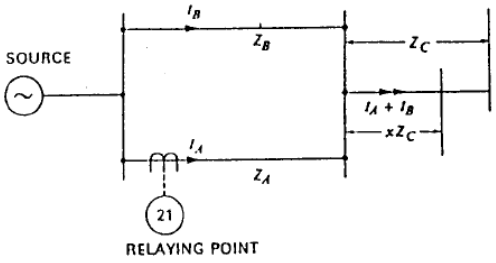
$$S = \sqrt{۳} \times ۰/۸ \times Z_۱ \times L_{min} \times I_F \times \frac{۱۱۰}{KV \times ۱۰^۳}$$

برای خطاهای زمین بجای Z۱ مقدار Ze قرار می‌گیرد که امپدانس حلقه خطای زمین برحسب اهم بر کیلومتر است:

$$Z_e = \frac{Z_۱ + Z_۲ + Z_O}{۳}$$

۲-۱۳-۳۷- پدیده دسترسی پایین

شکل زیر، تأثیر خطوط موازی بر روی رله دیستانس را نشان می‌دهد.



Relay setting $Z_A + Z_C$
Relay actual reach due to parallel line infeed $Z_A + x\,Z_C$

۲-۱۳-۳۸- تأثیر خطوط موازی بر تنظیم رله دیستانس

همانگونه که مشاهده می‌گردد، به جای Z_c، مقدار XZ_c توسط رله حفاظت می‌شود. این کاهش بخاطر تزریق خط موازی است. تنظیم رله $Z_A + Z_c$ است ولی رله با امپدانس زیر روبروست :

$$\left[Z_A + \frac{(I_A+I_B)}{I_A} XZ_c\right]$$

بنابراین برای بالانس رله،

$$Z_A + Z_c = Z_A + \frac{(I_A+I_B)}{I_A} XZ_c \rightarrow X = \frac{I_A}{(I_A+I_B)}$$

پس دسترسی پایین، مقدار Z_c(X-۱) را داراست :

$$Zc(1-X) = \left[1\frac{I_A}{(I_A+I_B)}\right] Z_c = \left[\frac{I_A}{(I_A+I_B)}\right] Z_c$$

و درصد دسترسی پایین عبارتست از :

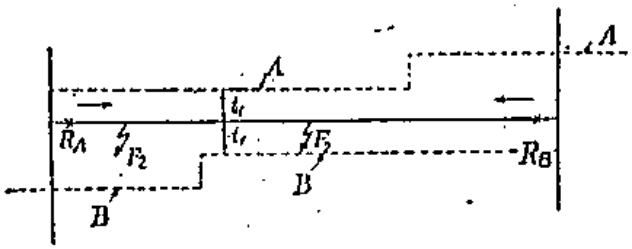
$$\frac{\left[\frac{I_A}{(I_A+I_B)}\right]Z_c}{Z_A+Z_c} \times 100$$

که از $Z_A = Z_c$ و $I_A = I_B$ باشد، درصد پایین دسترسی مقدار ۲۵ درصد است.

۲-۱۳-۳۹- حفاظت دیستانس همراه با حامل سیگنال

اگر سیگنال به انتهای دیگر خط ارسال گردد تا خط را سریعا قطع نماید، تریپ کردن انتقالی یا تکنیک اینترتریپ نامیده می‌شود.

شکل زیر برای تشریح این روش بکار می‌رود.



R_A, R_B = Distance relays.
A = Characteristic of R_A.
B = Characteristic of R_B.

رله R_A، مقدار ۸۰ درصد خط را می‌پوشاند. رله R_B نیز مشابه رله A است. اگر خطا در وسط خط رخ دهد، رله‌های دیستانس دو طرف خط فرمان قطع صادر نموده و سریعا خط قطع می‌شود.

اگر خطا نزدیک شینه A اتفاق افتد، رله A در زمان کوتاه t_1 فرمان قطع می‌دهد، در حالیکه رله B تا زمان t_s (زمان عملکرد محدوده دوم حفاظتی) منتظر می‌ماند. بنابراین قطع غیر همزمان ایجاد خواهد شد. اینکار برای پایداری و شرایط وصل مجدد اتوماتیک مناسب نیست.

رله‌ای که در محدوده اول حفاظتی عمل می‌کند، توسط انتقال دهنده سیگنال حامل یا CTR و از طریق خط، رله انتهای دیگر خط را مطلع می‌نماید. باید دقت نمود که در این حالت رله‌ها جهت‌دار می‌باشند.

روش دیگر، ترکیب قفل کردن فرمان قطع توسط مقایسه جهت است. در این حالت رله دیستانس برای فرا دسترسی تنظیم می‌گردد تا محدوده اول حفاظتی بیشتر از طول خط باشد.

بنابراین لازم است قیدی گذاشته شود که از فرمان قطع برای خطاهای خط بعدی جلوگیری بعمل آید.

اینکار با مقایسه جهت تزریق توان اتصالی در دو انتهای خط انجام می‌گیرد. زمانیکه در یک شینه توان اتصالی بسمت خارج از خط باشد، رله جهتدار در این شینه یک سیگنال حامل را ارسال می‌کند که فرمان قطع را در دو انتهای خط قفل می‌کند.

زمانیکه اتصال کوتاه داخلی باشد، سیگنالی ارسال نمی‌گردد. در صورت خطای خارجی، رله نزدیک به خطا استارت می‌شود، همچنین رله دور بخاطر فرا دسترسی منظور شده، خطای خارج را می‌بیند و شروع به کار می‌کند. یک تأخیر زمانی کوچک برای رله دور منظور می‌گردد تا سیگنال قفل کننده از رله نزدیک به خطا ارسال گردد.

در صورتیکه سیگنال در مدت زمان تنظیمی‌دریافت نشود، خطا داخلی بوده و رله دور باید عمل کند. بنابراین ترکیب قفل کردن در محدوده اول حفاظتی خود، تأخیر زمانی کوچکی دارد. مزیت این روش این است که سیگنال حامل بر روی خط سالم ارسال می‌گردد (برخلاف حالت انتقال سیگنال که بر روی خط اتصال شده صورت می‌گیرد).

روش دیگر، سیگنال حامل شتاب دهنده است. در این حالت یک سیگنال از طرف دیگر دریافت شده و برای توسعه محدوده اول حفاظتی از ۸۰ درصد به ۱۵۰ درصد بکار می‌رود. با اینکار زمان محدوده حفاظتی دوم برای خطاهای ۲۰ درصد انتهایی خط از بین رفته و کل خط در زمان محدوده اول حفاظتی قطع می‌گردد.

۲-۱۳-۴۰- حفاظت اتصال زمین خطوط

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

جریان‌های اتصال زمین بستگی به نوع زمین کردن شبکه دارند و زمانیکه شبکه زمین شده نباشد، از ترانسفورماتور زمین بهره گرفته می‌شود. در این روش یک عضو جهت‌دار برای تشخیص جهت جریان خطا و فیدر اتصالی منظور می‌گردد. در این حالت، رله با یک سیم پیچ ولتاژ (جهت اندازه‌گیری ولتاژ باقیمانده) و یک سیم پیچ جریان (جهت اندازه‌گیری جریان باقیمانده) عمل می‌نماید.

محدوده تنظیم رله‌های اتصال زمین کمتر از جریان بار کامل خط می‌باشد که عملا رله‌ها بین ۱۰ تا ۴۰ درصد این مقدار تنظیم می‌گردند.

چنانچه برای خطای زمین، رله ای مشابه خطای فاز با جریان تنظیم کوچک در نظر گرفته شود، در جریان اسمی بار بیشتری را تحمیل می‌کند.

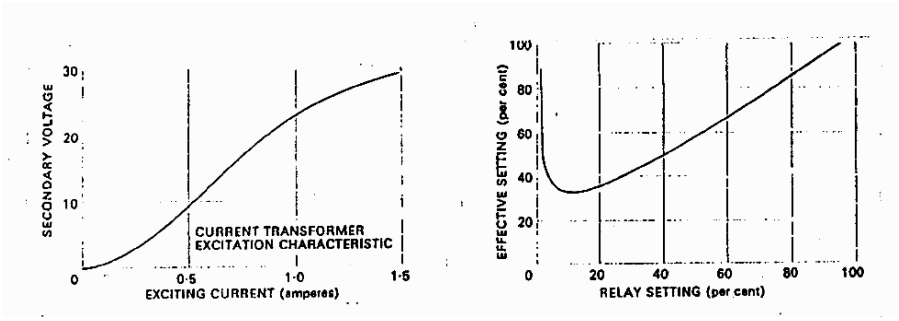
بعنوان مثال، یک رله با تنظیم ۲۰ درصد، امپدانسی معادل با ۲۵ برابر همان رله را با تنظیم ۱۰۰ درصد خواهد داشت.

از طرف دیگر جریانهای تحریک ترانسفورماتورهای جریان انرژی دار متناسب با بار زیاد رله بوده و همچنین افت ولتاژ روی این رله، بر روی دیگر ترانسفورماتورهای جریان موازی اعمال می‌شود.

تنظیم رله		ولتاژ سیم پیچ در	جریان تحریک	۳ I_c(A)	تنظیم موثر	
(٪)	جریان (A)	نقطه تنظیم (V)	I_c(A)		(٪)	جریان (A)
۵	۰/۲۵	۱۲	۰/۵۸۳	۱/۷۵	۴۰	۲
۱۰	۰/۵	۶	۰/۴۰۵	۱/۲۱۵	۳۴/۳	۱/۷۱۵
۱۵	۰/۷۵	۴	۰/۳	۰/۹	۳۳	۱/۶۵
۲۰	۱	۳	۰/۲۷	۰/۸۱	۳۶	۱/۸۱
۴۰	۲	۱/۵	۰/۱۷	۰/۵۱	۵۰	۲/۵۱
۶۰	۳	۱	۰/۱۲	۰/۳۶	۶۷	۳/۳۶
۸۰	۴	۰/۷۵	۰/۱	۰/۳	۸۶	۴/۳
۱۰۰	۵	۰/۶	۰/۰۸	۰/۲۴	۱۰۵	۵/۲۴

جریان کل تحریک از حاصلضرب تلفات یک ترانسفورماتور جریان در تعداد ترانسفورماتورهای جریان موازی بدست می‌آید بنابراین مجموع تلفات مغناطیس کنندگی در مقایسه با جریان عملکرد رله قابل ملاحظه بوده و با تنظیم کم جریانی و ترانسفورماتورهای جریان ضعیف (از نظر مشخصه)، رله ممکن است فرمان قطع غیر ضروری صادر کند.

در نتیجه تنظیم مؤثر رله خطای زمین برابر با مجموع جریانهای تنظیم رله و تلفات تحریک کلی است. برای تنظیم موثر رله خطای زمین به جدول فوق و شکل زیر رجوع می‌شود.



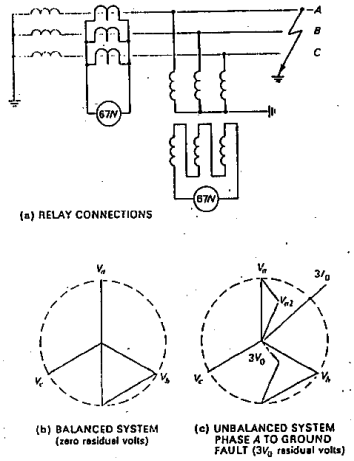
تنظیم مؤثر رله خطای زمین

با هدف بهبود حساسیت حفاظت خطای زمین، رله‌های بخصوصی برای خطای زمین طراحی شده‌است. بدین منظور برای سیستمهای که مقاومت زمین بزرگی دارندو بالطبع خطای زمین دارای جریان کمتری است، رله‌هایی با تنظیم جریانی خیلی کم و بر پایه کوچک تهیه گردیده و لازم نیست که مطابق با شکل برای یک رله نرمال با تنظیم کم، مقدار موثر بزرگتری منظور گردد.

واضح است که هماهنگی این رله با دیگر حفاظتها ممکن نیست، بنابراین با تأخیر زمانی قابل ملاحظه‌ای (تا ۱۵ ثانیه) همراه می‌باشد. البته رله‌های خطای زمین مجاور، تنظیم پله ای انجام می‌گیرد.

زمانیکه خطای فاز رخ می‌دهد، جریان گذاری ریزشی از شاخه باقیمانده ترانسفورماتورهای جریان عبور می‌کند که ممکن است از تنظیم رله خطای زمین بیشتر باشد ولی با تأخیر زمانی فوق الذکر عملکرد ناخواسته پیش نمی‌آید. پس در این حالت تنها جریانهای نشتی و یا جریانهای ریزشی ترانسفورماتور جریان تحت شرایط بار نرمال، اندازه‌گیری شده و تنظیم جریانی بر پایه آن صورت می‌گیرد. زمان عملکرد رله از طولانی ترین زمان حفاظتهای دیگر، بیشتر می‌باشد.

لازم به توضیح است که در شبکه‌های انتقال پیچیده و بهم پیوسته، حتما حفاظت خطای زمین جهتدار منظور می‌گردد. بنابراین ولتاژ باقیمانده، سیستم که از جمع برداری ولتاژهای فازها بدست می‌آید، به رله اعمال می‌شود. شکل زیر ترکیب این سیستم را نشان می‌دهد.



رله خطای زمین جهتدار پلاریزه شده با ولتاژ

ولتاژ باقیمانده قبل از وقوع خطا صفر است و برای یک خطای زمین ساده، ولتاژ باقیمانده برابر با کاهش ولتاژ فاز اتصالی می‌باشد. بطور کلی، در تمامی‌حالتها ولتاژ باقیمانده سه برابر ولتاژ توالی صفر منبع بوده و با جریان باقیمانده به اندازه زاویه امپدانس منبع اختلاف فاز دارد.

بنابراین با جریان باقیمانده توسط زاویه امپدانس منبع اختلاف فاز دارد. وقتی نقطه نوترال شبکه از طریق یک مقاومت زمین شده باشد، این امپدانس غالب بوده و رله، زاویه گشتاور ماکزیمم صفر درجه را خواهد داشت.

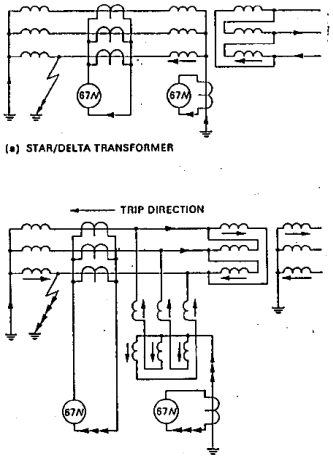
در صورتی که اگر مستقیم زمین شده باشد امپدانس خاصیت راکتیو داشته و لازم است تا حدودی جبران گردد و با اصلاح کردن زاویه فاز، گشتاور ماکزیمم تهیه شود. عملا زاویه گشتاور مجاز تا ۶۰ درجه است.

ولتاژ باقیمانده مورد نیاز توسط سه ترانسفورماتور ولتاژ با اتصال ستاره در اولیه و اتصال مثلث باز در ثانویه تهیه می‌گردد.

اگر ولتاژ باقیمانده برای پلاریزه کردن کافی نباشد، می‌توان از طریق جریان نوترال ترانسفورماتور قدرت پست با نول زمین شده یا جریان نول ترانس زمین، پلاریزاسیون جریان را تهیه کرد. جریان نوترال و جریان باقیمانده خط هم فاز هستند. در صورتیکه بیش از یک ترانسفورماتور قدرت به صورت موازی در سیستم موجود باشد برای هر یک باید یک ترانسفورماتور جریان قرار دارد و ثانویه‌ها رابصورت موازی به رله وصل نمود.

شکل صفحه قبل روش قرار دادن ترانسفورماتورهای جریان را برای شرایط مختلف زمین کردن در ترانسفورماتورهای قدرت نشان می‌دهد.

برای پلاریزه کردن رله، ترانسفورماتور ستاره – ستاره (حتی با نقطه ستاره زمین شده) مناسب نبوده و ترانسفورماتور سه سیم پیچه با سیم پیچی مثلث مناسب می‌باشد. در صورتیکه، ولتاژ باقیمانده کم بوده یا ترانسفورماتورهای پست، مجزا از زمین باشند، از پلاریزاسیون دوبل بهره گرفته می‌شود. بنابراین هم از جریان باقیمانده و هم از ولتاژ باقیمانده، تحریک شده و حتما یکی از آنها دامنه کافی خواهد داشت.

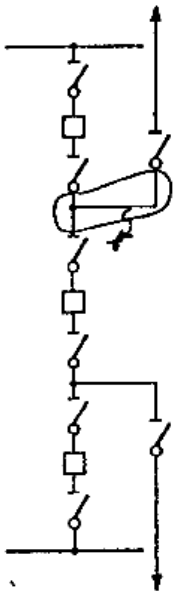


اتصالات رله خطای زمین جهتدار با پلاریزاسیون جریان

۲-۱۳-۴۱- حفاظت ناحیه کور

یکی از دلایل مهم کاربرد رله جریانی برای حفاظت ناحیه کور در فیدر خط عدم نیاز این رله به تغذیه ولتاژی نظیر حفاظت دیستانس می‌باشد. یکی از موارد کاربرد این حفاظت در پستهای ۱/۵ کلیدی می‌باشد.

در آرایش ۱/۵ کلیدی وقتی سکسیونر سر خط باز و خط برقدار باشد چنانچه در حد فاصل فیدر خروجی از بی و سکسیونر خط اتصالی پیش آید رله دیستانس بعلت وجود ولتاژ در ترانسفورماتور ولتاژ سرخط تحت تأثیر این اتصالی نبوده و قادر به عملکرد نیست و لذا اتصالی در این ناحیه به هیچ عنوان توسط رله دیستانس برطرف نخواهد شد و لزوما تنها حفاظت مطمئن جهت بر طرف نمودن این اتصالی حفاظت جریان زیاد خواهد بود. شکل زیر نشان دهنده این وضعیت می‌باشد.



ناحیه حفاظت شده در آرایش ۱/۵ کلید توسط حفاظت ناحیه کور

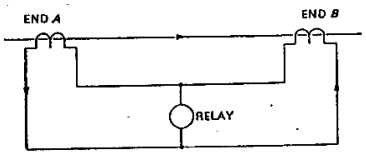
۲-۱۳-۴۲- حفاظت سیم پایلوت

این نوع حفاظت جزو حفاظتهای واحد بوده و جهت حفاظت خطوط کوتاه استفاده می‌شود. این حفاظت تنها به خطاهای داخلی با سرعت بالا پاسخ می‌دهد. بخاطر نیاز به سیم پایلوت، تنها برای خطوط خیلی کوتاه یاهادیهای محوطه پست بکار می‌رود.

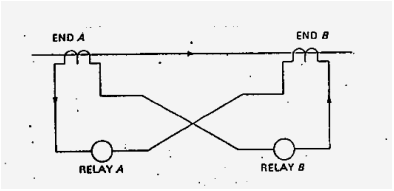
اصول سیستمهای حفاظت واحد ابتدا توسط Merz & Price ارائه شد که اساس سیستمهای دیفرانسیلی ایشان، پایه ای برای ترکیبهای توسعه یافته امروزی گردید. شکل ذیل، دو ترانسفورماتور جریان یکسان در دو طرف محدوده حفاظتی را نشان می‌دهد که توسط یک مدار پایلوت بهم متصل شده‌اند.

جریانهایی که از محدوده می‌گذرد، در مدار ثانویه حرکت کرده و در شاخه رله جریانی ایجاد نمی‌کند. با وقوع یک خطا در محدوده حفاظتی، جهت جریانهای عبوری از مدار ثانویه تعادل گذشته را نداشته و ازشاخه رله جریان می‌گذرد و فرمان قطع صادر می‌شود. این سیستم به جریان گردشی موسوم است.

شکل زیر، نوع دیگر حفاظت را نشان می‌دهد که در آن تنها در شرایط خطا جریان عبور می‌کند و از رله سری می‌گذرد. این سیستم به توازن ولتاژ معروف است.

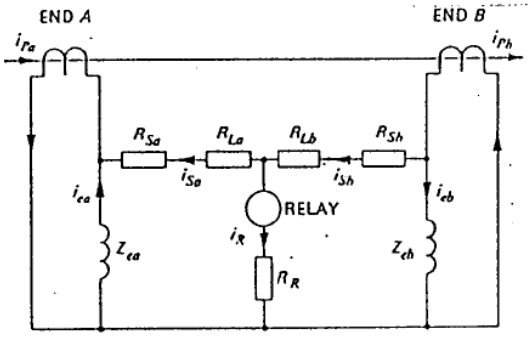


سیستم جریان چرخشی

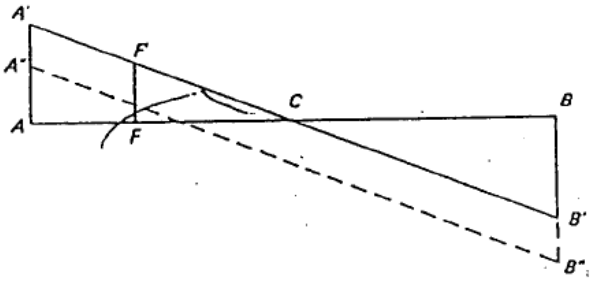


سیستم توازن ولتاژ

در شکل بالا، اگر ترانسفورماتورهای جریان ایده‌آل باشند، مشکلی پیش نمی‌آید ولی ترانسفورماتورهای جریان واقعی تلفات دارند که در شکل زیر مدار معادل ان رسم شده‌است. در شکل پتانسیل بر روی پایلوت در شرایطی که خطایی در محدوده رخ نداده است، نشان داده شده‌است.



مدار معادل ترانسفورماتورهای جریان در سیستم پایلوت



توزیع پتانسیل بر روی مدار پایلوت

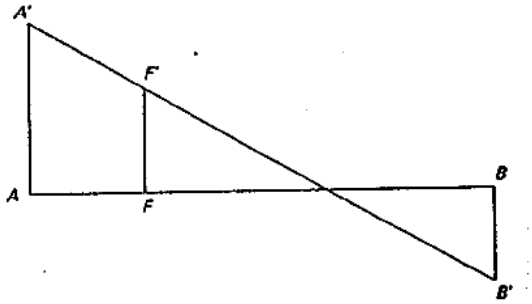
با فرض یکسان بودن ترانسفورماتورهای جریان، بار مدار بطور مساوی بین آنها تقسیم می‌شود. دیاگرام پتانسیل در حالیکه رله جدا شده یا دارای امپدانس خیلی زیاد باشد، رسم شده‌است. پتانسیل صفر در C ظاهر می‌شود که اگر رله در این نقطه نباشد و در نقطه F قرار گیرد، ولتاژ FF را خواهد داشت.

اگر رله، امپدانس خیلی کم داشته باشد، ولتاژ FF کوچکتر شده و بارهای ترانسفورماتورهای جریان یکسان نخواهد شد.

بنابراین جریانهای تحریک نامساوی i_{ea} و i_{ea} تولید می‌شود. جریان رله مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$i_R = i_{sa} - i_{sa} = (i_{pa} - i_{ea}) - (i_{pb} - i_{eb}) = i_{eb} - i_{ea}$$

اگر ترانسفورماتورهای جریان دارای امپدانس تحریک برابر نباشند، اگر چه نسبت دورهای یکسان داشته باشند، دیاگرام پتانسیلی مطابق شکل ذیل شد.



دیاگرام پتانسیلی برای ترانسفورماتورهای جریان غیریکسان

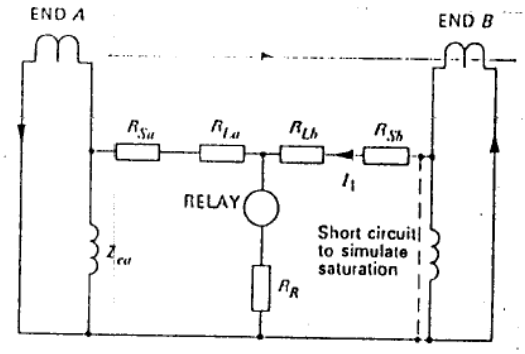
بنابراین نیروی محرکه الکتریکی تولید شده توسط ترانسفورماتورهای جریان نامساوی بوده AA و BB و ولتاژ FF افزایش می‌یابد. از انجا که معمولاً رله در مرکز حلقه پایلوت قرار نمی‌گیرد، لازم است که مقاومت هماهنگ کننده بصورت سری اضافه گردد تا نقطه پتانسیل صفر در محل اتصال رله تهیه شود. در این صورت توازن در حالت پایدار فراهم شده‌است.

در حالت گذرا، فلوی ایجاد شده توسط جریان خطا، ترانسفورماتور جریان را به اشباع می‌برد. بنابراین امپدانس تحریک دینامیک کاهش یافته و جریان تحریک افزایش می‌یابد.

چنانچه ترانسفورماتورهای جریان دارای مشخصه تحریک یکسان نباشند، یا نامتعادل بارگذاری شوند، فلوی گذرا در دو ترانسفورماتور جریان متفاوت بوده و جریان ریزشی به رله را افزایش می‌دهد. این شرایط را نمی‌توان بصورت تحلیلی بررسی نمود، ولی برای بدترین شرایط

قابل حل است.

فرض کنید که یک ترانسفورماتور جریان از یک گروه متعادل کاملا اشباع شده و دیگر ترانسفورماتورهای جریان در مشخصه خطی تحریک باقی مانده اند و نیاز به جریان تحریک قابل صف نظری دارند. امپدانس موازی ترانسفورماتور جریان اشباع شده صفر در نظر گرفته می‌شود. شکل زیر مدار را نشان می‌دهد.



مدار معادل در شرایط گذرا

ولتاژ قرار گرفته بر روی رله و جریان رله محاسبه می‌گردد :

$$V = I_1(R_{Lb} + R_{sb})$$

$$I_R = \frac{V}{R_R + R_{Lb} + R_{sb}}$$

از معادلات مشخص می‌شود که اگر مقاومت رله کم باشد، جریان رله زیاد می‌گردد و ممکن است خطا تلقی گردد.

بنابراین باید مقاومت رله بزرگ انتخاب شود. معادلات فوق نشان می‌دهد که ولتاژ تنظیمی‌رله توسط افت ولتاژهای سری تعریف می‌گردد. تنظیم مجاز توسط *emf*های موجود در هر ترانسفورماتور جریان محدود می‌شود، بنابراین باید در سیستمهایی با طول فیزیکی محدود بکار برده شود.

در سیستم توازن ولتاژ که دوگان جریان چرخشی است، *emf*های تولید شده در ترانسفورماتورهای جریان معکوس بوده و هیچ جریانی درهادی پایلوت و رله حرکت نمی‌کند . مزیت روش در این است که در شرایط عادی هیچ جریانی در ثانویه وجود نخواهد داشت و برای اجتناب از اشباع زیاد هسته و اعوجاج موج ثانویه، هسته از فاصله‌های غیر مغناطیسی تهیه می‌گردد.

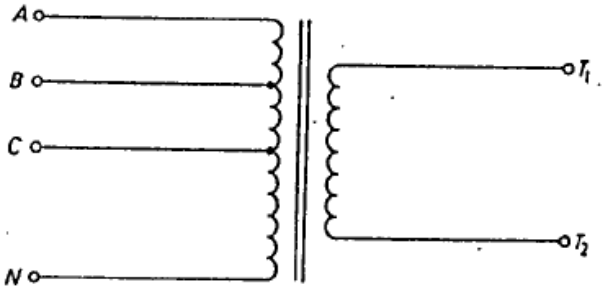
این ترانسفورماتور جریان به طریقی طراحی می‌شود که در شرایط ماکزیمم جریان خطا،

مشخصه خطی داشته و توازن ولتاژ تنها از خطای ترانسفورماتورهای جریان و خازن بین‌هادیهای پایلوت تأثیر پذیرد.

در روشهای نوین، رله‌های دیفرانسیلی همراه با تنظیم متناسب با جریان خطا استفاده می‌گردد. اینکار با یک نیروی باز دارنده (بایاس) انجام می‌گیرد. فیدبکی از جریان خطا، این نیروی باز دارنده را فراهم می‌کند.

در سیستمهای سه فاز می‌توان از حفاظت‌های جداگانه برای هر فاز بهره گرفت. اما تعداد کانالهای پایلوت، هزینه را افزایش می‌دهد. بهمین خاطر جریانهای فاز را در یک مقدار خلاصه می‌کنند و تنها این مقدار در دو طرف خط مقایسه می‌شود.

چنانچه جریانهای سه فاز با یکدیگر جمع گردند، برای تعدادی از خطاها مولفه صفر تولید می‌کنند. باید ترکیبی را برگزید که برای تمام خطاها، خروجی مفید ایجاد نماید. سیم پیچی جمع کننده شکل زیر این ترکیب را نشان می‌دهد.



سیم پیچ جمع کننده

راه دیگر استفاده از یک مقدار بجای مقادیر سه فاز، ادغام مولفه‌های متقارن جریان است. سیستم‌هایی که به مولفه‌های متقارن پاسخ می‌دهند، دو مقدار توالی مثبت و توالی منفی را ادغام کرده و مشابه سیم پیچی جمع کننده، مقداری را برای مقایسه فراهم می‌کنند که در تمام شرایط خطا، پاسخ مناسب فراهم گردد.

اینکار با تنظیم رله در مقدار $I_2 - I_1$ ۶ انجام می‌گیرد که I_1 و I_2 بترتیب مولفه‌های توالی مثبت و منفی جریان می‌باشند.

هادیهای پایلوت در کنار خطوط بلند رفتاری پیچیده داشته و از تداخل القایی تأثیر می‌پذیرند. در هنگام بروز خطا در شبکه قدرت، ولتاژ القایی بر روی مدار پایلوت مجاور به چندین هزار ولت می‌رسد. بعبارت دیگر، خط جانبی در کنار خط انتقال EHV، برای هر وظیفه‌ای که منظور شده باشد، خطرناک بوده و در تمام اوقات بعنوان مدار ولتاژ بالا تلقی می‌گردد.

ولتاژ القایی، توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$e = -0/249\ I_e log\frac{D}{S}$$

که در آن e ولتاژ القایی در هر کیلومتر بر حسب $\frac{V}{Km}$، I_e جریان خطای زمین تکفاز برحسب آمپر D عمق معادل زمین برگشتی (نوعا بین ۴۵۷/۲ تا ۹۱۴/۴ متر) و S فاصله پایلوت ازهادی فاز بر حسب متر می‌باشند.

اگر کابل پایلوت، درون پوشش سربی زمین شده قرار گرفته باشد، ولتاژ فوق به نصف کاهش می‌یابد. این ولتاژ القایی، پتانسیلی یکسان بر روی زوج پایلوت ایجاد می‌کند و در عملکرد پایلوت تأثیری ندارد. بنابراین تنها تنش بر روی عایق تجهیزات پدید می‌آورد که می‌توان از وسایل دشارژ کننده مثل شکافهای هوایی، لامپهای نئون، مقاومتهای غیر خطی سرامیکی و افزایش سطح عایقی تجهیزات استفاده نمود.

در خطوط انتقال بلند مشکلات نصب سیم پایلوت بحدی است که از نصب آن صرف نظر می‌کنند. بهمین خاطر راه حلهای دیگری پیشنهاد می‌شود. استفاده از خط تلفن برای ارتباط دو رله در ابتدا و انتهای خط قابل اجرا است.

اما بعضی از خطوط تلفن برای انتقال سیگنال dc یا سیگنال ac با فرکانس شبکه و یا فرکانسهای ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ هرتز مناسب نیستند. چنانچه مداری برای انتقال سیگنال با فرکانس صوتی منظور گردد، یک باند فرکانس اختصاصی ایجاد خواهد شد.

مناسبترین پیشنهاد برای خطوط فشار قوی بلند، سوار کردن سیگنالهای حامل اطلاعات بر روی خط انتقال است که مطمئن تر و با تلفات کمتر انجام می‌گیرد. در این حالت از فرکانسهای بالا در محدوده ۷۰ تا ۷۰۰ کیلو هرتز استفاده می‌شود. این روش بیشتر همراه با حفاظت دیستانس بکار می‌رود.

۲-۱۳-۴۳- حفاظت کاهش یا افزایش ولتاژ

اگر به هر علتی ولتاژ خط از میزان نامی‌خود کاهش و یا افزایش یابد، حفاظتهای فوق که از ترانسفورماتور ولتاژ سر خط تغذیه می‌گردند، بسته به میزان تنظیم و مقایسه ولتاژ تنظیمی‌و ولتاژ خط در صورت حصور شرایط عمل کرده و فرمان تریپ را صادر می‌کند. همچنین از رله کاهش ولتاژ برای مجاز نمودن عمل بستن سکسیونر زمین سر خط نیز استفاده می‌شود.

۲-۱۳-۴۴- ترکیب دیستانس با سیگنال حامل

همانگونه که در حفاظت دیستانس بیان گردید، محدوده اول حفاظتی برای ۸۰ درصد طول خط تنظیم می‌شود، بنابراین همزمانی قطع دو کلید خط در خطاهای ۲۰ درصد انتهایی از بین می‌رود.
بدین ترتیب یک کلید در زمان محدوده اول حفاظتی و دیگری در زمان محدوده دوم حفاظتی عمل می‌کند که در کاربردهای زیر عدم همزمانی قابل قبول نمی‌باشد.
در سیستمهای قدرت پیچیده، باقی ماندن خطا بر روی خطوط انتقال مهم برای زمان محدوده دوم حفاظتی، باعث ناپایداری شبکه می‌گردد.
هنگام استفاده از وصل مجدد اتوماتیک، باز شدن غیر همزمان دو کلید باعث می‌گردد که زمان مرده ای در طول زمان وصل مجدد اتوماتیک ایجاد نشود و گازهای یونیزه شده از بین نروند.
بنابراین برای خطاهای خطوط انتقال مهم باید یک ارتباط تنگاتنگ بین کلیدهای دو طرف برقرار باشد. با اینکار حفاظت سریع برای کل خط فراهم شده و حفاظت پشتیبان برای خطوط بعدی تهیه می‌شود. اتصال حفاظت دیستانس دو طرف خط توسط یک کانال سیگنالینگ انجام می‌گیرد.
این کانال می‌تواند سیگنال فرکانس بالا HF روی‌هادیهای خط هوایی، فرکانسهای صوتی VF با استفاده از پایلوتها یا کانال ارتباطات PLC، خط رادیویی یا کانال میکرو ویو باشد. هدف از کانال سیگنالینگ، انتقال اطلاعات درباره شرایط سیستم در یک طرف خط به سمت دیگر است. همچنین به حالت اولیه باز گرداندن یا جلوگیری از فرمان قطع کلید را انجام می‌دهد. اولی را فرمان قطع انتقالی و دومی‌را قفل کردن می‌نامند.

۲-۱۳-۴۵- ارسال فرمان قطع

ساده ترین راه استفاده از سیگنال حامل در حذف خطا این است که توسط ارسال سیگنال قطع، کلیدی که بایستی در محدوده ۲ حفاظتی عمل نماید به قطع سریع وادار گردد. اینکار اینترتریپ نیز نامیده می‌شود.
ممکن است قطع غیر مطلوب بخاطر عملکرد ناصحیح یا خطای کانال سیگنالینگ ایجاد گردد، بنابراین برای اطمینان بیشتر، از کنتاکت محدوده ۳ برای نظارت بر صحت زمان قطع بهره گرفته می‌شود. این ترکیب به قطع مجاز معروف است.
اگر ارسال سیگنال بر روی خط هوایی انجام می‌گیرد، و ترکیب اینترتریپ مجاز بکار رود، سیگنال روی قسمت اتصالی شده خط انتقال می‌یابد و قطع کردن سریع به توانایی عبور سیگنال از مسیر اتصالی شده بستگی دارد. حتی در شرایط خطای خارج از محدوده، دریافت کننده بخاطر نویزهای زیاد ناشی از اتصالی، ممکن است اشتباها عمل کرده و قطع نماید.

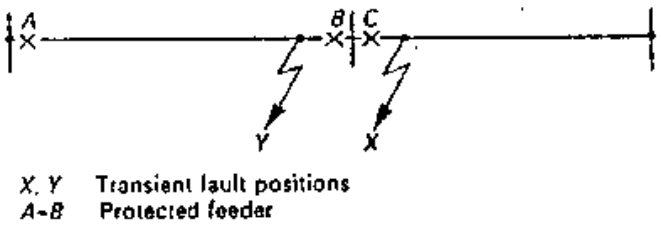
تسریع

روش دیگر استفاده از سیگنال حامل، سرعت بخشیدن به قطع خطا است. واحد حفاظت جهتدار در محدوده اول حفاظتی، سیگنالی را به طرف دیگر خطر ارسال می‌نماید. کنتاکت رله دریافت بطریقی عمل می‌کند که فرمان قطع سریعا از محدوده دوم به محدوده اول تغییر کند. این ترکیب بخاطر زمان مورد نیاز برای تغییر محدوده، سریع نیست ولی بخاطر مطمئن بودن کاربرد وسیعی دارد.

بلوک کردن

در این حالت سیگنال حامل از قطع کلید جلوگیری می‌نماید. بدین صورت که واحدهای تشخیص جهت، در صورت خارجی بودن خطا سیگنال را صادر می‌کنند تا از قطع تسریع شده در انتهای دیگر جلوگیری نمایند. بدین ترتیب انتقال سیگنال از طریق خط سالم انجام می‌گیرد و در زمان وقوع خطای داخلی، سیگنالی انتقال نمی‌یابد. بنابراین سیستم حفاظت مطمئن تر خواهد بود.

زمانیکه از وصل مجدد اتوماتیک سریع بهره گرفته می‌شود، ترکیب بلوک کردن مناسب تر می‌باشد. شکل زیر را در نظر بگیرید.



ترکیب شبکه با وصل مجدد اتوماتیک سریع

زمانیکه خطا در نقطه X رخ دهد و تمام کلیدها به رله‌های وصل مجدد اتوماتیک خیلی سریع مجهز باشند، حتی اگر کانال سیگنال خطا کند، کلید A بهمراه کلید C قطع می‌شود و هر دو مجددا وصل می‌شوند.

اما در ترکیب ارسال فرمان قطع فقط کلید C وصل مجدد می‌شود. پس در ترکیب بلوک کردن، وصل مجدد اتوماتیک در A غیر ضروری است ولی قطع دائمی بهمراه ندارد.

اما اگر خطا در Y رخ دهد، در ترکیب بلوک کردن، هر دو کلید B,A سریعا قطع و مجددا وصل می‌شوند و سیستم در حالت نرمال باقی می‌ماند. اما در ترکیب ارسال فرمان قطع، کلید B

در زمان محدوده اول عمل کرده و با خطا کردن کانال، کلید A درزمان محدوده دوم قطع می‌کند و وصل مجدد اتوماتیک ناموفق خواهد بود.

۲-۱۳-۴۶- حفاظت شینه

در پستها، وقوع خطا در شینه، شبکه را دچار تنش کرده و مشکلات عدیده ای رافراهم می‌آورد. حتی ممکن است فرم فیزیکی شینه را تغییر داده و برای مدتی از سرویس دهی ممانعت بعمل آورد. چنانچه شینه به قسمتهای کوچکتر تقسیم شده و یا شینه‌های دوبل بکار رفته باشد، باید حفاظت جداگانه منظور شود تا و خطا در یک قسمت نتواند وقفه ای در سرویس دهی قسمتهای دیگر ایجاد نماید و باید دقت کافی مبذول داشت که از عملکرد اتفاقی حفاظت در اثر تداخل خارجی جلوگیری بعمل آید.

اکثریت خطاهای شینه، اتصال کوتاه تکفاز به زمین است. جدول ذیل، بررسی بر روی ۱۲۹ خطای شینه را در شبکه قدرت نشان می‌دهد.

سرعت یکی از مهمترین فاکتورها در سیستمهای حفاظت است. در سیستمهای قدیمی‌از رله دیفرانسیل با امپدانس کم بهره گرفته می‌شد. این رله در زمان عملکرد طولانی تا ۰/۵ ثانیه عمل می‌نمود. مدرن ترین ترکیبهای حفاظت شینه، یک سیستم دیفرانسیلی با رله‌های امپدانس بالا است که توانایی عملکرد در حدود یک سیکل را دارد.

به این زمان باید عملکرد رله‌های فرمان قطع را نیز اضافه نمود. زمان ارسال فرمان قطع جمعا به ۲ سیکل نخواهد رسید و با وجود کلیدهای خیلی سریع، رفع کامل خطای شینه در زمان تقریبی ۰/۱ ثانیه انجام می‌گیرد.

از آنجایی که مسئله پایداری در حفاظت شینه، از اهمیت خاصی برخوردار است، اغتشاشات زیر نبایستی باعث عملکرد نادرست رله گردد.

اشکال در ثانویه یک ترانسفورماتور جریان، که توازن جریانی را بر هم زده و سیستم حفاظت شینه تحت شرایط بار طبیعی، فرمان قطع صادر می‌کند.

شوکهای مکانیکی با شدت بالا که عملکرد نامطلوب رله را ایجاد می‌کنند.

به منظور حفظ پایداری و جلوگیری از ارسال فرمان قطع در اثر اشکال در ثانویه ترانس جریان، رله بازبینی ثانویه ترانس جریان بکار می‌رود تا در صورت تشخیص اشکال در ثانویه ترانس جریان، رله مذکور از عملکرد نابجای رله حفاظت شینه جلوگیری نماید. در بعضی از پستهای کلیدی با صرف هزینه اضافی، دو سیستم حفاظتی مستقل بکار گرفته شده و فرمان قطع نهایی از عملکرد هم زمان دورله ناشی می‌شود.

علت خطاها	نوع و تعداد خطاها	جمع خطاها	درصد علت خطاها

	فاز به زمین	دو فاز به زمین	سه فاز به زمین	سه فاز	نامشخص		
جرقه	۲۰	۶	۱	-	-	۲۷	۲۱
خرابی کلید	۱۶	۲	۲	-	-	۲۰	۱۵/۵
خرابی عایق سوئیچگیر	۱۹	۲	-	-	۱	۲۲	۱۷
خرابی عایق دیگر تجهیزات	۴	۱	۱	۳	-	۹	۷
خرابی ترانسفورماتور جریان	۳	-	-	-	-	۳	۲/۳
عملکرد نادرست سکسیونر	۸	۱	۵	۱	-	۱۵	۱۱/۶
علتهای دیگر	۱۷	۳	۱۰	۲	۱	۳۳	۲۵/۶
جمع کل هر نوع خطا	۸۷	۱۵	۱۹	۶	۲	۱۲۹	-
درصد هر نوع خطا	۶۷/۴	۱۱/۶	۱۴/۷	۴/۷	۱/۶	-	۱۰۰

اگر دو وقتی رله‌های صادر کننده فرمان قطع با چند کنتاکت مورد استفاده قرار می‌گیرند، کنتاکتهای فرمان قطع دو رله بصورت سری متصل می‌شوند تا فرمان قطع را با عملکرد هم زمان دو رله ارسال نمایند.

آمار خطاهای شینه جدول

۲-۱۳-۴۷- روش انجام محاسبات رله‌های دیستانس

۲-۱۳-۴۷-۱- زمان عملکرد

تنظیم زمان عملکرد Zoneها در شبکه انتقال ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلووات مطابق با جدول زیر انجام می‌گردد :

	۲۳۰KV	۴۰۰KV
T۱	۰s	۰s
T۲	۰.۴s	۰.۳s
T۳	۰.۸s	۰.۶s
T۴	۱.۲s	۰.۹s
T۵	۳s	۳s

۲-۱۳-۴۷-۲- تنظیمات Zone

مشخصه MHO **یا** Lens

ZL۱ توالی مثبت امپدانس خط حفاظت شده بر حسب اهم می‌باشد.

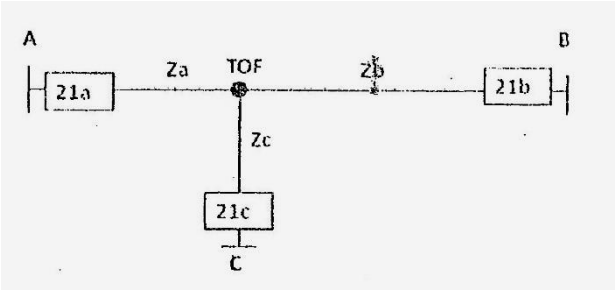
الف – مشخصه Quadrilateral

	Without load encroachment sector	With load encroachment sector
R۱=	→۰.۵×X۱ for X۱≤۵ Ohm →۲۵ Ohm for (۵ Ohm < X۱ ≤۷۵ Ohm) →۱/۳×X۱ for X۱ >۷۵ Ohm	→۰.۵×X۱ for X۱≤۵Ohm →۲۵+۰.۵×X۱forX۱>۵ Ohm → maximum ۱۰۰ Ohm

ب– حالت خاص : Three terminal Line

بست‌هایی که تغذیه خود را به صورت TOF از خط انتقال عبوری گرفته و خط در پست فوق الذکر دارای حفاظت دیستانس باشد را پستهای Three terminal می‌نامند. تنظیمات حفاظت دیستانس برای Three terminal Line به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

در این حالت، برای تنظیمات ۱ Zone امپدانس خط تا نقطه TOF با امپدانس خط تا نزدیک ترین پس بعدی جمع خواهد شد. برای مثال، مطابق باشکل زیر اگر (Za+Zb)<(Za+Zc) باشد:



Three terminal line configuration

۲–۱۳–۴۷–۳– تنظیمات ۲ Zone

مشخصه MHO یا Lens

تنظیم ۲ Zone با توجه به نوع خط انتقال تک مداره یا دو مداره (Single Line Or parallel Line) متفاوت خواهد بود.

Z۲=۱۲۰٪ ZL۱ for single line > ۲۵ Km

=۱۵۰٪ ZL۱ for Parallel Line Or Single line ≤ ۲۵ Km

تعریف خط Parallel

دو خط که در دو نقطه انتهایی به یکدیگر اتصال الکتریکی داشته و بر روی یک دکل قرار داشته باشند.

	Without load encroachment sector	With load encroachment sector
R۲=	→۵×X۲ for X۲≤۵ Ohm →۲۵ Ohm for (۵ Ohm < X۲ ≤۷۵ Ohm) →۱/۳×X۲ for X۲ >۷۵ Ohm	→۵×X۲ for X۲≤۵Ohm →۲۵+۰.۵×X۲ forX۲>۵ Ohm → maximum ۱۰۰ Ohm

الف – حالت خاص Three terminal Line

در این حالت، مطابق با شکل قبل، برای تنظیمات Zon ۲ امپدانس خط تا نقطه TOF با دو برابر امپدانس خط تا دورترین پست بعدی جمع و مقدار ۱۲۰% ضرب خواهد شد.

$$Z۲ = ۱.۲ \times ZL \text{ to the TOF point} + ۲ \times (ZL \text{ from the TOF point to the farthest away})$$

ب– برای مثال، مطابق با شکل Three terminal line اگر $(Za + Zc) < (Za + Zb)$ باشد:

$$Z۲ = ۱.۲ \times (Za + ۲ \times Zb)$$

۲–۱۳–۴۷–۴– تنظیمات Zone۳

تنظیمات Zone۳ با توجه به نوع رله ممکن است به صورت forward کامل و یا همراه با Offset باشد.

مشخصه Mho و Lens :

$$R۱ - Z۳f = ۱.۲ \times (ZL۱ + ZL \text{longest following})$$

$$But \leq ZLimit - Load$$

در صورتی که ترانسفورماتور انتهای خط ۲۳۰/٤۰۰ یا ٤۰۰/۲۳۰ کیلوولت بوده و پست انتهای خط قدیمی‌و مجهز به حفاظت باسبار و CBF قابل اطمینان نباشد :

$$R۱ - Z۳f \leq ZL۱ + Zf - \min$$

در صورتی که ترانسفورماتور انتهای خط ۲۳۰/٤۰۰ یا ٤۰۰/۲۳۰ کیلوولت بوده و پست انتهـای خط قدیمیو مجهز به حفاظت باس بار و CBF قابل اطمینان نباشد:

$$R۱-Z۳f \le ZL۱+۰.۸ZT-min$$

در صورتی که ترانسفورماتورانتهای خط (۱ و ۲۰ و ٦۳ و ۱۳۲) (۲۳۰ و ٤۰۰) کیلوولت باشد:

$$R۱-Z۳f \le ZL۱+۰.۸*ZT-min$$

Minimum reach in any case is۱۵۰٪ ZL۱!

مقدار Zlimit-load از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Z_{limit-load}=\frac{V_{min}^{۲}}{S_{max}}$$

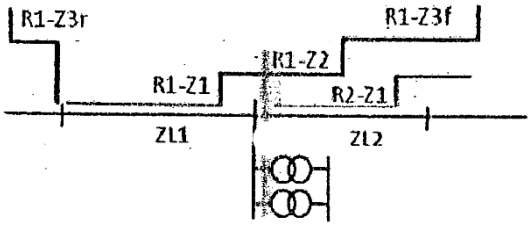
در آن مقدار $V_{min}=۰.۸۵*V_n$ می‌باشد.

ZTmin امپدانس معادل ترانسفورماتورهای پارالل پست بعدی در صورت وجود می‌باشد کـه از روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$\left(\Sigma S_{T-sameLV}\right)=\Sigma\frac{S_{Tn}}{u_T[\%]/۱۰۰}=\frac{S_{T۱}}{u_{T۱}[\%]/۱۰۰}+\frac{S_{T۲}}{u_{T۲۱}[\%]/۱۰۰}+...$$

الف– در حالت Mho Offset

$$R۱-Z۳r=۰.۱\times R۱-Z۳f$$



شکل تنظیمات Zone ۳

ب– مشخصه Quadrilateral

$$R۱-X۳f=۱.۲\times(XL۱+XL\ of\ longest\ following\ line)$$
$$\le ۴۰۰\ Ohm$$

Minimum reach in any case is۱۵۰٪ XL۱!

توجه : محدودیت‌های در نظر گرفته شده در مشخصه MHO باید در این مشخصه نیز در نظر گرفته شود.

در حالت Offset $X3r = 0.1 \times X3f$

	Without load encroachment sector	With load encroachment sector
R3=	→5×X3 for X3≤5 Ohm →25 Ohm for (5 Ohm < X3 ≤75 Ohm) →1/3×X3 for X3 >75 Ohm	→5×X3 for X3 ≤ 5Ohm →25+0.5×X3 forX3 > 5 Ohm → maximum 100 Ohm

برای محاسبه Rlimit-load از رابطه $R_{limit-load} = Z_{limit-load} * \cos\phi$ استفاده شده و مقدار $\cos\phi$ برابر ۰.۸ منظور می‌گردد.

ج–حالت خاص: Three terminal Line

در این حالت، مطابق با شکل قبل، برای تنظیمات Zone ۳ امپدانس خط تا نقطه TOF با دو برابر امپدانس خط تا دورترین پست بعدی جمع و در مقدار ۱۵۰٪ ضرب خواهدشد.

$$Z3 = 1.5 \times \left[\begin{array}{l} \text{ZL to the TOF point} + \\ 2 \times (\text{ZL from the TOF point to the farthest away substation}) \end{array} \right]$$

برای مثال نشان داده شده در قبل :

$$Z3 = 1.5 \times (Za + 2 \times Zb)$$

۲–۱۳–۴۷–۵– تنظیمات ۴ (Reverse) Zone

تنظیمات Zone ٤ در جهت معکوس (Reverse Direction) و مطابق با روابط ذیل محاسبه می‌شود.

مشخصه Mho

$$Z4 = 0.1 \times Z3f, \text{minimum} 6\Omega$$

مشخصه Quadlirateral

$$X4r = 0.1 \times X3f, \text{minimum} 6\Omega$$

	Without load encroachment sector	With load encroachment sector
R٤r=	→5×X٤r for X٤r ≤5 Ohm	→5×X٤r for X٤r ≤5Ohm

	→۲۵ Ohm for (۵ Ohm < X٤r ≤۷۵ Ohm) →۱/۳×X٤r for X٤r >۷۵ Ohm	→۲۵+۰.۵×X٤r for X٤r >۵ Ohm → maximum ۱۰۰ Ohm

۲-۱۳-۴۷-۶- تنظیمات Zone ۵

Zone ۵ با starter ممکن است در برخی رله‌های قدیمی‌وجودنداشته باشد خطای اتصال کوتاه رخ داده در شبکه توسط این Zone تشخیص داده می‌شود. (Fault detector zone) تنظیمات Zone ۵، به اندازه ۱۱۰٪ بزرگتر از بزرگترین Zone تنظیم شده در رله، در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب Zone ۵ تماس Zoneها را پوشش داده و می‌تواند تمامی‌خطاهایی که می‌بایست توسط رله برطرف شود را detect کند.

۲-۱۳-۴۸- روش انجام محاسبات رله‌های DEF

جریان Pick up این رله‌ها برابر $|_{thermal}$ ۱۵۰% * خطا می‌باشد. حداقل مقدار این جریان برای سطح ولتاژ ٤۰۰kv برابر ۳۰۰A و برای سطح ولتاژ ۲۳۰kv برابر با ۲۰۰A می‌باشد. چگونگی تنظیم واحد زمانی این رله‌ها مطابق با روابط زیر انجام می‌گردد. حداکثر زمان برطرف شدن خطا در حالت استفاده از منحنی IEC Normal Inverse در سطوح ولتاژ ۲۳۰ و ٤۰۰ کیلو ولت ۰/۸ ثانیه می‌باشد. این زمان برای رله‌هایی که منحنی IEC Normal Inverse نداشته و با Defininte time کار می‌کنند در سطح ولتاژ ٤۰۰ کیوولت ۰.۹ ثانیه و در ۲۳۰ کیلوولت ۱.۲ ثانیه در نظر گرفته یم شود. لازم ره ذکر است رله‌هایی که منحنی IEC NI و IEC VI را دارا نمی‌باشند، ناقص محسوب شده که باید با رله مناسب جایگزین گردد.

$$I_{Through-max} = \frac{۱.۱Un / \sqrt{۳}}{Z_s + (۱ + K.)z_{l.}}$$

Time delayed ۵۱N and ٦۷N protection	
Definite Time	Inverse Time
٤۰۰ kV : IE> = ۰.۳ kA if ۱۵٪ × I_{therm} ≤ ۰.۳ kA ELSE: ۱۵٪ × I_{therm}	٤۰۰ kV : IEp = ۰.۳ kA if ۱۵٪ × I_{therm} ≤ ۰.۳ kA ELSE: ۱۵٪ × I_{therm}

T (IE>) = ۰.۹ s ۲۳۰ kV : IE> = ۰.۲ kA if ۱۵٪ × $I_{therm} \le$ ۰.۲ kA ELSE: ۱۵٪ × I_{therm} T (IE>) = ۱.۲ s	۲۳۰ kV : IEp = ۰.۲ kA if ۱۵٪ × $I_{therm} \le$ ۰.۲ kA ELSE: ۱۵٪ × I_{therm} NI: $TEp = \frac{0.8}{0.14}\left[\left(\frac{IE_{through-max}}{IE_p}\right)^{0.02} - 1\right]$ VI: $TEp = \frac{0.8}{13.5}\left[\left(\frac{IE_{through-max}}{IE_p}\right)^{1.0} - 1\right]$

۲-۱۳-۴۸-۱- روش انجام محاسبه رله‌های OC و EF ترانسفورماتور

تنظیمات رله‌های OC شامل دو قسمت ۵۰ High set inseaneous و ۵۱ Time delay می‌باشد، اما برای EF تنها از ۵۱N Time delay استفاده می‌گردد. مقدار جریان Pick up برای رله‌های OC، برابر ٪۱۲۰ جریان نامی‌ترانس و برای رله‌های EF، برابر ٪۲۰ جریان نامی‌ترانس در نظر گرفته می‌شود، تنظیم واحد زمانی مطابق با روابط زیر انجام می‌گردد.

دراتو ترانسها جریان اتصال کوتاه $\left(I_{Through-max}\right)$ محاسبه شده، محاسبه شده، می‌بایست حداکثر تا زمان ۱.۵ ثانیه (Clearing time = ۱.۵s) برطرف گردد اما این زمان برا OC و EF در سمت HV ترانسهای معمولی ۱.۲ ثانیه و برای OC و EF در سمت LV به ترتیب ۰/۸ و ۱/۲ ثانیه می‌باشد.

$$I_{Through-max} = \frac{۱۰۰}{uT_{۱-۲}\%} \times \frac{S_{T-n}}{\sqrt{۳}U_N}$$

Overcurrent time protection ۵۰, ۵۱:

Time delayed ۵۱ and instantaneous ۵۰	
High set instantaneous	Inverse Time
$I >>= 1.3 * I_{tlogough-max}$ TI >>= 0.05s	$I_p = 1.2 \times I_{Tn}$ $NI: T_p = \frac{1.5s}{0.14}\left[\left(\frac{I_{through-max}}{1.2I_{Tn}}\right)^{0.02} - 1\right]$ $VI: T_P = \frac{1.5s}{0.14}\left[\left(\frac{I_{through-max}}{1.2I_{Tn}}\right)^{1.0} - 1\right]$

Earth overcurrent time protection ۵۱N:

Time delayed ۵IN
Inevese Time
$NI: T_p = \frac{1.5s}{0.14}\left[\left(\frac{I_{through-max}}{1.2I_{Tn}}\right)^{0.02} - 1\right]$ $VI: T_p = \frac{1.5s}{0.14}\left[\left(\frac{I_{through-max}}{1.2I_{Tn}}\right)^{1.0} - 1\right]$

روابط فوق برای محاسبه تنظیمات رله‌های OC و EF اتوترانسهای --- ٤٠٠ کیلو ولت می‌باشد. برای سایر ترانسها روابط مشابه می‌باشد با این تفاوت که مقدار زمان ۱/۵ ثانیه در فرمول منحنی‌های NI و VI به ۱/۲ ثانیه تغییر خواهد کرد. مقادیر Ip محاسبه شده با توجه به نسبت تبدیل CT به تنظیم رله در ثانویه تبدیل خواهد شد.

۲-۱۳-۵۰- تنظیمات رله‌های Over Current و Earth fault برای راکتور

اصول کلی این تنظیمات همانند رله‌های OC ترانسفورماتور می‌باشد. با این تفاوت که $I_{Through-max}$ استفاده شده در روابط زیر، برابر با جریان نامی‌راکتور می‌باشد. همچنین زمان برطرف شدن خطای حفاظت جریان زیاد رد راکتورها ۱/۵ ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

$$I_{Through-max} = I_{n-reactor}\frac{S_{T-n}}{\sqrt{3}U_N}$$

Time delayed ۵۱ and instantaneous ۵۰	
High set instantaneous	Inverse Time
$I >>= 8 * I_{Rn}$ $TI >>= 0.05s$	$I_p = 1.5 \times I_{Tn}$ $NI: T_p = 0.1$

Time delayed ۵۱N and instantaneous ۵۰N	
High set instantaneous	Inverse Time
$I >>= 8 * I_{Rn}$ $TI >>= 0.05s$	$I_p = 0.2 \times I_{Tn}$ $NI: T_p = 0.35$ $VI: TE_p = 0.44$

۲-۱۳-۵۱- چگونگی محاسبات رله‌های CBF (حفاظت کلید)

حفاظت CBF باید به طریقی تنظیم گردد که قبل از عملکرد Zone ۲ عمل نماید. ماکزیمم زمان عملکرد (total fault clearing time) برابر با ۲۵۰ ms بوده و مطابق زیر دو مرحله انجام می‌گیرد:

زمان مرحله اول (Stage ۱) به عوامل زیر بستگی دارد:

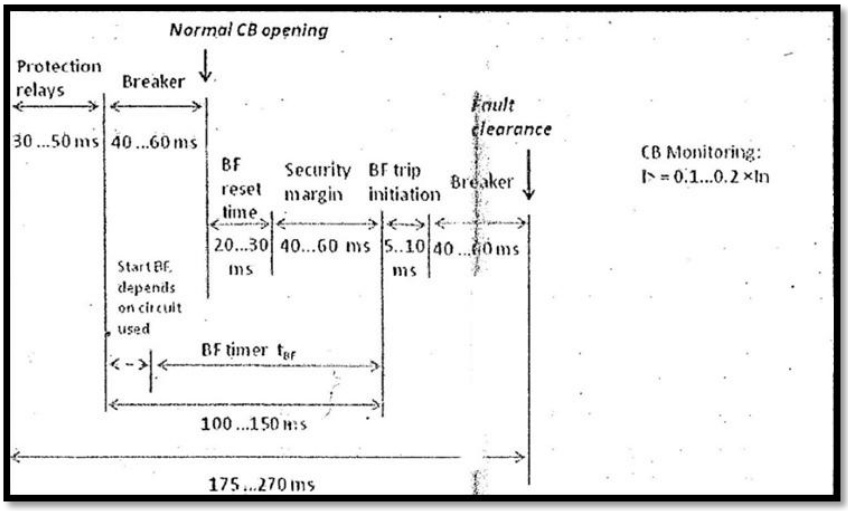
زمان عملکرد بریکرکه به مدار مربوطه و نوع بریکر وابسته است و بین ٤٠ و ٦٠ میلی ثانیه تغییر خواهد کرد.

(۲۰-۳۰ms) BF reset time

محدوده اطمینان (security margin) (٤٠-٦٠ ms)

حداقل زمان در مرحله اول، ۱۰۰ms و حداکثر ۱۵۰ ms در نظر گرفته می‌شود.

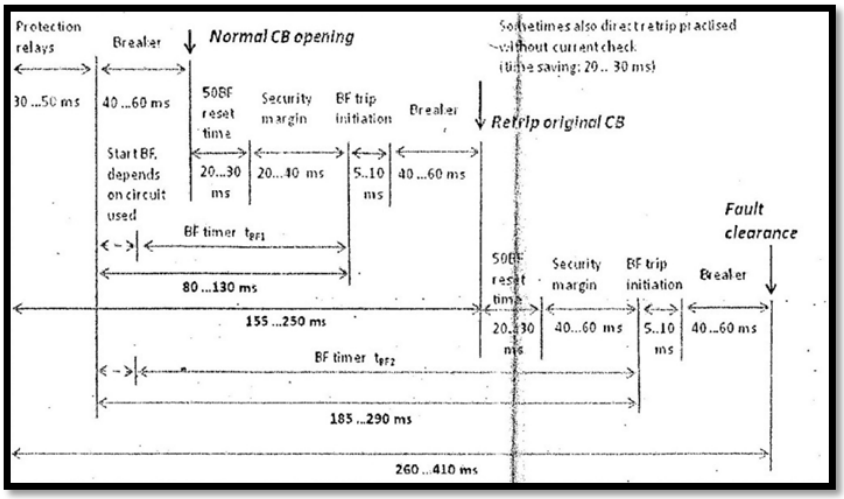
Single step BF protection



زمان مرحله دوم (Stage ۲):

تعیین زمان عملکرد در مرحله دوم همانند stage ۱ بوده با این تفاوت که زمان (۵-۱۰ms) BF trip inititation با زمان عملکرد Breaker به آن اضافه خواهدشد. حداقل زمان در

مرحله دوم، ۱۵۵ms و حداکثر ۲۵۰ms در نظر گرفته می‌شود. همچنین مقدار جریان pick up برای رله‌های CBF مطابق با جریان pick up رله‌های DEF تنظیم می‌گردد.



Double step BF protection

مقدار تنظیمات پیشنهادی برای زمان عملکرد رله CBF، در شبکه ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت به ترتیب در مرحله اول ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی و ثانیه و در مرحله دوم ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی ثانیه در نظر گرفته شده‌است.

مقدار Pick up برای بریکرهای خط ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت به ترتیب ۲۰۰ و ۳۰۰ آمپر و برای بریکرهای Middle و ترانس براساس جریان EF ترانس محاسبه می‌گردد.

۲-۱۳-۵۲- تنظیم رله‌های Over voltage و Under voltage

این تنظیمات برای خط و ترانس مطابق با جدول زیر انجام می‌گردد :

نوع رله	تنظیم ولتاژ	تنظیم زمانی	
		خط	ترانس
OV	U>:۱۱۵٪V_n	٤s	٥s
OV	U>:٥٠٪V_n	٤s	٥s

۲-۱۳-۵۳- تنظیمات رله‌های Over Flux

تنظیمات این رله‌ها در سطوح ولتاژ مختلف مطابق با جدول زیر متفاوت خواهد بود:

سطح ولتاژ		عملکرد	تنظیم زمانی
۴۰۰ , ۲۳۰ kv	۱.۱۲	Alarm	۵s
	۱.۱۵	Trip	۵s
۱۳۲ kv	۱.۱۵	Alarm	۵s
	۱.۲	Trip	۵s
۶۳ , ۶۶ kv	۱.۲	Alarm	۵s
	۱.۲۵	Trip	۵s

در صورتی که این رله‌های داری منحنی IEEE Inverse باشد مطابق با روابط زیر مقادیر تنظیمات رله محاسبه می‌گردد:

$$\text{IEEE Inverse}: K = Tp = \frac{(M-1)^2 * 5}{0.18}$$

$$M = \frac{U/f}{(U/f)_{start}}$$

۲-۱۳-۵۴- تنظیمات حفاظت (stub protection)

تنظیم جریانی این رله‌ها با توجه به جریان اتصال کوتاه باس بار پست محاسبه می‌گردد.

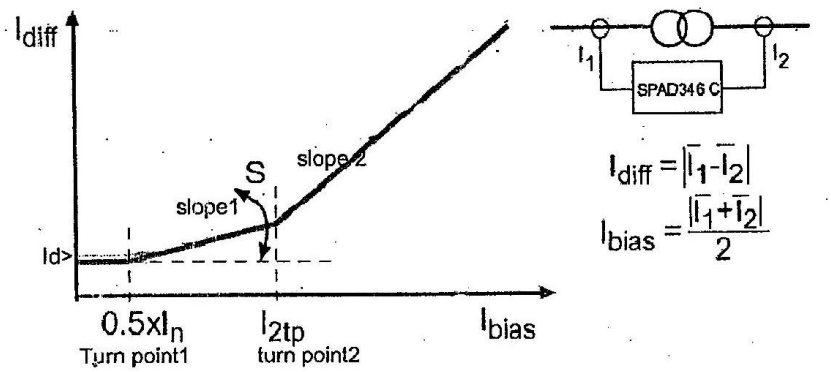
$$I_{stub} = 10\% * I_{through-max}$$

$$I_{through-max} = \frac{Sk}{\sqrt{3}U_n}$$

که در رابطه فوق Sk برابر با سطح اتصال کوتاه باسبار پست و Un ولتاژ نامی باسبار می‌باشد.

۲-۱۳-۵۵- تنظیم رله دیفرانسیل

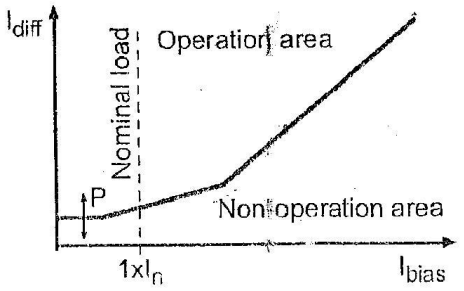
انجام محاسبه تنظیمات رله‌های دیفرانسیل با توجه به نوع رله، کلاس دقت CTها و نوع تجهیز ممکن است متفاوت باشد. عوامل موثر در تنظیم گذاری رله‌های دیفرانسیل ترانسفورمر شامل درصد خطای CTهای طرفین و Tap changer می‌باشد.



Slope۱=HV CT error (%) +LV CT error (%) +Tap (%) +۵٪

$$\text{Basic Setting} = \text{Slope}|X|_{load} + 10\%$$

$$\text{Turn point 1} = I_{bias} = 0.5 * In$$



در صوتی که UK% امپدانس در صد ترانس باشد :

I_f-۱/Uk% =۸ pu

برای محاسبه نقطه شکست دوم فرض می‌شود که جریان بار برابر با I_f/۲ باشد :

Turnpoin۲ = (I_f/۲+I_f/۲)/۲

شیب خط مرحله دوم باید بین ۰/٦ تا ۰/۹تنظیم شود.

Slope ۲ = ۰.٦-۰.۹

۲-۱۳-۵۵-۱- تنظیم قسمت Unrestrained

$I_{unrest.}$=۱.۲*I_f

در صورتی که رله محل تلاقی مشخصه خطی اول را با محور افقی به عنوان نقطه شکست اول دریافت نماید در این صورت باید معادله خط مذکور با استفاده از شیب محاسبه شده ۱ slope

و نقطه ای با مختصات (Turnpoint۱, Basicssetting) نوشته شده و محل تلاقی محاسبه گردد.

برای محاسبه محل تلاقی قسمت خط دوم نیز باید با استفاده از ۲ slope و نقطه Turnpoint ۲ معادله خط نوشته و محل تلاقی محاسبه گردد.

در این گونه رله‌ها، شیب خط مرحله دوم باید بین ۰/٦ تا ۰/۸ تنظیم شود.

Slope ۲ = ۰.٦-۰.۸

توجه : در رله‌هایی که نقاط شکست اول و دوم قابل تنظیم هستند باید به ازای جریان بـار ۰.۵ و ۱ پریونت محاسبات مرجع انجام شود و بـا تنظیمـات موجـود مقایسـه گـردد. در غیـر ایـن صورت تنظیمات مرجع محاسبه شده با ۰.۵ پریونیت به عنوان تنظیم صحیح منظور گردد.

در رله‌هایی که نقاط شکست قابل تنظیم نیستند باید با توجه به کاتالوگ رله یکی از دور روش فوق جهت محاسبه تنظیمات مرجع مورد استفاده قرار گیرد و با تنظیمات موجود مقایسه شود.

۲-۱۳-۵۵-۲- تنظیم رله REF ولتاژی

انجام محاسبه تنظیمات رله‌های REF ولتاژی مطابق با روابط زیر انجام می‌گیرد :

$V_{est} > (R_{ct} + ۲ * RI) * I_{through\ fault}$

$I_{through\ fault}$ = maximum ۳ – phase through fault current

R_L = cable resistance

مقدار R_L معمولاً عددی بین ۱ تا ۱.۵ اهم در نظر گرفته می‌شود.

۲-۱۳-۵۵-۳- تنظیم رله REF جریانی

I_s=HV CT error (%) +Neutral CT error (%) +۵٪

۲-۱۳-۵۶- کدهای حفاظتی

ANSI CODE:

۱ - Master Element
۲ - Time Delay Starting or Closing Relay
۳ - Checking or Interlocking Relay
٤ - Master Contactor
٥ - Stopping Device
٦ - Starting Circuit Breaker
۷ - Anode Circuit Breaker
۸ - Control Power Disconnecting Device
۹ - Reversing Device

١٠ - Unit Sequence Switch
١١ - Reserved for future application
١٢ - Overspeed Device
١٣ - Synchronous-speed Device
١٤ - Underspeed Device
١٥ - Speed - or Frequency, Matching Device
١٦ - Reserved for future application
١٧ - Shunting or Discharge Switch
١٨ - Accelerating or Decelerating Device
١٩ - Starting to Running Transition Contactor
٢٠ - Electrically Operated Valve
٢١ - Distance Relay
٢٢ - Equalizer Circuit Breaker
٢٣ - Temperature Control Device
٢٤ - Over-Excitation Relay (V/Hz)
٢٥ - Synchronizing or Synchronism-Check Device
٢٦ - Apparatus Thermal Device
٢٧ - Undervoltage Relay
٢٨ - Flame Detector
٢٩ - Isolating Contactor
٣٠ - Annunciator Relay
٣١ - Separate Excitation Device
٣٢ - Directional Power Relay
٣٣ - Position Switch
٣٤ - Master Sequence Device
٣٥ - Brush-Operating or Slip-Ring Short-Circuiting, Device
٣٦ - Polarity or Polarizing Voltage Devices
٣٧ - Undercurrent or Underpower Relay
٣٨ - Bearing Protective Device
٣٩ - Mechanical Conduction Monitor
٤٠ - Field Relay
٤١ - Field Circuit Breaker
٤٢ - Running Circuit Breaker
٤٣ - Manual Transfer or Selector Device
٤٤ - Unit Sequence Starting Relay
٤٥ - Atmospheric Condition Monitor
٤٦ - Reverse-phase or Phase-Balance Current Relay
٤٧ - Phase-Sequence Voltage Relay
٤٨ - Incomplete Sequence Relay
٤٩ - Machine or Transformer, Thermal Relay
٥٠ - Instantaneous Overcurrent or Rate of Rise, Relay
٥١ - AC Time Overcurrent Relay

٥٢ - AC Circuit Breaker
٥٣ - Exciter or DC Generator Relay
٥٤ - High-Speed DC Circuit Breaker
٥٥ - Power Factor Relay
٥٦ - Field Application Relay
٥٧ - Short-Circuiting or Grounding (Earthing) Device
٥٨ - Rectification Failure Relay
٥٩ - Overvoltage Relay
٦٠ - Voltage or Current Balance Relay
٦١ - Machine Split Phase Current Balance
٦٢ - Time-Delay Stopping or Opening Relay
٦٣ - Pressure Switch
٦٤ - Ground (Earth) Detector Relay
٦٥ - Governor
٦٦ - Notching or Jogging Device
٦٧ - AC Directional Overcurrent Relay
٦٨ - Blocking Relay
٦٩ - Permissive Control Device
٧٠ - Rheostat
٧١ - Level Switch
٧٢ - DC Circuit Breaker
٧٣ - Load-Resistor Contactor
٧٤ - Alarm Relay
٧٥ - Position Changing Mechanism
٧٦ - DC Overcurrent Relay
٧٧ - Pulse Transmitter
٧٨ - Phase-Angle Measuring or Out-of-Step Protective Relay
٧٩ - AC Reclosing Relay
٨٠ - Flow Switch
٨١ - Frequency Relay
٨٢ - DC Reclosing Relay
٨٣ - Automatic Selective Control or Transfer Relay
٨٤ - Operating Mechanism
٨٥ - Carrier or Pilot-Wire Receiver Relay
٨٦ - Lockout Relay
٨٧ - Differential Protective Relay
٨٨ - Auxiliary Motor or Motor Generator
٨٩ - Line Switch
٩٠ - Regulating Device
٩١ - Voltage Directional Relay
٩٢ - Voltage and Power Directional Relay
٩٣ - Field Changing Contactor

٩٤ - Tripping or Trip-Free Relay
٩٥ - Reluctance Torque Synchrocheck
٩٦ - Autoloading Relay

منابع

١-Distribution network , juan m.Gers & Edward j.Holms Protection of electricity

٢- استاندارد طراحی بهینه پستهای ٢٣٠ و ۴٠٠ کیلوولت، جلد ٢١٩ توانیر

٣- حفاظت الکتریکی، طهماسبقلی شاهرخ شاهی

۴- رله و حفاظت سعید سلطانی