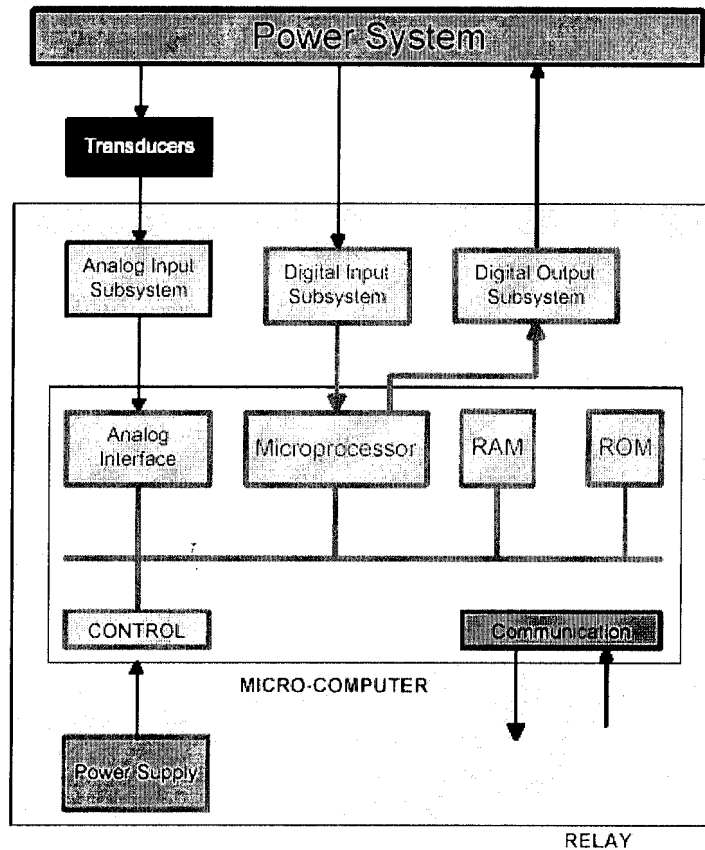


دانشگاه صنعت آب و برق
(شهر شاهرود)

حفاظت سیستم های قدرت



دکتر مجتبی خدرزاده

مهر ۱۳۸۲

فهرست مندرجات

- فصل اول: مقدمه و کلیات..... ۱
- فصل دوم: مبانی عملکرد رله ها..... ۱۰
- فصل سوم: ترانسفورماتورای ولتاژ و جریان..... ۱۷
- فصل چهارم: ساختمان داخلی رله ها..... ۳۴
- فصل پنجم: حفاظت جریان زیاد..... ۹۲
- فصل ششم: حفاظت ژنراتور..... ۱۰۸
- فصل هفتم: حفاظت ترانسفورماتور..... ۱۱۴
- فصل هشتم: رله جهت دار..... ۱۱۷
- فصل نهم: حفاظت دیستانس..... ۱۲۱

فصل اول: مقدمه و کلیات

شبکه های قدرت الکتریکی از ژنراتورها، ترانسفورماتورها، خطوط انتقال و توزیع و تجهیزات دیگر تشکیل می شوند. جریانهای شدید متناظر با اتصال کوتاه در شبکه ها در صورتی که رله های حفاظتی و کلید های قدرت برای هر بخش از شبکه پیش بینی نشده باشند، می توانند به تجهیزات آسیب برسانند. معمولاً اتصال کوتاه را خطا می گویند. بعضی از اشکالات دیگر به غیر از اتصال کوتاه نیز خطا تلقی می شوند. به عنوان مثال، نقص مسیر هدایت جریان بر اثر پارگی هادی نوعی خطاست. به طور کلی خطا مفهوم کلی تر داشته و علاوه بر اتصال کوتاه شامل اشکالات و شرایط غیرعادی دیگر نیز می گردد. اتصال کوتاه نقصی است که سبب می شود جریان از مسیر اصلی خود منحرف شود. اتصالی به علت از بین رفتن مقاومت عایقی و یا برقرار شدن ارتباط الکتریکی بین فاز های مختلف و یا فازها با زمین به وجود می آید. معمولاً امپدانس نقطه اتصال کم و مقدار جریان افزایش می یابد. در مدت اتصالی ولتاژهای سه فاز نامتعادل شده و تغذیه مدارهای مجاور هم تحت تاثیر این اتصالی واقع می شوند. جریانهای خطا زیاد بوده و نه تنها به خود دستگاهی که دارای اتصال می باشد آسیب می رساند، بلکه تجهیزاتی که جریان اتصالی از آنها می گذرد نیز دچار صدماتی می شوند. اتصالی در بخشی از تجهیزات مهم می تواند پایداری شبکه را نیز تحت تاثیر قرار دهد.

۱-۱ هدف از حفاظت شبکه های قدرت

اگر در یکی از اجزای شبکه خطایی رخ دهد، یک دستگاه حفاظتی خودکار برای جدا کردن جزء تحت خطا با حداکثر سرعت ممکن به منظور حفظ بخش های سالم شبکه در بهره برداری عادی مورد نیاز خواهد بود. خطا باید در کسری از ثانیه برطرف شود. اگر اتصال کوتاه روی شبکه به مدت طولانی تر بماند، ممکن است به بخش های مهم آن آسیب وارد نماید. جریان اتصال کوتاه شدید می تواند موجب آتش سوزی گردیده و در شبکه گسترش یابد و سبب خسارت بخش هایی از آن گردد. ولتاژ شبکه ممکن است به سطح پایینی نزول کرده و یک ژنراتور و یا گروهی از ژنراتورها در نیروگاه های مختلف از سنکرون خارج شوند. بنابراین یک اتصال کوتاه سنگین که به موقع برطرف نگردد میتواند سبب اشکال در کل شبکه شود. یک طرح حفاظتی شامل کلیدهای قدرت و رله های حفاظتی برای جدا کردن بخش تحت خطای شبکه از بخش های سالم می باشد. کلید قدرت قادر است بخش تحت خطا را در صورت دریافت دستور از رله حفاظتی از بقیه بخش ها جدا نماید. وظیفه رله حفاظتی آشکار سازی و تعیین محل خطا بوده و پس از آن صدور فرمان قطع به کلید قدرت برای جدا کردن بخش تحت خطا است. رله حفاظتی دستگاهی است که شرایط غیر عادی در شبکه را با نظارت مداوم کمیات الکتریکی احساس می کند. کمیات الکتریکی در شرایط عادی و غیر عادی با یکدیگر تفاوت دارند. کمیات الکتریکی اصلی که در هنگام شرایط غیر عادی تغییر می نمایند عبارتند از جریان، ولتاژ، زاویه فاز (جهت) و فرکانس. رله های حفاظتی از یک یا چند کمیات برای آشکار نمودن شرایط غیر عادی در شبکه استفاده می کنند.

حفاظت نه تنها در مقابل اتصال کوتاه ها مورد نیاز بوده بلکه در قبال سایر شرایط غیر عادی دیگر که امکان بروز دارند نیز ضرورت دارد. مثال هایی از شرایط غیر عادی سرعت زیاد ژنراتورها و موتورها، ولتاژ زیاد، فرکانس کم، قطع تحریک، گرمایش استاتور ها و روتور ماشین و نظایر آن هستند. رله های حفاظتی برای آشکار کردن این گونه شرایط غیر عادی و اعلام خبر و یا قطع کلید نیز به کار می روند.

وظیفه رله حفاظتی پیشگیری و ممانعت از بروز خطا نبوده، بلکه وظیفه خود را تنها پس از بروز خطا ایفا می کند. با این وجود یک استثنا بر این مورد رله بوخهولتز است که برای حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت به کار می رود. بعضی وقت ها، شکست تدریجی عایق بر اثر قوس های جزئی در ترانسفورماتور قدرت رخ داده و سبب تولید حرارت و تجزیه روغن و عایق جامد ترانسفورماتور می گردد. در چنین شرایطی گاز تولید شده در محفظه بوخهولتز انباشته می شود. وقتی که گاز انباشته شده به حجم

معینی برسد، رله بوخهولتز عمل کرده و اعلام خبر خواهد نمود. این کار به معنای هشدار اولیه برای وقوع خطاهای بعدی است. در این صورت ترانسفورماتور از مدار خارج و قبل از آنکه خطای جزئی تبدیل به یک خطای عمده شود، تعمیرات لازم انجام می گیرد. بدین ترتیب از بروز خطاهای عمده جلوگیری خواهد شد. اگر تشکیل گاز خیلی سریع باشد، رله بوخهولتز فوراً کلید قدرت را باز می نماید. هزینه تجهیزات حفاظتی معمولاً حدود ۵٪ قیمت کل شبکه می باشد.

۲-۱ علل بروز خطا

علل بروز خطا در شبکه را به صورت ذیل می توان بیان کرد:

الف) عایق سالم در تجهیزات در معرض اضافه ولتاژهای گذرا با زمان کوتاه و یا ضربه های ناشی از کلید زنی و صاعقه، به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم قرار می گیرد. این موضوع سبب آسیب ایزولاسیون شده و منجر به عبور جریان اتصال کوتاه می شود. جریان اتصال کوتاه می تواند بسیار بیشتر از جریان نامی بوده و حتی در بعضی موارد تا ۳۰ برابر آن نیز برسد. به عنوان مثال، اگر یک توربو ژنراتور دارای ولتاژ داخلی $1/0 p.u$ و راکتانس طولی $0/1 p.u$ باشد، آنگاه جریان اتصال کوتاه سه فاز برابر $10 = E/X_d = 1/0/1$ یا ۱۰ برابر جریان نامی خواهد شد. جریان اتصال کوتاه برای خطاهای دیگر مانند فاز به فاز، دو فاز با زمین و سه فاز با زمین باید از محاسبات اتصال کوتاه به دست آید. شایان ذکر است که جریان اتصال کوتاه سه فاز شدیدتر از دو فاز با زمین و به ترتیب دو فاز و نهایتاً تک فاز می باشد.

ب) علت دیگر خطا پیر شدن عایق بوده که سبب شکست الکتریکی حتی در ولتاژ عادی می گردد.

ج) علت سوم بروز خطا اجسام خارجی نظیر شاخه درختان، پرندگان و نظایر آن بوده که سبب اتصالی دو هادی با یکدیگر و یا یک هادی با زمین می شود.

۳-۱ انواع خطاها

در شبکه های سه فاز ماهیت و نوع خطاها معمولاً به صورت زیر طبقه بندی می شوند:

- خطاهای فاز و زمین
- خطاهای دائمی
- خطاهای گذرا و
- خطاهای نیمه گذرا

خطاهایی که در برگیرنده بیشتر از یک فاز بوده و لو به زمین ارتباط داشته یا نداشته باشند به عنوان خطاهای فاز تعلق می شوند. خطاهایی که شامل هر یک از فازها با زمین باشند به عنوان خطای زمین منظور می گردند. بنابراین یک شبکه در معرض مجموعاً ده نوع خطا خواهد بود. شایان ذکر است خطای دو فاز با زمین به عنوان یک خطای فاز به جای خطای زمین محسوب می گردد. برای هر یک از حالات فاز به زمین، دو فاز با یکدیگر و دو فاز با زمین سه ترکیب متفاوت وجود داشته که با حالت اتصالی سه فاز مجموعاً ده ترکیب خواهد شد.

خطاهای دائمی بر اثر شکستن و یا سوراخ شدن مقره ها، پاره شدن هادی ها، سقوط اجسام روی هادی ها رخ می دهند. این گونه خطاها بوسیله رله ها آشکار شده و کلید قدرت را باز می کنند. خطاهای گذرا دارای دوره کوتاهی بوده و بر اثر اضافه ولتاژهای گذرا ایجاد می شوند. این خطاها بر اثر جرقه روی مقره ها ناشی از اضافه ولتاژهای گذرای غیر عادی به وجود می آیند و سیستم حفاظتی آنها را تشخیص داده و با قطع کلید قدرت برطرف می سازد. بعد از مدت زمانی مسیر خطا غیر یونیزه شده و با وصل خودکار کلید قدرت شبکه به حالت عادی باز می گردد.

خطاهای نیمه گذرا بر اثر اجسام خارجی نظیر شاخه درختان و یا جوندگان رخ می دهند. در خطوط فشار متوسط وصل مجدد خودکار کلید قدرت در چند مرحله سبب سوختن جسم خارجی شده و لذا خطا برطرف می گردد. چنین وصل مجددی

با چندین مرحله عمدتاً در خطوط فشار متوسط به کار می روند. زیرا سطوح خطا کم می باشند. از این گونه سیستم ها در خطوط فشار قوی به دلیل جریانه‌های شدید و خسارات بعدی کمتر استفاده می گردد.

۴-۱ آمار خطاها

همان گونه که اشاره شد، شبکه های قدرت در معرض خطا های دائمی و گذرا هستند. اغلب خطا های تک فاز گذرا می باشد. برای افزایش قابلیت اطمینان و غلبه بر این نوع خطاها می توان از وصل مجدد خودکار در یک مرحله استفاده کرد. اگر در وصل مجدد خودکار کلید قدرت، خطا از نوع دائمی بوده و ماندگار باشد، عملکرد صورت گرفته موفقیت آمیز نبوده و کلید قدرت در موفقیت باز باقی می ماند. در این حالت جا به جایی قابل توجهی در بار خطوط رخ خواهد داد. بنابراین انتخاب سیستم وصل مجدد خودکار بستگی به آمار رخداد خطاها به طور طبیعی دارد.

در واقع اگر اغلب خطاها ماهیت گذرا داشته باشند، آن گاه استقرار سیستم وصل مجدد خودکار یک ضرورت بوده و عملکرد آن موفقیت آمیز خواهد بود. هیچ طرح حفاظتی به خودی خود قادر به تشخیص خطای گذرا از دائمی نمی باشد. به طور آماری ۸۰٪ خطاها گذرا و ۲۰٪ آنها دائمی هستند. بنابراین وصل مجدد کلیدها همواره صرفنظر از نوع خطا قابل به کار گیری است. در خطاهای گذرا عملکرد آن موفقیت آمیز بوده و قابلیت اطمینان فراهم می شود و در خطاهای دائمی نا موفق بوده و سبب قطع بخشی از تغذیه الکتریکی می گردد.

۵-۱ هدف و ویژگی رله های حفاظتی

مهمترین خطا در شبکه ها اتصال کوتاه می باشد. خطا منجر به شرایط غیر عادی گوناگونی نظیر تغییر در جریان، ولتاژ، فرکانس، زاویه فاز، جهت توان و نظایر آن می گردد. اکثر رله ها به وسیله ولتاژ یا جریان و یا هر دو از طریق ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان تغذیه می شوند. هدف ترانسفورماتورهای جریان (CT) و ترانسفورماتورهای ولتاژ (PT) کاهش سطوح ولتاژ و جریان به مقادیر قابل استفاده برای رله ها و نیز جدا کردن رله ها از ولتاژهای بالا است. وظیفه اصلی رله را به این ترتیب می توان بیان کرد. رله بخشی از شبکه به هم پیوسته را که تحت خطا واقع شده تشخیص داده و به کمک کلید قدرت آن را از قسمت های سالم با حداکثر سرعت ممکن جهت جلوگیری از خسارت و حفظ ایمنی و اطمینان تغذیه ما بقی شبکه جدا می سازد. شایان ذکر است که رله ها همراه با کلید قدرت نقش خود را ایفا می نمایند. اگر از فیوز برای حفاظت استفاده شود، آنگاه تشخیص خطا و قطع جریان هم زمان صورت می گیرد. کیفیت سیستم های حفاظتی بستگی به حساسیت، قدرت انتخاب گری، سرعت و قابلیت اطمینان دارد. این موارد بعداً بحث خواهد گردید.

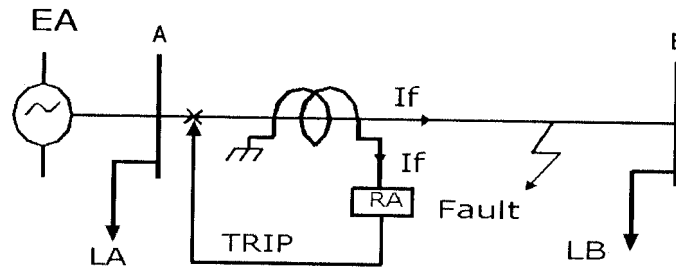
۶-۱ مکان رله ها و کلید قدرت

هر جزء از شبکه قدرت یا از یک سو (تغذیه یکسویه) و یا از دو طرف (تغذیه دو سویه) تغذیه می شوند. در حالت تغذیه یکسویه کلید قدرت صرفاً در یک سر نصب می گردد، و آن طرفی است که جریان اتصال کوتاه می گذرد. در حالت تغذیه دو سویه، جریان اتصال کوتاه از هر دو طرف جاری شده و لذا کلید قدرت در هر دو سر مورد نیاز است. در زیر چند مثال ساده ارائه می گردد.

۱-۶-۱ خطوط شعاعی با تغذیه یکسویه

شکل ۱-۱ نمودار تک خطی یک شبکه سه فاز شعاعی AB را که ازدو سر تغذیه می شود نشان می دهد. هیچ گونه منبعی در سمت راست موجود نیست. به این، خط شعاعی با تغذیه یکسویه گویند چون جریان خطا تنها از یک طرف جاری می شود. همانگونه که در شکل پیداست روی باس های A, B بار به نامهای L_A, L_B وجود دارند.

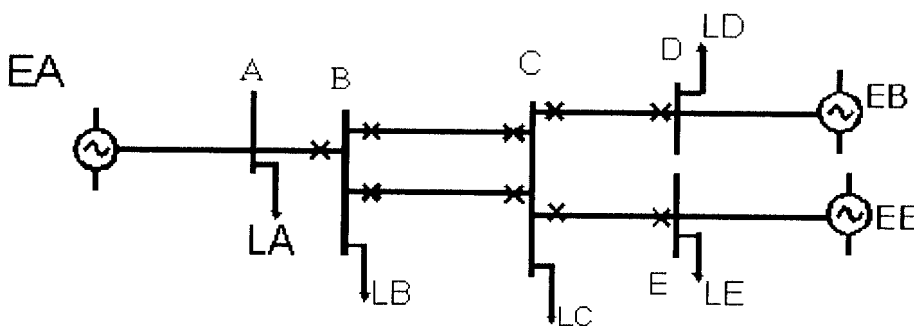
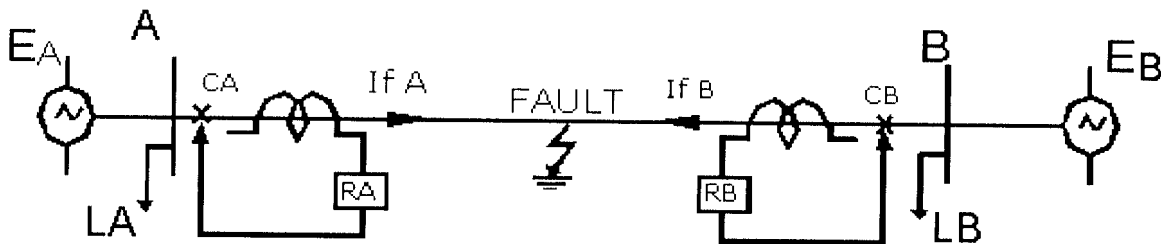
همانگونه که از شکل پیداست، خط تحت خطا باید صرفاً از سر A قطع شود. این کار به کمک رله R_A که از جریان خطای I_F تغذیه می گردد عملی می گردد. رله و کلید قدرت خط تحت خطا را از مابقی شبکه جدا می نمایند. شایان ذکر است در اینصورت بار L_B قطع شده ولی L_A برقرار می ماند.



شکل ۱-۱ خط شعاعی با تغذیه یکسویه

۱-۶-۲- خطوط با تغذیه دو سویه

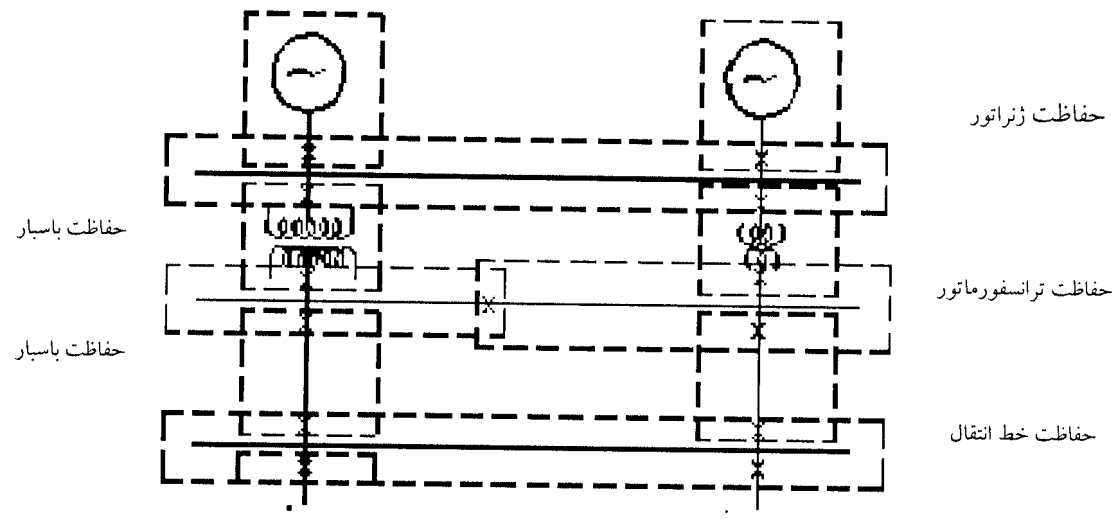
برای بهبود قابلیت اطمینان برق رسانی به بار L_B ضرورت دارد که منبع دیگری به B متصل گردد. این موضوع در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. جریان خطا اکنون از دو سر خط جاری شده و لذا کلید قدرت در هر دو طرف مورد نیاز می باشد. رله ها و کلیدهای دو طرف برای جدا کردن خط از منابع باید عمل کنند. پس بار L_A از سر A و بار L_B از سر B تغذیه می گردند. تداوم برق رسانی به هر دو بار تا حدود زیادی حفظ می گردد، جز آنکه توان عبوری از A به B یا برعکس قطع شود.



شکل ۲-۱ شبکه های دو سو تغذیه

۱-۷ ناحیه حفاظتی

هر رله حفاظتی برای خود یک ناحیه حفاظتی ایجاد می کند که به آن ناحیه حفاظتی اصلی گویند. خطا در ناحیه حفاظتی سبب عملکرد رله می شود که آنرا خطای داخلی می نامند. خطا در خارج از این ناحیه حفاظتی سبب عملکرد رله نمی شود و لذا به آن خطای خارجی یا عبوری گویند.



حفاظت باسیار

شکل ۱-۵ نواحی حفاظتی

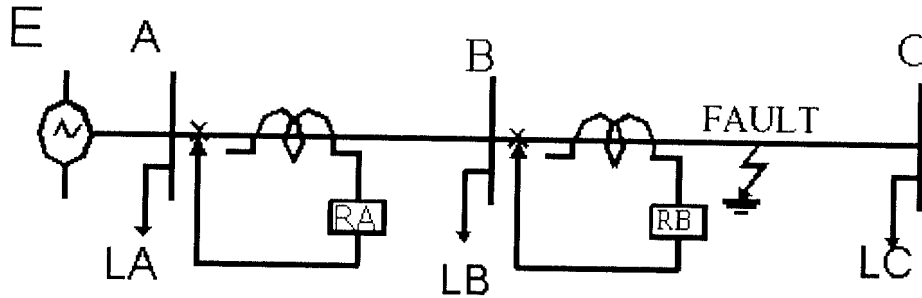
بنابراین، شبکه قدرت که از تجهیزات مختلفی چون ژنراتور، ترانسفورماتور، خط انتقال و توزیع تشکیل می گردد و توزیع تشکیل می گردد به تعدادی ناحیه حفاظتی تقسیم می گردد. هر ناحیه حفاظتی یک یا حداکثر دو عنصر شبکه را پوشش می دهد. نواحی حفاظتی طوری طراحی می شوند که تمامی شبکه قدرت را پوشش داده و لذا هیچ بخشی از آن بدون حفاظت نماند. نواحی مختلف حفاظتی در یک شبکه قدرت در شکل ۱-۵ ارائه شده است.

نواحی حفاظتی مجاور باید با یکدیگر همپوشانی داشته باشند، زیرا در غیر این صورت ممکن است خطای واقع در مرز نواحی حفاظتی به دلیل عدم دقت در اندازه گیری و نظایر آن در هیچیک از نواحی واقع نگردیده و لذا هیچیک از کلیدها عمل نکنند. بنابراین، همپوشانی بین نواحی مجاور اجتناب ناپذیر است. اگر خطایی در ناحیه مشترک روی دهد، کلیدهای بیشتری برای جدا کردن ناحیه تحت خطا عمل می کنند. با کاهش وسعت ناحیه مشترک، می توان احتمال رخداد خطا در آن بخش را کاهش داد تا کلیدهای اضافی به ندرت عمل کنند.

۱-۸ حفاظت اصلی و پشتیبان

۱-۸-۱ حفاظت اصلی

هر عنصر شبکه قدرت حفاظت اصلی و پشتیبان همراه با کلیدهای قدرت مورد نیاز می باشد. دلیل آن امکان نقص حفاظت اصلی است. شکل ۱-۶ را در نظر بگیرید که در آن دو خط شعاعی AB و BC وجود دارند و از یک طرف تغذیه می شوند. بارهای محلی L_A, L_B, L_C در باسهای A, B, C موجود هستند. اکنون خطایی را روی خط BC که از سمت منبع E_A تغذیه می شود فرض نمائید.



شکل ۱-۶ بیان حفاظت اصلی و پشتیبان

در این حالت رله R_B وظیفه تشخیص خطا و باز کردن کلید متناظر روی باس B را بر عهده دارد. پس از آن بار LC قطع می شود ولی بارهای L_A و L_B در مدار باقی خواهند ماند. رله R_B حفاظت اصلی برای خط BC است. به مین ترتیب رله R_A وظیفه حفاظت از خط AB را به عهده داشته و به عنوان حفاظت اصلی آن محسوب می گردد.

۱-۸-۲ حفاظت پشتیبان

بعضی مواقع امکان دارد حفاظت اصلی عمل نکند دلایل متعددی برای عدم عملکرد موفقیت آمیز یک سیستم حفاظتی وجود دارد که بعضی از آنها عبارتند از:

الف) نقص CT و یا PT

ب) نقص سیم کشی بین CT و یا PT و رله

ج) نقص رله برای عملکرد به دلیل عدم نگهداری مناسب

د) نقص تغذیه DC بر اثر شارژ ناکافی باتریها

ه) نقص مدار قطع کلید قدرت

و) نقص کلید قدرت برای باز شدن

اگر سیستم حفاظتی اصلی بنا به دلایل فوق و یا نظایر آن موفق به باز کردن خط دارای خطا نگردد آنگاه لازم است سیستم حفاظتی پشتیبان با فاصله زمانی مشخصی عمل نماید. در شکل ۱-۶ رله R_A پشتیبان R_B محسوب می گردد و در موقعی که R_B و کلید متناظر با آن در حالت وجود خطا روی خط BC قادر نباشد خط را جدا کند آنگاه رله R_A با تاخیر عمل کرده و خطا با باز شدن کلید A برطرف می گردد. در این صورت علاوه بر قطع بار LC بار LB هم جدا می شود.

بطور کلی سه نوع حفاظت پشتیبان میتوان طراحی نمود:

الف) حفاظت پشتیبان از راه دور

ب) حفاظت پشتیبان محلی

ج) حفاظت کلید قدرت

در حالی که رله های حفاظتی پشتیبان و سیستمهای متناظر با آن در ایستگاه مجاور قرار داشته باشند آنگاه پشتیبانی از تمامی طرح حفاظتی اصلی شامل رله ها، کلید، قدرت PT, CT و سایر تجهیزات مرتبط به عمل خواهد آمد. بر اثر نقص هر یک از اجزای سیستم حفاظتی اصلی، پشتیبانی از راه دور صورت میگیرد. این نوع پشتیبانی ارزانترین و ساده ترین نوع بوده و بطور گستردهای در خطوط انتقال استفاده می شود. پشتیبانی از راه دور مطلوب ترین حالت پشتیبانی بوده زیرا عوامل موثر در نقص سیستم حفاظتی اصلی در آن تاثیری ندارند. در شکل ۱-۶ حفاظت اصلی و پشتیبان از راه دور نشان داده شده است.

در حفاظت پشتیبان محلی از یک یا چند رله اضافی برای پشتیبانی از رله اصلی استفاده میگردد. در این صورت رله اصلی و پشتیبان به یک کلید فرمان می دهند. در بعضی طرحها رله اصلی و پشتیبان همسان بوده و لذا عملکرد رله اصلی و پشتیبان بدون فاصله زمانی صورت میگیرد و در موارد دیگر رله پشتیبان کندتر از رله اصلی میباشد. اگر رله اصلی عمل نکند رله پشتیبان با تاخیر

ولی قبل از عملکرد پشتیبان از راه دور موجب باز شدن کلید خواهد شد. در حفاظت پشتیبان محلی تلاش می شود حتی الامکان عوامل موثر در سیستم حفاظت اصلی مستقل از پشتیبان باشد.

حفاظت کلید قدرت نیز نوعی حفاظت محلی محسوب میگردد و برای حفاظت باسبار در مواردی که تعدادی کلید قدرت به آن متصل می باشد بکار می رود. وقتی که رله در پاسخ به یک خطا عمل کرده ولی کلید قدرت باز نمیشود خطا به عنوان خطای باسبار تلقی میشود. در چنین شرایطی ضروری است که تمامی کلیدهای روی باسبار قطع گردند. بنابراین پس از ارسال فرمان قطع توسط رله اگر پس از گذشت زمان مشخصی کلید مربوطه باز نشود رله پشتیبان کلید قدرت فعال شده و تمامی کلیدهای متصل به آن باسبار را قطع میکند.

۱-۹ ویژگی اصلی سیستم های حفاظتی

نیازمندیهای اصلی یک سیستم حفاظتی عبارتند از :

الف) قدرت انتخاب گری یا تمایز

ب) قابلیت اطمینان

ج) حساسیت

د) پایداری

ه) عملکرد سریع

۱-۹-۱ قدرت انتخاب گری یا تمایز

قدرت انتخاب گری معیاری کیفی برای یک سیستم حفاظت است که بر اساس آن میتواند بین خطا در ناحیه تحت حفاظت و شرایط عادی تفاوت قابل شود. همچنین سیستم حفاظتی باید قادر باشد بین وجود خطا در ناحیه خود و یا خارج از آن تمیز بدهد.

بعضی وقتها به این معیار کیفی قدرت تمایز هم می گویند. وقتی که خطائی در شبکه رخ میدهد فقط بخشی از شبکه که در آن خطا واقع شده باید جدا شود. بخشهای سالم نباید از تامین برق محروم شده و لذا نباید در آنها عملیاتی صورت گیرد. سیستم حفاظتی همچنین باید بتواند بین شرایط خطا و حالات گذرا همچون جریان هجومی ترانسفورماتور و یا نوسانات قدرت تفاوت بگذارد. جریان مغناطیس کنندگی یک ترانسفورماتور بزرگ قابل مقایسه با جریان خطا بوده و ممکن است به ۵ تا ۷ برابر جریان بار کامل برسد. هنگامی که ژنراتورهای دو واحد تولیدی در یک شبکه به هم پیوسته بر اثر وجود اختلال از حالت سنکرون خارج شوند جریانهای شدیدی از تجهیزات و خطوط عبور می نمایند که نظیر اتصال کوتاه هستند. عبور این جریانهای شدید به نوسان قدرت مرسوم است. رله حفاظتی برای تفاوت گذاشتن بین نوسان قدرت و خطا یا باید به مشخصه ذاتی خود متکی بوده و یا آنکه رله کمکی جداگانه ای برای این منظور پیش بینی گردد. بنابراین سیستم حفاظتی باید بین شرایطی که نیاز به عملکرد عادی بوده و شرایطی که به عملکرد نیازی نیست تمایز قائل شود.

۱-۹-۲ قابلیت اطمینان

یک سیستم حفاظتی در موقعی که خطا در ناحیه حفاظتی آن رخ میدهد باید بطور مطمئن عمل کند. نقص سیستم حفاظتی بر اثر یک نقص در یک یا چند عضو آن خواهد بود. مهمترین اجزای یک سیستم حفاظتی رله، کلید قدرت، ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ، سیمهای ارتباطی، باتریها و نظایر آنها هستند. برای دست یابی به درجه بالایی از اطمینان باید به طراحی، نصب، نگهداری و آزمایش تجهیزات مختلف سیستم حفاظتی توجه ویژه نمود. سادگی و مقاوم بودن تجهیزات حفاظتی نیز در افزایش قابلیت اطمینان مؤثر هستند. معمولاً در یک طرح حفاظتی مقدار کمی قابلیت اطمینان نباید کمتر از ۹۵ درصد باشد.

۱-۹-۳ حساسیت

یک رله حفاظتی باید در موقعی که دامنه کمیت ورودی از مدار تنظیم فراتر می رود عمل کند. به این مقدار، عملکرد یا pick up گویند. رله در موقعی که کمیت ورودی آن کمتر از مقدار عملکرد باشد نباید عمل کند. از طرف دیگر رله باید به مقدار کافی حساس باشد به گونه ای که اگر کمیت ورودی به مقدار جزئی از مقدار عملکرد فراتر رود عمل کند.

۱-۹-۴ پایداری

یک سیستم حفاظتی حتی اگر بر اثر خطای خارجی جریان شدیدی از ناحیه آن عبور نماید نباید عملکردی داشته باشد و لازم است پایدار بماند. در این حالت کلید قدرت متناظر با ناحیه حفاظتی زیربط باید عمل کرده و خطا را برطرف سازد. در عین حال اگر سیستم حفاظتی که در آن خطا رخ داده است موفق به برطرف کردن خطا نگردد سیستم حفاظتی مورد نظر بطور نامحدود بدون عملکرد نخواهد ماند. بعد از گذشت زمان معینی رله عمل کرده و کلید قدرت را باز میکند. بدیهی است عملکرد سیستم حفاظتی در این حالت بعنوان پشتیبان تلقی میشود.

۱-۹-۵ عملکرد سریع

یک سیستم حفاظتی باید به قدر کافی برای جدا کردن بخشی که تحت خطا واقع شده سریع باشد تا با ایزوله کردن آن بخش با حداکثر سرعت ممکن، خسارات وارده را به حداقل رسانیده، و پایداری شبکه را تامین نماید. در شبکه های امروزی، پایداری از اهمیت زیادی برخوردار بوده و لذا زمان عملکرد رله ها نباید از زمان بحرانی رفع خطا جهت ممانعت از خروج واحدها فراتر رود. از نکات دیگری که عملکرد سریع را می طلبد می توان به سوختن تجهیزات بر اثر جریانهای شدید خطا، قطع برق مشترکان و افت ولتاژ که منجر به قطع بارهای صنعتی می گردد اشاره نمود. زمان عملکرد یک رله معمولاً یک سیکل است. رله هایی با زمان عملکرد نیم سیکل هم وجود دارند. در سیستمهای توزیع زمان عملکرد ممکن است از یک سیکل بیشتر باشد.

۱-۱۰ ملاحظات اقتصادی

هزینه حفاظت از شبکه های قدرت را می توان با حق بیمه در مقابل خسارت به واحدهای تولیدی، قطع برق مشترکان و نارضایتی مصرف کنندگان تصور نمود. همانگونه که یک حد اقتصادی برای حق بیمه می توان منظور نمود که البته تعیین رقم صحیح آن هم کار دشواری است، در اینجا نیز چنین ملاحظاتی قابل بررسی می باشد. ملاحظات اقتصادی تا جایی که برطرف شدن خودکار خطا بوسیله سیستمهای حفاظتی در هنگام بروز خطا مربوط میگردد کار ساده ای است. اما به نکات عمیق تر از آن نظیر سرعت رفع خطا، درجه ایمنی ذاتی، دسترسی به کانالهای مخابراتی و نیز مواردی چون درجه قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی و میزان آسیب تجهیزات در موقع خطا از نظر اقتصادی به سادگی نمی توان پاسخ داد. تمامی ملاحظات فوق اقتصادی بوده ولی درجه اهمیت آنها از نظر شبکه های انتقال و توزیع تفاوت میکند، بهمین دلیل این موارد جداگانه بحث خواهند شد.

۱-۱۰-۱ ملاحظات اقتصادی در شبکه های توزیع

در شبکه های توزیع بر خلاف انتقال تعداد بسیار زیادی نقاط کلیدزنی و انشعابی وجود دارد. اهمیت تجهیزات مانند ترانسفورماتورها و فیدها به اندازه سیستمهای انتقال نمیشد. بنابراین سیستم های حفاظتی باید دارای حداقل توانایی در برآوردن نیازهای ایمنی در شبکه باشند. سرعت رفع خطا به اندازه شبکه های انتقال که در آنها پایداری عامل مهمی است، اهمیت ندارد. سرعت رفع خطا در کابلهایی که جریان خطای آنها زیاد است، مهم میباشد. از آنجا که طول کابلهای مورد استفاده اکثراً کم بوده لذا استفاده از

سیستمهای حفاظتی دیفرانسیلی ممکن خواهد بود. بنابراین بکار بردن سیستمهای حفاظتی سریع برای کابلها مقدر و مقرون به صرفه است.

۱-۱۰-۲ ملاحظات اقتصادی در شبکه های انتقال

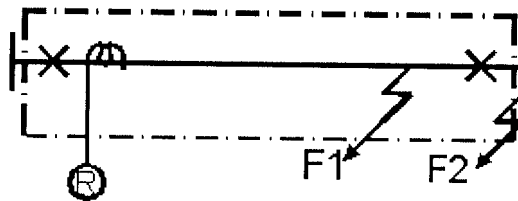
در شبکه های انتقال بر خلاف شبکه های توزیع ملاحظات فنی بر ملاحظات اقتصادی برتری دارد. در محدوده ولتاژ ۲۳۰ تا ۴۰۰ کیلو ولت نیاز به حفاظت با قابلیت اطمینان زیاد، قدرت تمایز کامل، سرعت عملکرد بالا قطعاً وجود دارد. البته این بدین معنا نیست که ملاحظات اقتصادی را باید فراموش نمود بلکه اهمیت آن در درجه دوم است.

نیازهای ایمنی در سیستمهای انتقال به اندازه سیستمهای توزیع می باشد ولی به دلیل استفاده از ابزار بهتر در انتقال بطور طبیعی ایمنی بیشتر از توزیع است. گرچه تجهیزات حفاظتی از کیفیت بسیار بالایی برخوردار بوده و طبعاً قیمت آنها نیز زیاد است ولی در مقابل هزینه عظیم سرمایه گذاری در شبکه های انتقال توجیه اقتصادی دارند. حتی در مقابل زیانهای اقتصادی ناشی از خروج خطوط و وقفه تولید برق کاملاً مناسب به نظر میرسند. بنابراین در شبکه های انتقال حفاظت خوب بر پایه مهندسی دقیق گذارده میشود و خطر عدم اطمینان ناشی از نقص تجهیزات به حداقل ممکن می رسد.

فصل دوم: مبانی عملکرد رله ها

۱-۲ مقدمه

هدف اصلی حفاظت شبکه های قدرت آشکار کردن خطاها یا شرایط غیر عادی بهره برداری بوده و بنابراین رله ها باید قادر باشند پهنه وسیعی از تغییرات پارامترها را برای تصمیم گیری ارزیابی نمایند. متداولترین پارامترهایی که می توان برای آشکار سازی خطا بکار برد، ولتاژها و جریانها در ترمینالهای وسیله تحت حفاظت یا در مرزهای ناحیه مد نظر هستند. بعضی وقتها ورودیهای رله ممکن است شامل وضعیتهایی چون باز یا بسته بودن کنتاکتها یا کلیدها نیز باشند. یک رله خاص یا یک سیستم حفاظتی باید از ورودیهای مناسب استفاده نموده و از طریق پردازش آنها وجود خطارا معین کرده و به دنبال آن عملیات خاصی را فعال سازد. بطور کلی می توان یک رله را طوری طراحی کرد تا به هر پارامتر یا اثر قابل رؤیتی پاسخ دهد. موضوع اصلی تعیین مقادیری است که بتوانند بین شرایط عادی و غیر عادی تمایز قائل شوند. از شرایط عادی معمولا وجود اختلال در خارج از ناحیه حفاظتی برداشت می گردد. این نکته در طراحی سیستمهای حفاظتی از اهمیت زیادی برخوردار است. بعنوان مثال شکل ۱-۲ را در نظر بگیرید. اگر قرار باشد رله از دامنه جریان برای عملکرد استفاده کند، واضح است تفاوت خطای $F1$ و $F2$ صرفا بر اساس دامنه جریان غیر ممکن خواهد بود. طراحی رله ها و سیستمهای حفاظتی که تحت تمامی تغییرات تجربه شده در طول عمر خود قابل اطمینان باقی بماند به ابتکار و توجه زیادی نیاز دارد.



شکل ۱-۲ انتخاب گری رله برای خطاهای داخل و خارج ناحیه حفاظتی

برآورده شدن هدف مورد نظر در یک طرح حفاظتی بستگی به شبکه و پدیده های گذرای بعد از بروز اختلال دارد. طراحی سخت افزار پس از حصول اطمینان از قابل انجام بودن وظیفه حفاظتی شروع می شود. حفاظت از شبکه های قدرت حدود ۸۰ سال قدمت دارد. نظریه های مختلف حفاظتی در طول این مدت طولانی بسیار پیشرفت نموده و مشکلات آنها آشکار گردیده اند. سخت افزار رله ها دو تحول عمده را تجربه کرده اند. رله ها در ابتدا بصورت تجهیزات الکترومغناطیسی عرضه گردیدند و در اواخر دهه ۵۰ میلادی به سخت افزار استاتیکی متحول شدند. تحول دوم عرضه رله های مبتنی بر ریز پردازنده ها بوده که اخیرا فراگیر شده است. در این فصل مبانی عملکرد رله ها و جنبه های خاص طراحی آنها بررسی می گردد.

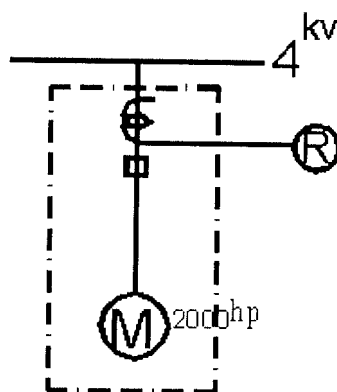
۲-۲ آشکار سازی خطاها

برای تامین حفاظت با قدرت تمایز، رله ها باید اطلاعات مورد نیاز برای تفاوت قائل شدن بین شرایط خطا در ناحیه تحت حفاظت خود و خطاهای خارجی و شرایط عادی بهره برداری را دریافت نمایند. این اطلاعات از کمیات الکتریکی استخراج می گردند.

مبنای عملکرد رله ها را می توان بر اساس آشکارسازی این تغییرات و شناسایی تغییرات دیگری که در موقع بروز خطا پیش می آیند قرار داد. دسته بندی رله ها بر اساس کمیت ورودی که یک رله به آن پاسخ می دهد صورت می گیرد.

۲-۲-۱ آشکارسازی سطح

آشکارسازی سطح ساده ترین مبنای عملکرد رله هاست. دامنه جریان خطا همواره از جریان عادی بار بیشتری باشد. بعنوان مثال موتوری را که به شبکه قدرت ۴ کیلو ولتی مطابق شکل ۲-۲ متصل است در نظر بگیرید. جریان بار کامل موتور ۲۴۵ آمپر می باشد. با در نظر گرفتن ۲۵٪ جریان اضافه بار در حالت اضطراری، جریان ۳۰۶ آمپر یا کمتر متناظر با شرایط کار عادی است. هر جریانی بالاتر از سطح تنظیم به معنای وجود خطا در داخل ناحیه تحت حفاظت موتور می باشد.



شکل ۲-۲ حفاظت جریان زیاد یک موتور

رله باید طوری طراحی گردد که برای تمامی جریانهای بالاتر از تنظیم عمل نموده و کلید قدرت را باز نماید یا آنکه در شرایط خاص اعلام خبر کند تا با دخالت بهره بردار کلید قطع شده و یا عکس العمل مناسب دیگر صورت گیرد.

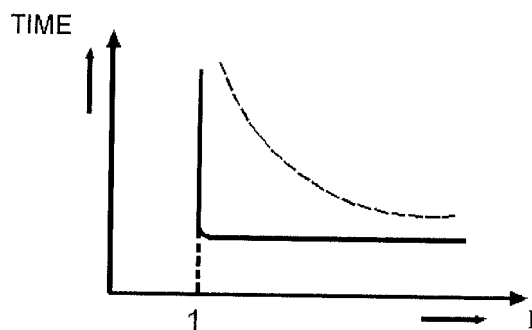
سطحی که بالاتر از آن رله عمل می کند به نام سطح عملکرد رله گویند. برای تمامی جریان های بیشتر از جریان عملکرد رله عمل نموده و برای تمامی جریان های کوچکتر از آن رله عملکردی ندارد. البته می توان رله را طوری قرار داد که برای مقادیر کوچکتر از عملکرد فعال شده و برای مقادیر بالاتر از آن فعالیتی از خود نشان ندهد. رله ولتاژ کم مثالی از چنین رله ای است. مشخصه یک رده جریان زیاد را می توان به صورت نموداری از زمان عملکرد رله بر حسب جریان آن رسم کرد. بهتر است که جریان بصورت نسبتی از جریان واقعی به جریان عملکرد تنظیمی نرمالیزه شود. زمان عملکرد در این حالت برای جریانهای کمتر از ۱/۰ بی نهایت بوده و برای مقادیر بزرگتر از ۱/۰ رله عمل خواهد کرد. زمان واقعی عملکرد رله بستگی به نوع طراحی آنها دارد و بعداً به تفصیل تشریح می گردد. رله ایده آل آشکار ساز سطح دارای مشخصه ای شبیه شکل ۲-۳ است. در عمل مشخصه رله هموارتر بوده و شبیه منحنی خط چین می باشد.

۲-۲-۲ مقایسه دامنه

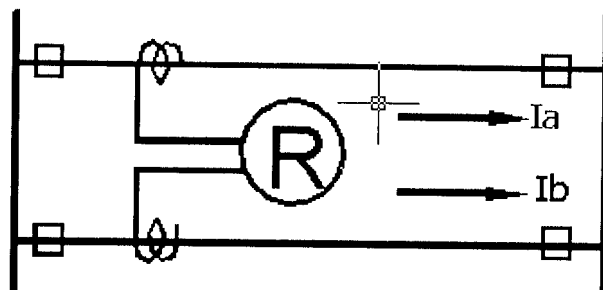
در این حالت مشخصه عملکرد بر اساس مقایسه یک یا چند کمیت با یکدیگر می باشد. بعنوان مثال یک رله تعادل جریان قادر است جریان یک مدار را با مدار دیگر مقایسه کند.

در شرایط عادی بهره برداری جریانها دارای مقادیر برابر یا متناسب با یکدیگر بوده ولی در موقعی که تقسیم جریان در دو مدار تفاوت نماید رله عمل خواهد کرد.

شکل ۲-۴ دو خط موازی مشابه را که به یک باسبار مشترک در دو طرف متصل هستند نشان می دهد. در اینجا از یک رله مقایسه گر دامنه برای مقایسه دامنه جریانهای I_a و I_b می توان استفاده کرد. اگر I_a از I_b بزرگتر بوده و خط B باز نباشد، رله وجود خطا روی خط A را اعلام نموده و خط را قطع می نماید. میزان انحراف مجاز را نشان می دهد. از منطق مشابهی برای قطع خط B در صورت افزایش جریان آن از خط A در وقتی که آن خط باز نباشد می توان استفاده کرد.



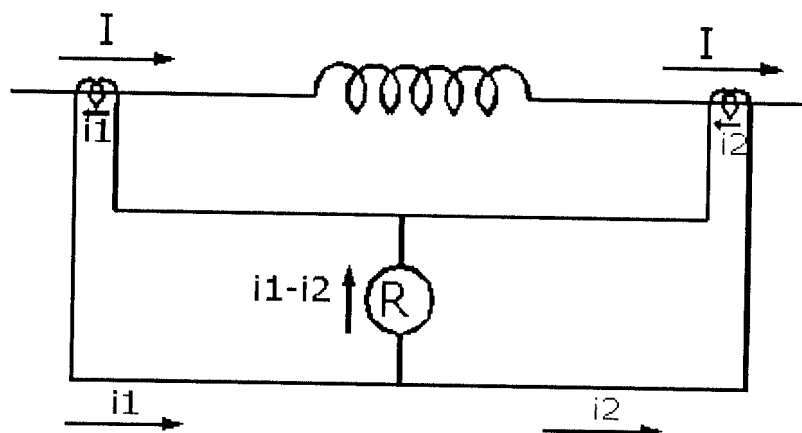
شکل ۲-۳ مشخصه آشکارساز سطح



شکل ۲-۴ حفاظت از طریق مقایسه دامنه برای خطوط موازی

۳-۲-۲ مقایسه تفاضلی

مقایسه تفاضلی یکی از حساسترین و موثرترین روشهای تامین حفاظت در مقابل خطا می باشد. مفهوم مقایسه تفاضلی بسیار ساده بوده و شکل ۲-۵ اساس آن را برای سیم پیچی ژنراتور بیان می دارد. چون سیم پیچی از نظر الکتریکی پیوسته است، لذا جریان ورودی به یک سر آن (I_1) باید برابر جریان خروجی از آن (I_2) باشد.



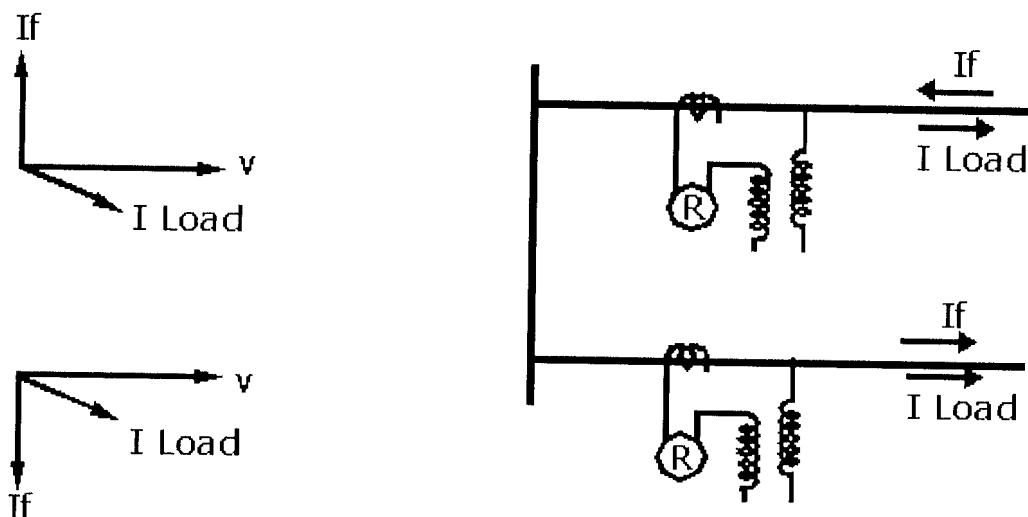
شکل ۲-۵ مقایسه تفاضلی روی سیم پیچی ژنراتور

برای آزمایش وجود خطا روی سیم پیچی میتوان از یک مقایسه گر دامنه مطابق توضیح قبلی استفاده کرد. وقتی که خطایی در فاصله بین دوسر سیم پیچی رخ می دهد، جریانها دیگر برابر نخواهند بود. به طریق دیگر میتوان از جمع جبری جریانهای ورودی به سیم پیچی (I1-I2) و به کار گیری یک رله آشکار ساز سطح برای تشخیص وجود خطا بهره گرفت. در هر دو حالت، روش به کار رفته را حفاظت تفاضلی (دیفرانسیلی) گویند. به طور کلی، با به کار بردن اساس حفاظت تفاضلی می توان مقادیر بسیار کوچک جریان خطا را تشخیص داد. تنها نقطه ضعف آن ضرورت تامین جریان در انتهای ناحیه تحت حفاظت بوده که کاربرد آن را محدود به تجهیزاتی چون ترانسفورماتور، ژنراتور، باسبار، خازن، راکتور و نظایر آن می سازد. در فصول بعدی کاربرد های خاص رله دیفرانسیل بررسی می گردد.

۲-۲-۴ مقایسه فاز

این نوع رله زاویه فاز نسبی بین دو کمیت متناوب را مقایسه می کند. مقایسه زاویه فاز عموماً برای تعیین جهت جریان نسبت به یک کمیت مبنا به کار می رود. بعنوان نمونه عبور توان در یک جهت معین سبب می شود که زاویه فاز بین ولتاژ و جریان حول زاویه ضریب قدرت آن فرضاً به طور تقریبی ± 30 درجه تغییر کند. هنگامی که توان در جهت مخالف عبور کند

این زاویه برابر (180 ± 30) درجه می گردد. به همین ترتیب برای خطایی در مقابل و یا پشت سر، زاویه فاز جریان نسبت به ولتاژ به ترتیب $(-\Phi)$ و $(180-\Phi)$ می شود. (Φ) زاویه امپدانس مدار در حالت خطا و نزدیک 90 درجه در شبکه های انتقال می باشد. این روابط برای دو خط انتقال در شکل ۲-۶ نشان داده شده اند. تفاوت ایجاد شده در روابط فازی در حین خطا سبب می شود که رله هایی بتوان ساخت که به تفاضل زاویه فاز بین دو کمیت ورودی نظیر ولتاژ خطا و جریان خطا پاسخ دهند.



شکل ۶-۲ مقایسه زاویه فاز برای خط روی انتقال

۲-۲-۵ سنجش فاصله

همان گونه که اشاره شد مطمئن ترین نوع حفاظت، جریان ورودی به مدار را با جریان خروجی مقایسه می کنند. در خطوط انتقال وفیدرها، طول ولتاژ و ساختار خط بکارگیری این روش را غیر اقتصادی می سازد. بنابراین به جای مقایسه جریان خط در محل رله با جریان انتهای خط، جریان محلی با ولتاژ محلی توسط رله مقایسه می گردد. این کار در واقع از دید رله اندازه گیری امپدانس است. رله امپدانس بر این واقعیت استوار است که طول خط (یا فاصله آن تا رله) برای قطر و فواصل معین هادیها از یکدیگر تعیین کننده امپدانس می باشد.

۲-۲-۶ حفاظت از راه دور

بعضی از طرحهای حفاظتی خاص بر مبنای اطلاعات کسب شده توسط رله از محل دور دست عمل می کند. عموماً اطلاعات به شکل باز یا بسته بودن کنتاکتها می باشند. اطلاعات از طریق کانالهای مخابراتی با استفاده از PLC، یا مایکروویو یا خطوط تلفن ارسال می شوند.

۲-۲-۷ محتوای هارمونیک

جریانها و ولتاژها در یک شبکه قدرت معمولاً دارای شکل موج سینوسی با فرکانس اصلی هستند. با این وجود، در شرایط کار عادی انحرافات از سینوس کامل وجود دارد. بعنوان مثال ولتاژها و جریانهای هارمونیک سوم تولیدی توسط ژنراتورها سبب این انحرافات می گردند. هارمونیک های دیگر در شرایط غیر عادی بوجود می آیند. هارمونیک های فرد متناظر با اشباع ترانسفورماتورها از آن جمله هستند. این شرایط غیر عادی را می توان با سنجش محتوای هارمونیک از طریق فیلترها در رله های الکترومکانیکی و استاتیکی و یا از طریق محاسبه در رله های دیجیتالی آشکار نمود. با تعیین وجود شرایط غیر عادی می توان تصمیم متناسب مبنی بر ضرورت عملیاتی کنترلی اتخاذ نمود.

۲-۲-۸ سنجش فرکانس

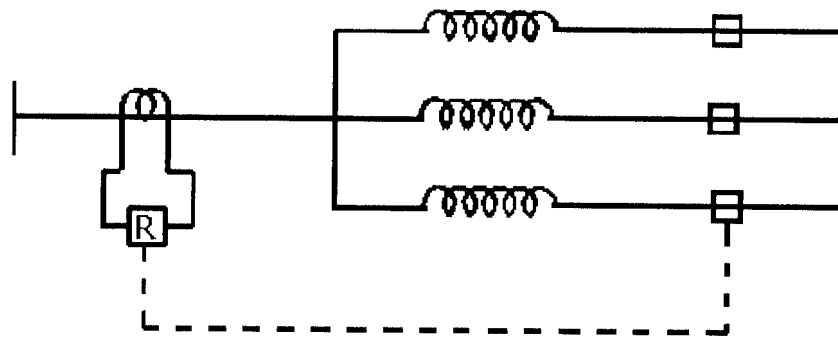
فرکانس کار عادی شبکه های قدرت ۵۰ یا ۶۰ هستند. هر انحرافی از این مقادیر بیانگر وجود و یا وقوع مشکلی در شبکه خواهد بود. توسط فیلترها می توان فرکانس را اندازه گیری نمود. بدین ترتیب که تعداد دفعات عبور موج از صفر در بازه معینی از زمان شمرده شده و یا آنکه با نمونه برداری معین و روشهای عددی محاسبه گردد. رله های فرکانس میتوانند برای انجام عملیات اصلاحی که فرکانس شبکه را به حالت عادی برگرداند، بکار روند.

۲-۳ استخراج کمیات ورودی رله ها

اغلب شبکه های الکتریکی سه فاز بوده و نقطه صفر آنها به زمین متصل می باشد. آمار نشان می دهد که اکثر خطاها بین یک فاز و زمین بوده و بعضا ممکن است تبدیل به خطای دو فاز و یا سه فاز شوند. اگر رفع خطا به سرعت صورت گیرد بطوریکه خطا بصورت تکفاز باشد خسارت وارده می تواند محدود گردیده و اختلال وارده به سیستم به حداقل برسد. مواردی وجود دارند که جریان خطا و بار به دلیل شرایط و پارامترهای شبکه از نظر دامنه تفاوت کمی با یکدیگر داشته و لذا تمایز بصورت معمول از طریق جریان دشوار و یا حتی غیر ممکن می گردد. در چنین شرایطی می توان از عناصر ترتیبی جریان همچون مثبت، منفی و صفر بهره گرفت.

الف) سیستم های با عنصر ترتیبی صفر

خطاهای فاز با زمین سبب افزایش عنصر ترتیب صفر جریان شده که برای تمایز قابل استفاده می باشد. به کار گیری عنصر ترتیب صفر این امکان را می دهد که تنظیم رله اتصال زمین کمتر از جریان بار باشد. خصوصا در مواردی که جریان زمین محدود است، این روش مکمل سیستم حفاظتی خواهد بود. شکل های ۲-۷ (الف) تا (ج) سه روش مرسوم برای تمایز بر اساس عنصر ترتیب صفر را نشان می دهند.

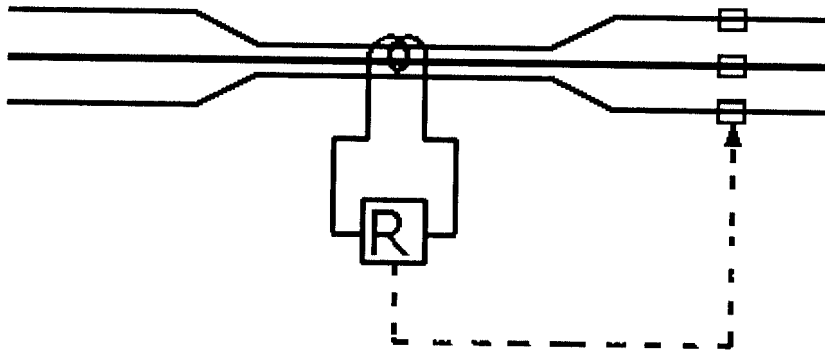


شکل ۲-۷ الف اتصال رله ترتیب صفر با استفاده از جریان صفر

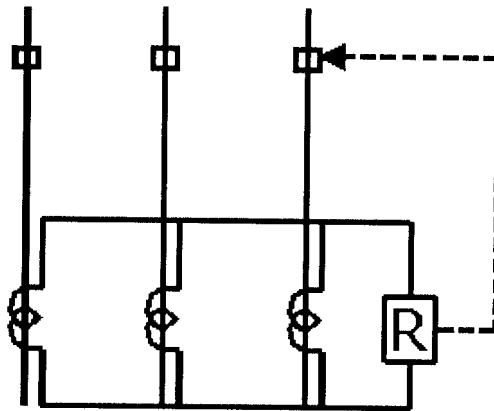
در شکل ۲-۷ (الف) رله از ترانسفورماتور جریان مسیر جریان صفر ناشی از وجود خطا از مسیر ترانسفورماتور جریان عبور نموده و سبب عملکرد رله خواهد شد. از این روش در صفر زمین شده می توان استفاده کرد و باید دقت نمود که اثر جریان هارمونیک سوم را که در بعضی شرایط نقطه صفر زمین شده وجود دارند حذف نمود.

در شکل ۲-۷ (ب) هادیهای سه فاز از مجرای ترانسفورماتور Core balance عبور می کنند. از این روش در هر جایی از شبکه می توان استفاده کرد. تنها در صورت وجود جریان ترتیب صفر نیروی محرکه الکتریکی حاصله در هسته ترانسفورماتور جریانی در ثانویه تولید می نماید. باید اطمینان حاصل شود که هیچ هادی دیگری نظیر غلاف

فلزی کابل که ممکن است جریان از خود عبور دهد از داخل ترانسفورماتور جریان نگذرد. زیرا می تواند سبب عملکرد غلط رله شده مگر آنکه اثر آن از طریق برگرداندن غلاف کابل به داخل مجرای ترانسفورماتور جریان خنثی شود. در شکل ۷-۲ (ج) هر فاز دارای یک ترانسفورماتور جریان بوده و جریان باقیمانده از رله عبور می نماید و تنها در صورت وجود جریان ترتیب صفر از رله جریان خواهد گذشت.



شکل ۷-۲ ب اتصال رله ترتیب صفر با استفاده از ترانسفورماتور جریان core balance



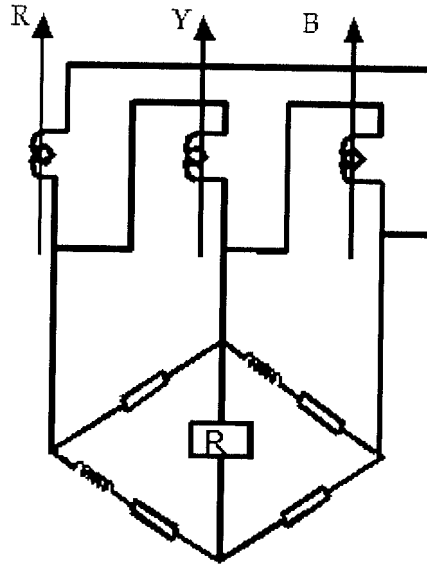
شکل ۷-۲ ج اتصال رله ترتیب صفر با استفاده از جریان باقیمانده ترانسفورماتور های جریان

ب) سیستم های با عنصر ترتیب منفی

استفاده از عنصر ترتیب منفی در مواردی بکار می رود که شرایط غیر عادی با دیگر روشها قابل آشکار سازی نیست. عنصر ترتیب منفی در هنگام وجود عدم تعادل بروز نموده و بیانگر شرایط غیر عادی نظیر اتصال کوتاه فاز به فاز، پارگی هادیها، و جریان ترتیب صفر در یک سیم پیچی ترانسفورماتور قدرت که به صورت جریان ترتیب منفی در دیگری ظاهر می شود، خواهد بود. در مورد اخیر می توان به عنوان مثال به اتصال کوتاه فاز به زمین در سمت ستاره یک ترانسفورماتور قدرت مثلث / ستاره اشاره کرد که از سمت مثلث اتصال فاز به فاز به نظر می رسد. یک مدار نمونه برای اندازه گیری جریان ترتیب منفی در شکل ۸-۲ ارائه شده است.

ج) مدارهای با عنصر ترتیب مثبت

واضح است که می توان مدارهایی برخلاف ترتیب منفی درست کرد که صرفاً به عناصر ترتیب مثبت جریان در یک سیستم سه فاز حساس باشند و تجهیزات حفاظتی که بر مبنای این گونه مدارهای ترتیب مثبت قرار داده می شوند به شرایط ترتیب منفی پاسخ نخواهند داد. کاربرد عمده آنها عمدتاً برای استخراج کمیت مقایسه ای مطمئن در طرحهای حفاظتی تمایز توسط مقایسه فاز می باشد.



شکل ۸-۲ استفاده از مدارهای تغییردهنده فاز برای تغذیه رله ترتیب منفی

ترانسفورماتور ولتاژ و جریان

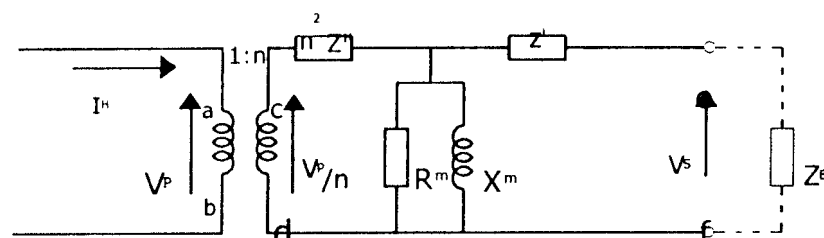
ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان برای جدا کردن تجهیزات حفاظتی، کنترلی و اندازه گیری از ولتاژهای زیاد در شبکه های قدرت، و نیز برای تغذیه آنها با جریان و ولتاژ کمتر-بکار می روند. معمولاً جریان به ۱ یا ۵ آمپر و ولتاژ به ۱۱۰ تا ۱۲۵ ولت تبدیل می گردد. رفتار ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان در موقع بروز خطا و پس از آن برای حفاظت الکتریکی شبکه ها از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا خطاهای موجود از ترانسفورماتورها می توانند سبب عملکرد غلط رله ها شوند. بعلاوه عواملی چون دوره گذرا و اشباع در هنگام انتخاب ترانسفورماتور باید در نظر گرفته شد. هنگامی که فقط دامنه ولتاژ و جریان برای عملکرد یک رله مورد نیاز باشد آنگاه جهت نسبی عبور جریان در سیم پیچی های ترانسفورماتور اهمیت ندارد. با این وجود پولارینه باید در مواردی که رله ها مجموع و یا تفاضل جریانها را مقایسه می نمایند مورد توجه قرار گیرد.

۳-۱ ترانسفورماتورهای ولتاژ

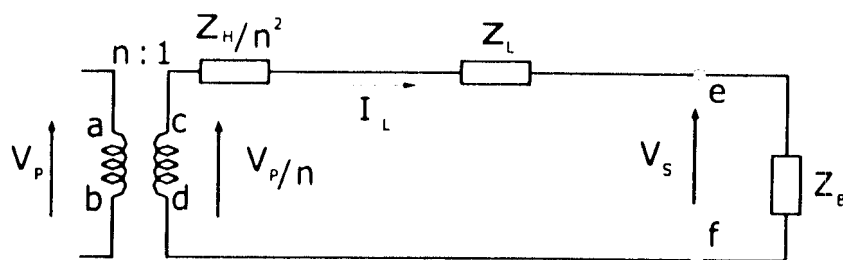
ترانسفورماتورهای ولتاژ (VT) باید حتی الامکان ولتاژی متناسب با ولتاژ اولیه ایجاد نمایند. برای رسیدن به این مقصود VT ها باید طوری طراحی شوند که افت ولتاژ در سیم پیچی آنها کوچک بوده و چگالی شار در هسته به قدر کافی پایین تر از مقدار اشباع بوده بطوریکه جریان مغناطیس کنندگی کم باشد. بدین ترتیب امپدانس مغناطیس کنندگی حاصل گردیده که عملاً در محدوده ولتاژ مورد نظر ثابت خواهد بود. ولتاژ ثانویه VT معمولاً ۱۱۵ تا ۱۲۰ ولتاژ برای ولتاژ نامی خط می باشد. اغلب رله های حفاظتی نیز دارای ولتاژ نامی ۱۲۰ ولت یا ۶۹ ولت بوده که بستگی به اتصال آن،ها به صورت فاز به فاز و یا فاز به زمین دارد. شکل ساختاری تا حد زیادی تابع ولتاژ نامی اولیه می باشد. برای ولتاژهای پائین تر، که از ۳/۳ kV متجاوز نباشد، ترانسفورماتورهای نوع خشک با روغن آغشته شده و سیم پیچ های نوار پیچیده شده موقعیت های خشک کاملاً رضایت بخش هستند. برای ولتاژهای بالاتر برای سالهای زیادی معمول بوده است که هسته و سیم پیچ ها را از روغن غوطه ور می کنند، که تهیه عایقی مطمئن را در سرتاسر سیم پیچی اولیه خیلی راحت تر می کند.

۳-۱-۱ مدار معادل

VT ها را می توان به عنوان ترانسفورماتورهای قدرت کوچک در نظر گرفت و بدین ترتیب مدار معادل آنها شبیه ترانسفورماتورهای قدرت می شود. شکل ۳-۱ (الف) مدار معادل را در این حالت نشان می دهد. شاخه مغناطیس کنندگی قابل صرف نظر بوده و لذا مدار معادل به شکل ۳-۱ (ب) درمی آید.



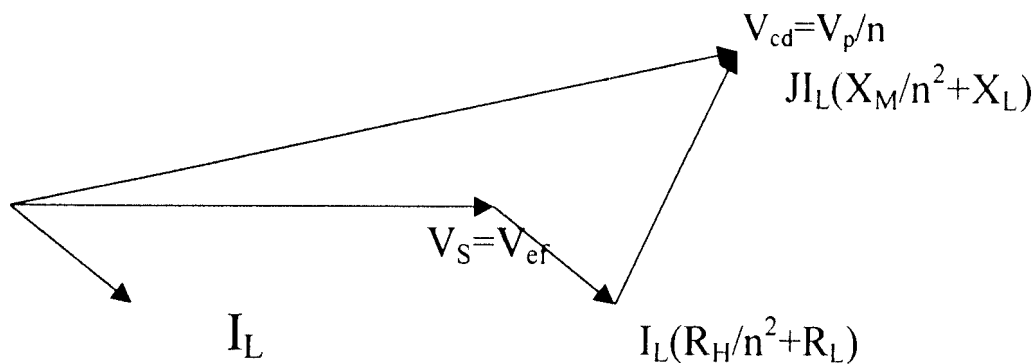
(الف)



(ب)

شکل ۱-۳ مدار معادل های ترانسفورماتور ولتاژ

نمودار برداری VT در شکل ۲-۳ ارائه شده است. در این نمودار طول افت ولتاژ برای درک بهتر اضافه شده است. ولتاژ ثانویه V_s از ولتاژ V_p/n عقب تر بوده و از نظر دامنه کوچکتر می باشد. علیرغم این موضوع خطاهای نامی حداکثر نسبتاً کوچک هستند. VT ها دارای رفتار گذرای بسیار خوبی بوده و با دقت زیاد تغییرات شدید در ولتاژ اولیه را بازسازی می نمایند.



شکل ۲-۳ نمودار برداری ترانسفورماتور ولتاژ

۳-۱-۲ تلفات هسته

اگر چه به صورت معمول یک نیاز قرار دادن، اندازه گیریهای تلفات هسته و جریان تحریک معمولاً به عنوان یک بررسی فرعی روی کیفیت ماده و ساختار هسته و هم به عنوان یک وسیله تعیین دورهای اتصال کوتاه شده دو سیم پیچها انجام می گنجد. این اندازه گیریها به وسیله آمپر مترها و واتمترها که ولتاژ تغذیه شده به طرف ثانویه نام می باشد انجام می گیرد.

۳-۱-۳ خطای ترانسفورماتور ولتاژ

موقعی که از VT برای اندازه گیری استفاده می گردد، خصوصاً در مواردی که صورتحساب مشترکان و یا کنترل مورد نظر باشد، دقت آن اهمیت زیادی می یابد، خصوصاً در مقادیری که نزدیک ولتاژ نامی شبکه باشد. گر چه برای مقاصد حفاظتی خصوصاً در نزدیکی ولتاژ نامی دقت فراوانی از VT مورد انتظار نیست ولی به دلایل متعددی ضرورت دارد خطا در محدوده وسیعی از تغییرات ولتاژ در هنگام اتصال کوتاه، در یک بازه کوچک نگهداشته شود. این محدوده باید بین ۵ تا ۱۷۳٪ ولتاژ نام اولیه برای VT های متصل به فاز و زمین باشد. با مراجعه به شکل ۱-۳ (الف) مشاهده می گردد که خطای VT ناشی از تفاوت دامنه و فاز بین V_s و V_p/n می باشد. اینها شامل خطای شرایط مدار باز و خطای ناشی از افت ولتاژ بر اثر جریان بار I_L هستند. در وضعیت مدار باز

امپدانس بار Z_B بی نهایت بوده و لذا خطا بر اثر افت ولتاژ ناشی از گردش جریان مغناطیس کننده در سیم پیچی اولیه حاصل می گردد. در حالت وجود بار خطا به دلیل افت ولتاژ بر اثر جریان بار عبوری از هر دو سیم پیچی می باشد. خطای دامنه از رابطه

$$Error_{VT} = \left\{ \frac{(nV_S - V_P)}{V_P} \right\} \times 100\%$$

اگر خطا مثبت باشد، آنگاه ولتاژ ثانویه از مقدار نامی

تجاوز می نماید. هم چنین همانند VT های الکترومغناطیسی، انواع VT های حفاظتی خازنی بایستی خطاهای دامنه و فاز را در یک محدوده توصیف شده معین، یک رنج وسیعی از ولتاژ اولیه مثلاً از ۵ تا ۵۰ درصد یا ۱۹۰ درصد ولتاژهای نامی را دارا باشند. بخاطر اینکه هسته ترانس سر وسط معمولاً در ولتاژ نامی با یک چگالی شار پایین کار می کند، نگهداری دقت مورد نیاز در ولتاژهای بالاتر از مقدار نامی با مشکل کمی روبرو خواهد شد. در ولتاژهای خیلی پایین سیستم، با وجود این، چگالی شار هسته تا سطحی افت می کند که ضریب نفوذ پذیری ماده هسته به نسبت کاهش یافته و بنابراین امپدانس تحریک Z_C کاهش می یابد. بخاطر اینکه راکتانس سری از مدار معادل ترانس ولتاژ سر وسط که از طریق آن جریان تحریک I_e بایستی جاری گردد، معمولاً خازنی است، هر افزایش در I_e که متناسب با V_i است خطای دامنه مثبت (ولتاژ خروجی بالا) و خطای مثبت (ولتاژ خروجی پیش فاز) را نتیجه می دهد. این افزایش در خطاهایی که حدود ۵ درصد ولتاژ نامی را دارا می باشد ممکن است به بزرگی ۵٪+ دامنه و ۵+ درجه در فاز V_t خازنی که نسبتاً دقت اساسی ضعیفی دارند باشد.

۳-۱-۴ توان خروجی

توان خروجی (burden) استاندارد برای ترانسفورماتورهای ولتاژ معمولاً بر حسب ولت آمپر در یک ضریب قدرت معین بیان می شود. جدول ۳-۱ توانهای خروجی استاندارد را بر اساس استاندارد ANSI به شماره C57.13 بیان می دارد. در نشریه IEC به شماره 186A ترانسفورماتورهای ولتاژ بر طبق کلاس دقت و مقدار VA خود مشخص شده اند.

جدول ۳-۱ توان خروجی استاندارد برای ترانسفورماتورهای ولتاژ

توان خروجی استاندارد		مشخصات برای ۱۲۰V و ۶۰ هرتز			مشخصات برای ۶۹/۳V و ۶۰ هرتز		
طرح	ولت آمپر	ضریب قدرت	مقاومت (Ω)	اندوکتانس (H)	امپدانس (Ω)	مقاومت (Ω)	اندوکتانس (H)
W	۱۲/۵	/۱	۱۱۵/۲	۳/۰۴۰	۱۱۵۲	۳۸/۴	۱/۰۱۰
X	۲۵	/۷	۴۰۳/۲	۱/۰۹۰	۵۷۵	۱۳۴/۴	۳/۶۴
Y	۷۵	/۸۵	۱۶۳/۲	۱/۱۶۸	۱۹۲	۵۴/۴	۱/۰۸۹
Z	۲۰۰	/۸۵	۶۱/۲	۱/۰۱	۷۲	۲۰/۴	۱/۰۳۴
ZZ	۴۰۰	/۸۵	۳۱/۲	۱/۰۴۰۳	۳۶	۱۰/۲	۱/۰۱۶۸
M	۳۵	/۲	۸۲/۳	۱/۰۷۰	۴۱۱	۲۷/۴	۱/۳۵۶

بازه های مجاز خطا متناظر با کلاسهای مختلف در جدول ۳-۲ ارائه شده اند. V_n ولتاژ نامی است. خطای زاویه در موقعی که ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه جلوتر باشد، مثبت در نظر گرفته می شود. خطای ولتاژ درصد تفاوت بین ولتاژ در ترمینالهای ثانویه ترانسفورماتور یعنی V_2 ضرب در نسبت تبدیل نامی، و ولتاژ اولیه V_1 خواهد بود.

جدول ۳-۲ حدود خطای ترانسفورماتور ولتاژ

خطای دامنه ولتاژ (%) (\pm)	خطای فاز (\pm min)	ولتاژ اولیه	کلاس
۰/۱	۰/۵	۰/۸ Vn	۰/۱
۰/۲	۱۰	۱ Vn	۰/۲
۰/۵	۲۰	۱/۲ Vn	۰/۵
۱	۴۰		۱
۱	۴۰		۰/۱
۱	۴۰	۰/۰۵ Vn	۰/۲
۱	۴۰		۰/۵
۲	۸۰		۱
۰/۲	۸۰		۰/۱
۲	۸۰	Vn	۰/۲
۲	۸۰		۰/۵
۳	۱۲۰		۱

۳-۱-۵-۱-۵ فیوز قرار دادن و حفاظت ترانسهای ولتاژ

حفاظت از یک VT الکترومغناطیسی از اضافه کردن بارهای تصادفی و اتصال کوتاه در دو سر ترمینالهای طرف ثانویه ساده می باشد. جریان نرمال ثانویه بیشتر از 5A نیست و جریان اتصال کوتاه در حدود 100A است تا اینکه فیوزها به سادگی بتوانند بکار گرفته شوند. جریانی که به طور نرمال از طرف اولیه کشیده می شود، وابسته به ولتاژ اولیه است، اما به طور معمول بیشتر از چند میلی آمپر نیست، بنابراین فیوزهایی که جریان اضافه بار کمی را قطع خواهند کرد غیر عملی بوده و مینیمم جریان عملکرد فیوز برای فیوزهای طرف اولیه معمولاً حدود ۲ یا ۳ آمپر است. این معنی می دهد که آنها تا اینکه یک خرابی کاملاً جدی در سیم پیچ های VT قبل از اینکه خسارت به تجهیزات مجاور منتشر گردد، از تغذیه جدا خواهد بود. در ولتاژهای بیشتر از ۷۲/۵ V فیوزهای اولیه غیر عملی هستند و معمول است که ترانس های hv را مستقیماً به هادی خط متصل می کنند بدون اینکه هیچ فرمی از آشکار سازی و حفاظت خرابی داخلی ایجاد گردد.

۳-۱-۶-۱-۶ انتخاب ترانسفورماتورهای ولتاژ

ترانسفورماتورهای ولتاژ بین فازها، یا بین فاز و زمین متصل می شوند. معمولاً از اتصال فاز و زمین و سه ترانسفورماتور ولتاژ بصورت ستاره در ایستگاههای ۳۴/۵ کیلو ولت و بالاتر، و یا در موقعی که قرار باشد ولتاژ و ضریب قدرت هر فاز بطور جداگانه اندازه گیری کردن استفاده می نمایند. ولتاژ اولیه نامی VT را معمولاً با در نظر گرفتن ولتاژ عایقی نامی بالاتر و نزدیکترین ولتاژ بهره برداری انتخاب می کنند. ولتاژهای ثانویه نامی معمولاً در ۱۱۵ و ۱۲۰ ولت استاندارد شده اند. برای انتخاب توان نامی VT، معمولاً VA نامی تمامی مصارف متصل به سیم پیچی ثانویه آن را با یکدیگر جمع می کنند. علاوه بر این لازم است که افت ولتاژ رد سیم کسی های ثانویه، خصوصاً در مواردی که فاصله بین VT ها و رله ها زیاد هستند نیز در نظر گرفته شود.

۳-۱-۷ ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

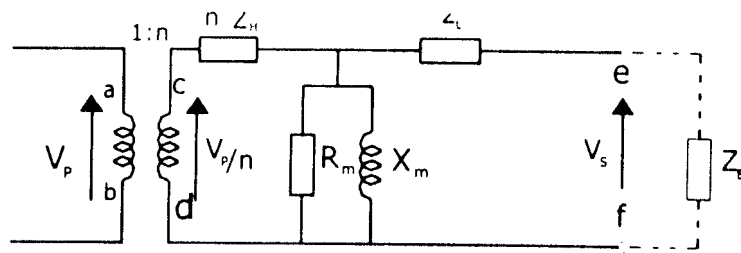
بطور کلی، اندازه یک ترانسفورماتور ولتاژ سلفی متناسب با ولتاژ نامی آن بوده و بهمین دلیل هزینه آن مانند یک ترانسفورماتور فشار قوی افزایش می یابد. راه حل اقتصادی برای این موضوع استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ خازنی است. این دستگاه در واقع یک مقسم ولتاژ خازنی بوده، و شبیه یک مقسم مقاومتی می باشد زیرا ولتاژ خروجی در نقطه اتصال بوسیله بار متاثر می گردد. به عبارت دیگر دو قسمت مقسم را می توان به عنوان امپدانس منبع که در هنگام اتصال بار تولید افت ولتاژ می نماید در نظر گرفت. مقسم خازنی با مقسم سلفی تفاوت دارد زیرا در مقسم خازنی امپدانس معادل منبع خازنی بوده و بنابراین می توان آن را با قراردادن یک راکتانس سری در محل اتصال جبران نمود. با استفاده از یک راکتانس ایده آل هیچگونه مشکل تنظیم ولتاژ رخ نخواهد داد، با این وجود، در شبکه های واقعی همواره مقداری مقاومت وجود دارد. مقسم خازنی می تواند ولتاژ را تا مقداری که بتوان خطا را در محدوده مجاز معمول نگهداشت کاهش دهد. برای دست یابی به دقت بهتر از یک خازن فشار قوی به منظور ایجاد ولتاژی بزرگتر در نقطه اتصال استفاده می شود، سپس این ولتاژ به کمک یک ترانسفورماتور نه چندان گران قیمت به ولتاژ استاندارد کاهش می یابد. این موضوع در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. مدار معادل ساده شده ترانسفورماتور ولتاژ خازنی در شکل ۳-۴ ارائه گردیده است. در این شکل V_i ولتاژ نامی اولیه، C امپدانس معادل برابر $(C_1 + C_2)$ ، L اندوکتانس تشدید، R_i نمایانگر مقاومت سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور T بعلاوه تلفات در C, L, Z_e

۳-۲ ترانسفورماتورهای جریان

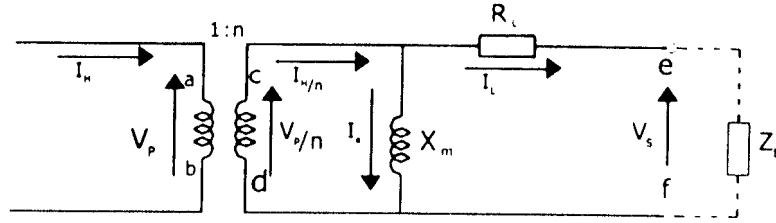
گرچه عملکرد مورد انتظار از یک ترانسفورماتور جریان با نوع حفاظت تغییر می یابد، ولی همواره باید از ترانسفورماتورهای جریان با کیفیت بالا استفاده نمود. ترانسفورماتورهای جریان مرغوب مطمئن تر بوده و سبب بروز مشکلات عملی کمتری شده و بطور کلی حفاظت بهتری را تامین می کنند. کیفیت ترانسفورماتورهای جریان در طرحهای حفاظتی خصوصاً طرحهای مبتنی بر جبران تفاضلی از اهمیت فراوانی برخوردار بوده زیرا عملکرد رله ها مستقیماً به دقت CT در شرایط خطا و نیز بار عادی بستگی دارد. ترانسفورماتورهای جریان در جریانهای شدید ناشی از اتصالاتی های نزدیک به اشباع می روند. برای ممانعت از این موضوع باید دقت نمود که تحت اغلب اتصال کوتاههای بحرانی، ترانسفورماتور جریان در ناحیه خطی منحنی مغناطیسی خود کار کند. در تمامی شرایط ترانسفورماتور جریان باید قادر باشد جریان کافی برای عملکرد مطلوب رله ها فراهم نماید.

۳-۲-۱ مدار معادل

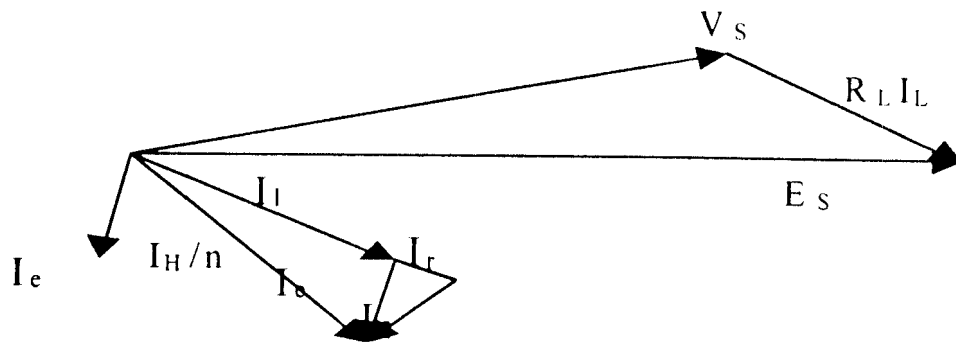
یک مدار معادل تقریبی برای ترانسفورماتور جریان در شکل ۳-۶ (الف) ارائه شده است. در این شکل $n^2 Z_H$ نمایانگر امپدانس اولیه Z_H نسبت به سمت ثانویه، و Z_L بعنوان امپدانس ثانویه می باشد. X_m, R_m بیانگر تلفات و تحریک هسته هستند. مدار شکل ۳-۶ (الف) را می توان به صورت شکل ۳-۶ (ب) در آورد که در آن از Z_H صرف نظر شده، زیرا تاثیری بر جریان I_H/n یا ولتاژ دو سر X_m ندارد. جریان عبوری از X_m جریان تحریک I_e می باشد. نمودار برداری، با افت ولتاژهای مبالغه آمیز برای بیان مطلب، در شکل ۳-۷ ارائه گردیده است. بطور کلی، Z_L مقاومتی بوده و I_e نسبت به V_s به میزان ۹۰ درجه تاخیر فاز دارد، لذا I_e منشا اصلی خطای ترانسفورماتور جریان است. تاثیر I_e پس فاز شدن جریان I_L می باشد. جریان I_e باید بسیار کمتر از I_H/n یعنی جریان اولیه ارجاع شده به سمت ثانویه باشد.



(الف)



(ب)



شکل ۷-۳ نمودار برداری مدار معادل ترانسفورماتور جریان

۳-۲-۲ خطاها

دلایل خطاها در ترانسفورماتورهای جریان کاملاً متفاوت با موارد متناظر در ترانسفورماتورهای ولتاژ هستند. در واقع، امپدانس جریان دارای همان تاثیر بر دقت دستگاه نظیر ترانسفورماتور ولتاژ نمی باشد و فقط با امپدانس سری خط جمع شده و قابل صرف نظر خواهد بود. خطاهای حاصله اساساً بر اثر جریانی است که در شاخه مغناطیس کننده گردش می نماید. مقدار خطا تفاوت بین دامنه I_H/n و I_L است و مطابق شکل ۷-۳ برابر I_3 یعنی جزئی از I_e همراستا با I_e می باشد خطای فاز که با θ نشان داده می شود به I_q یعنی جزئی از I_e عمود بر I_L بستگی دارد. مقادیر خطای دامنه و فاز به موقعیت نسبی I_e و I_L وابسته بوده ولی هیچیک از آنها نمی توانند از خطای برداری I_e فراتر روند. باید توجه نمود که یک بار سلفی نسبی، با I_e و I_L تقریباً هم فاز دارای خطای فاز کوچکی بوده و جزء تحریک تقریباً تنها سبب خطا در دامنه می گردد.

۳-۲-۳ اشباع ترانسفورماتور جریان

خطای ترانسفورماتورهای جریان ناشی از جریان تحریک بوده و بنابراین برای بررسی عملکرد ترانسفورماتور جریان لازم است که منحنی تحریک اندازه گیری یا محاسبه گردد. جریان مغناطیس کنندگی یک ترانسفورماتور جریان لازم است که منحنی تحریک اندازه گیری یا محاسبه گردد. جریان مغناطیس کنندگی یک ترانسفورماتور جریان بستگی به سطح مقطع و طول مدار مغناطیسی، تعداد دور سیم پیچی، و مشخصه مغناطیسی مواد بکار رفته دارد. بنابراین، برای یک CT خاص، با مراجعه به شکل ۶-۳ (ب) می توان دید که ولتاژ دو سر امپدانس مغناطیس کننده، E_S ، مستقیماً متناسب با جریان ثانویه است. از این موضوع، می توان نتیجه گیری نمود در موقعی که جریان اولیه و لذا جریان ثانویه افزایش می یابند، این جریانها به نقطه ای می رسند که هسته به اشباع رفته

جدول ۳-۴ (الف) محدود خط برای ترانسفورماتورها و جریاب اندازه گیری

Class	% current error at the given proportion of rated current shown below						% phase error at the given proportion of the rated current shown below							
	2.0*	1.2	1.00	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00*	1.20	1.00	0.50	0.20	0.10	0.05
0.1	—	0.1	0.1	—	0.2	0.25	—	—	5	5	—	8	10	—
0.2	—	0.2	0.2	—	0.35	0.50	—	—	10	10	—	15	20	—
0.5	—	0.5	0.5	—	0.75	1.00	—	—	30	30	—	45	60	—
1.0	—	1.0	1.0	—	1.5	2.00	—	—	60	60	—	90	120	—
3.0	—	3.0	—	3.0	—	—	—	—	120	—	120	—	—	—
0.1	0.1	—	0.1	—	0.2	0.25	0.40	5	—	5	—	8	10	15
0.2 ext	0.2	—	0.2	—	0.35	0.50	0.75	10	—	10	—	15	20	30
0.5 ext	0.5	—	0.5	—	0.75	1.00	1.50	30	—	30	—	45	60	90
1.0 ext	1.0	—	1.0	—	1.5	2.00	—	60	—	60	—	90	120	—
3.0 ext	3.0	—	—	3.0	—	—	—	120	—	—	120	—	—	—

* ext = 200%

جدول ۳-۴ (ب) محدود خط برای ترانسفورماتورها و جریاب اندازه گیری

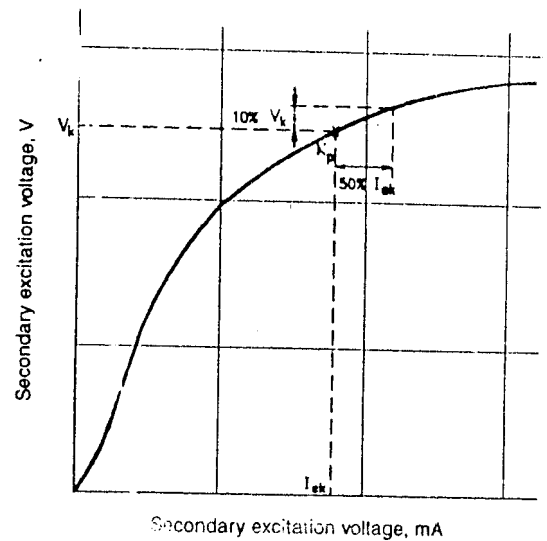
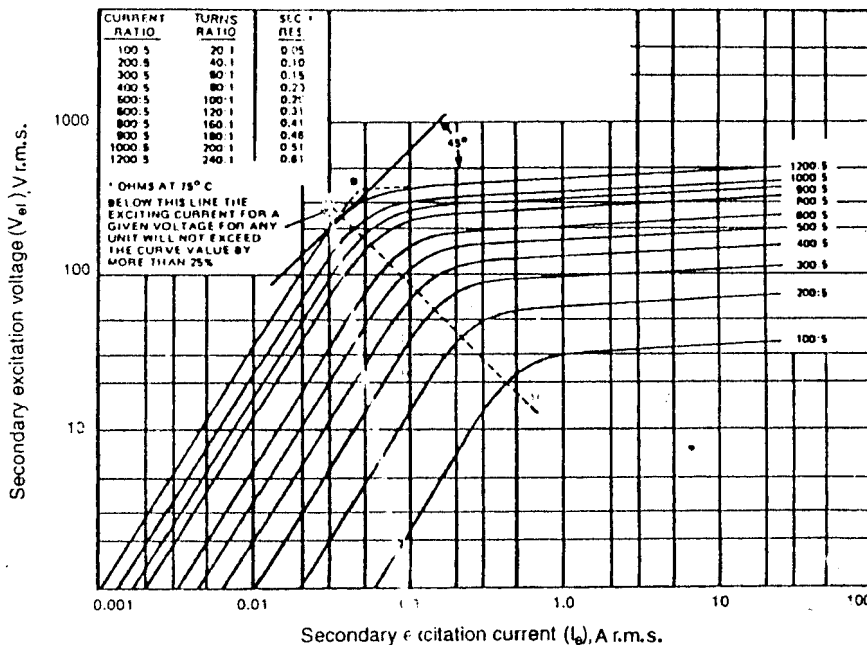
Class	Current error (%) at proportion of rated primary current shown						Phase error (minutes) at proportion of rated primary current shown					
	1.0	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	1.0	0.5	0.5	0.2	0.1	
5P and 5P ext	1.0	—	—	—	1.5	2.0	60	—	—	90	120	
10P and 10P ext	3.0	3.0	—	—	—	—	120	120	—	—	—	

Total error for nominal error limit current and nominal load is five per cent for 5P and 5P ext CTs and ten per cent for 10P and 10P ext CTs.

و جریان مغناطیس کنندگی به قدر کافی زیاد شده تا خطای بیش از حدی ایجاد نمایند. هنگامی که رفتار یک ترانسفورماتور جریان بررسی می گردد جریان تحریک باید در مقادیر مختلف ولتاژ اندازه گیری شود. به این اندازه گیری اصطلاحاً تزریق مدار ثانویه گویند. معمولاً به مدار ثانویه ولتاژ متغیری اعمال نموده و سیم پیچی اولیه را باز می گذارند. شکل ۳-۸ (الف) رابطه بین ولتاژ ثانویه و جریان تحریک را که از این طریق تعیین شده است بطور نمونه نشان می دهد. در استانداردهای اروپایی نقطه KP روی منحنی به نقطه اشباع بانقطه زانویی معروف بوده و به عنوان نقطه آبی که در آن افزایش ولتاژ تحریک به میزان ده درصد سبب افزایش جریان تحریک به میزان پنجاه درصد می گردد تعریف میشود. این نقطه در استانداردهای ANSI / IEEE بعنوان محل قطع منحنی با خط مماس ۴۵ درجه، مطابق شکل ۳-۸ (ب) مشخص می گردد. نقطه زانویی اروپایی در ولتاژی بالاتر از نقطه زانویی ANSI / IEEE قرار دارد.

۳-۲-۴ توان خروجی

توان خروجی یک ترانسفورماتور جریان مقدراً امپدانس سمت ثانویه آن بر حسب اهم بوده که ناشی از رله ها و اتصالات بین VT و رله ها می باشد. بعنوان مثال، توان خروجی استاندارد ترانسفورماتورهای جریان با جریان ثانویه نامی ۵ آمپر در جدول ۳-۳ بر اساس استاندارد ANSI شماره C57.13 مشخص شده اند. نشریه استاندارد IEC شماره ۱۸۵ (۱۹۸۷) ترانسفورماتورهای جریان را توسط کلاس دقت همراه با حرف M یا P برای تاکید بر مناسب بودن ترانسفورماتور به ترتیب برای اندازه گیری و حفاظت در جداول ۳-۴ (الف) و ۳-۴ (ب) ارائه شده اند. موقعی که جریان ثانویه جلوتر از جریان اولیه باشد، خطای فاز مثبت منظور می گردد. خطای جریان درصد تفاوت جریان ثانویه ضرب در نسبت تبدیل نامی یا جریان اولیه می باشد. یعنی $\frac{(CTR \times I_2) - I_1}{I_1} (\%)$ که در آن I_1 جریان اولیه بر حسب آمپر، I_2 جریان ثانویه بر حسب آمپر و CTR نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان می باشد. ترانسفورماتورهای جریانی که با EXT مشخص می وند از نوع محدوده وسیع با جریان ۱/۲ یا دو برابر مقدار نامی معین شده روی پلاک مشخصات هستند.



(الف)

الف) تعریف نقطه زانویی در منحنی تحریک CT بر اساس استانداردهای اروپایی
 ب) منحنی های تحریک نمونه برای CT با چند نسبت تبدیل کلاس C (اقتباس از استاندارد IEEE به شماره C57.13-1978) جریان می باشد آن CTهایی که با کلاس 'ext' مشخص می شوند نمایانگر CT محدوده وسیع با جریان دائمی نامی ۱/۲ یا دو برابر مقدار نامی معین شده روی پلاک مشخصات هستند.

جدول ۴-۳ توان خروجی استاندارد برای ترانسفورماتور جریان حفاظتی با جریان ثانویه 5A

علامت اختصاری	مقاومت (?)	اندوکنانس (mH)	امپدانس (?)	ولت آمپر (در ۵ ضریب قدرت)	آمپر	قدرت
B-1	.۵	۲/۳	۱	۲۵	۰/۵	
B-2	۱	۴/۶	۲	۵۰	۰/۵	
B-4	۲	۹/۲	۴	۱۰۰	۰/۵	
B-8	۴	۱۸/۴	۸	۲۰۰	۰/۵	

۴-۲-۵ انتخاب ترانسفورماتورهای جریان

موقعی که یک ترانسفورماتور جریان انتخاب می شود، اهمیت دارد که اطمینان حاصل گردد که سطح جریان خطا و شرایط بار عادی منجر به اشباع هسته نشده و هم چنین خطاها از مجاز فراتر نروند. این عوامل را از روشهای زیر ارزیابی نمود:

- رابطه ریاضی؛
- منحنی مشخصه های CT؛
- کلاس های دقت CT.

دو روش اول نکات دقیقی در مورد انتخاب ترانسفورماتورهای جریان ارائه می کنند. روش سوم فقط یک تخمینی کیفی عرصه می نماید. ولتاژ ثانویه E_s در شکل ۴-۶ (الف) باید برای هر سه روش تعیین گردد. اگر امپدانس مدارمغناطیسی، X_m زیاد باشد می توان با خطای کمی آن را از مدار معادل برداشت و لذا $E_s = V_s$ و بدین ترتیب (۴-۱) $V_s = I_L (Z_L + Z_C + Z_B)$ که در آن:

$$V_s = \text{ولتاژ موثر القا شده در سیم پیچی ثانویه}$$

$I_L =$ حداکثر جریان ثانویه بر حسب آمپر؛ این جریان را می توان از تقسیم حداکثر جریان خطای شبکه بر نسبت تبدیل ترانسفورماتور انتخاب شده بدست آورد.

$$Z_B = \text{امپدانس خارجی متصل شده}$$

$$Z_L = \text{امپدانس سیم پیچی ثانویه}$$

$$Z_C = \text{امپدانس سیم کشی های رابط}$$

افزایش جریان وقتی که پارامترهای دیگر ثابت باشد به افزایش خطا کمک می کند. همچنین با افزایش Z_L سبب افزایش خطا می شود. با اضافه کردن مصرف کننده مانند رله، دستگاه اندازه گیری و کابلهاو ... Z_L افزایش می یابد.

هرچه فاصله بین CT و دستگاههای اندازه گیری کمتر باشد Z_L کمتر خواهد شد.

افزایش جریان و امپدانس سبب افزایش جریان خطا می شود. س

- استفاده از رابطه ریاضی

در این روش از معادله اساس ترانسفورماتور استفاده می شود:

$$V_s = 4.44 f A N B_{max} 10^{-8} \quad V \quad (۴-۲)$$

که در آن:

$$f = \text{فرکانس بر حسب هرتز}$$

$$A = \text{سطح مقطع هسته (۱ اینچ مربع)}$$

$$N = \text{تعداد حلقه ها}$$

$$B_{max} = \text{شدت فلوی مغناطیسی (تعداد خطوط بر اینچ مربع)}$$

سطح مقطع فلز و چگالی شار اشباع در بعضی موارد به سختی بدست می آیند. چگالی شار اشباع را می توان برابر ۱۰۰۰۰۰ خط بر اینچ مربع که تعدادی معمول برای ترانسفورهای جدید است قرار داد. برای استفاده از این رابطه، V_S از معادله (۴-۱) بدست آمده و B_{max} به کمک رابطه (۴-۲) محاسبه می گردد. اگر B_{max} از چگالی اشباع فراتر رود، خطای قابل توجهی در جریان ثانویه می تواند رخ دهد و لذا CT انتخاب شده مناسب نخواهد بود.

مثال ۴-۱

یک CT با نسبت تبدیل ۲۰۰۰/۵ مفروض بوده و دارای هسته آهنی با نفوذپذیری زیاد، سطح مقطع ۳/۲۵ اینچ مربع و مقاومت سیم پیچی ثانویه ۰/۳۱ اهم می باشد. امپدانس رله ها و اتصالات مربوطه ۲ اهم است. بررسی نمایید که آیا CT در مقابل جریان ۳۵۰۰۰ آمپر در ۵۰ هرتز اشباع می گردد.

حل:

$$\text{اگر CT اشباع نگردد، آنگاه جریان ثانویه، } I_L, \text{ برابر } 87.5A = \frac{3500 \times 5}{2000} \text{ بوده و دور } N = \frac{2000}{5} = 400$$

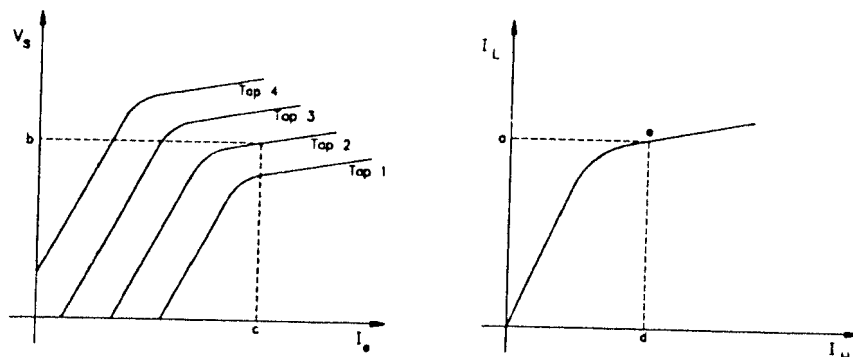
$$V_S = 87.5(0.31 + 2) = 202.1V \text{ خواهد شد. با استفاده از معادله (۴-۲)، } B_{max} \text{ محاسبه می گردد.}$$

$$B_{max} = \frac{202.1 \times 10^8}{4.44 \times 50 \times 3.25 \times 400} = 70030 \text{ lines/in}^2$$

چون ترانسفورماتور این مثال دارای هسته آهنی با نفوذپذیری زیاد است، لذا این شدت فلوی نسبتاً کم سبب اشباع آن نمی شود.

• استفاده از منحنی مغناطیسی

منحنی های تحریک CT که توسط سازندگان ارائه می شوند، بیانگر جریان موثر حاصله بر اثر اعمال ولتاژ موثر به سیم پیچی ثانویه، با باز بودن سیم پیچی اولیه می باشند. منحنی ها دامنه جریان تحریک مورد نیاز برای بدست آوردن ولتاژ ثانویه خاصی را ارائه می نمایند. این روش شامل رسم یک منحنی که نشانگر رابطه بین جریانهای اولیه و ثانویه برای شرایط معین بار و یک نپ خاص، مطابق شکل ۳-۹ می باشد.



شکل ۳-۹ استفاده از منحنی مغناطیسی

$$\text{الف- یک مقدار برای } I_L \text{ فرض کنید.} \quad b - IH = n(I_L + I_e)$$

$$\text{ج- } V_S = I_L(Z_L + Z_C + Z_B) \quad \text{د- نقطه متناظر را روی منحنی مشخص کنید.}$$

مثال ۴-۲

حداکثر جریان خطا در شبکه آی ۱۲۰۰ آمپر می باشد. نسبت تبدیل نامی CT برابر $\frac{1200}{5}$ بوده و قرار است که از تپ $\frac{800}{5}$ ترانسفورماتور جریان استفاده می گردد. کلاس CT برابر C-200، مقاومت ثانویه 0.12Ω ، کل بار ثانویه $2/4 \Omega$ و ضریب قدرت ۰/۶ هستند. بررسی نمایید آیا در هنگام وقوع اتصال کوتاه، خطا از ده درصد فراتر می رود.

حل:

از مقاومت سیم پیچی ثانویه CT می توان صرفنظر کرد چون طبق تعریف کلاس C-200 بیانگر آن است که CT قادر است ۲۰۰ ولت بعلاوه افت ولتاژ تولید شده بوسیله مقاومت ثانویه با جریانی تا ۲۰ برابر مقدار نامی، و با ضریب باری به کمی ۰/۵ را تحمل نماید.

با این وجود، افت ولتاژ در ثانویه تنها اگر جریان از $100 A$ تجاوز نکند قابل صرفنظر می باشد. برای این مثال

$$I_L = 12000 \left(\frac{5}{800} \right) = 75.4 \text{ است.}$$

بار مجاز طبق رابطه زیر بدست می آید:

$$Z_R = (N_p V_c) \div 100$$

$$N_p = \frac{800}{1200} = 0.667$$

بنابراین:

$$Z_B = (0.667 \times 200 V) \div 100 A = 1.334 \Omega$$

چون بارگذاری مدار ثانویه $2/4 \Omega$ بیشتر از مقدار مجاز $1/33 \Omega$ می باشد، لذا خطا می تواند از ده درصد در موقع جریان اتصال کوتاه $1200 A$ بیشتر شود. این جریان منجر به جریان ثانویه حداکثر $75 A$ می گردد. در نتیجه، لازم است که بار کاهش یافته یا تپ ترانسفورماتور جریان افزایش پیدا کند و یا اینکه از CT دیگری با کلاس بالاتری استفاده شود.

۴-۲-۶ اشباع DC

تا اینجا، رفتار یک CT در حالت ماندگار، بدون در نظر گرفتن گذرای DC جریان خطا بررسی گردید. با این وجود، جزء DC تاثیر بیشتری روی ایجاد اشباع شدید نسبت به جزء AC دارد.

شکل ۴-۱۰ یک مثالی از اعوجاج و کاهش جریان ثانویه که از اشباع DC ناشی می گردد را نشان می دهد. با این وجود، جزء DC جریان خطا اگر $V_K \geq 6.28 IRT$ باعث اشباع CT نمی گردد. در این رابطه:

$$V_K = \text{ولتاژ در نقطه زانویی منحنی مغناطیس شوندگی، که از امتداد بخش خطی منحنی بدست می آید.}$$

$$I = \text{جریان متقارن ثانویه (آمپر - موثر)}$$

$$R = \text{مقاومت کل مدار ثانویه}$$

$$T = \text{ثابت زمانی DC مدار اولیه بر حسب سیکل یعنی } T = \frac{L_p}{R_p} f$$

که در آن: L_p = اندوکتانس مدار اولیه = R_p = مقاومت مدار اولیه = F = فرکانس

ه- I_e را از منحنی بدست آورید.

با شروع از هر مقدار جریان ثانویه، و با کمک منحنی های مغناطیسی، مقدار متناظر جریان اولیه را می توان تعیین کرد. مراحل انجام کار به شرح زیر هستند:

الف) یک مقدار برای I_L فرض کنید.

ب) V_S را مطابق معادله (۳-۱) محاسبه نمایید.

ج) مقدار V_S را روی منحنی برای تپ انتخاب شده تعیین کنید، و مقدار متناظر جریان مغناطیسی I_e را بدست آورید.

د) مقدار I_H/n را که برابر $(I_L + I_e)$ است محاسبه نموده و این مقدار را در n ضرب کنید تا نسبت به سمت اولیه CT ارجاع گردد.

ه- این مقدار یک نقطه روی منحنی I_L بر حسب I_H مشخص می کند. این روند را برای مقادیر دیگر I_L و مقادیر متناظر I_H تکرار کنید. با متصل کردن نقاط، منحنی I_L بر حسب I_H بدست می آید.

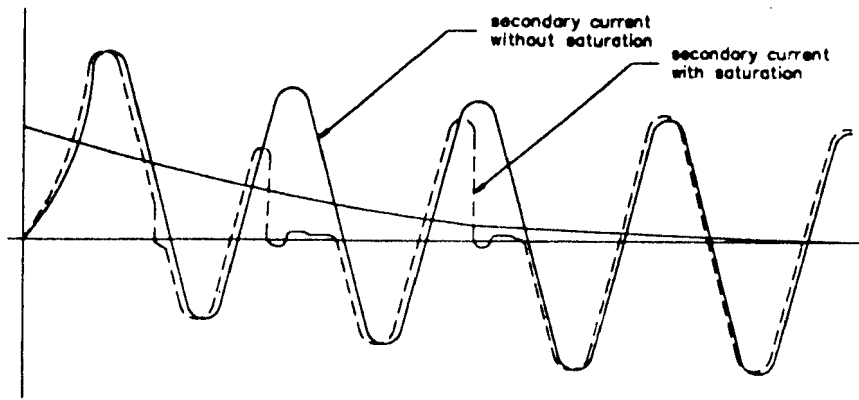
این روش دارای خطا در محاسبه I_H/n می باشد زیرا I_e و I_L بصورت جبری به جای برداری با یکدیگر جمع شده اند و این به معنای در نظر نگرفتن زاویه بار و شاخه مغناطیس کنندگی مدار معادل می باشد. با این وجود، این خطای بزرگ نبوده و ساده سازی انجام شده اجرای محاسبات را ساده می کند.

بعد از ساختن منحنی، باید بررسی کرد که حداکثر جریان خطای اولیه در محدوده اشباع ترانسفورماتور قرار داشته باشد. در غیر اینصورت، باید روند فوق تکرار شده و تپ CT تغییر داده شود تا جریان خطا در ناحیه خطی مشخص واقع شود. در عمل، نیازی به رسم کامل منحنی نبوده زیرا فقط کافی است که جریان معین خطا بدون در نظر گرفتن اثر اشباع برای تپ انتخاب شده به ثانویه ارجاع داده شود. این مقدار تبدیل شده را می توان بعنوان I_L در روند ذکر شده فوق در نظر گرفت. اگر تپ انتخاب شده بعد از انجام محاسبات مناسب بنظر برسد، آنگاه مقداری برای I_H می توان یافت که به جریان خطا نزدیکتر باشد.

• کلاسهای دقت تعریف شده توسط استانداردهای ANSI

کلاس دقت یک ترانسفورماتور جریان مطابق استاندارد ANSI (شماره C57.13) بوسیله دو علامت بیان می شود. این دو یک حرف و ولتاژ نامی بوده و توانایی CT را تعریف می کنند. از حرف C یا T بعنوان یکی از علائم استفاده می گردد. C نمایانگر نسبت تبدیلی است که از طریق محاسبه مشخص شده، و T نمایانگر نسبت تبدیلی می باشد که از طریق آزمایش معین می شود. طبقه بندی T شامل CT هایی می باشد که شار پراکندگی آنها اثر چشمگیری روی نسبت تبدیل دارد. بعنوان مثال، در یک CT با کلاس C-100 نسبت قابل محاسبه بوده، و خطا نباید از ده درصد در صورتیکه جریان ثانویه خارج از محدوده ۱ تا ۲۰ برابر جریان نامی نباشد فراتر رود و اگر بار از 1Ω یعنی $100V = 20 \times 5A \times 1\Omega$ در ضریب قدرت حداقل ۰/۵ تجاوز نکند، فراتر رود.

این کلاسهای دقت فقط برای کل سیم پیچی قابل اعمال بوده و موقعی که سیم پیچی دارای تپ های مختلف است، هر تپ دارای ظرفیت ولتاژی به تناسب کوچکتر خواهد بود. در نتیجه قادر است صرفاً بخشی از بار را بدون تجاوز از حد ده درصد خطا تغذیه نماید. بار مجاز بصورت $Z_B = \frac{(N_p V_C)}{100}$ تعریف می گردد، که در آن Z_B بار مجاز برای یک تپ خاص CT، N_p کسری از تعداد کل حلقه های استفاده شده و V_C ظرفیت ولتاژی کل CT مطابق استاندارد ANSI می باشند.



شکل ۴-۱۰ تاثیر اشباع DC روی جریان ثانویه

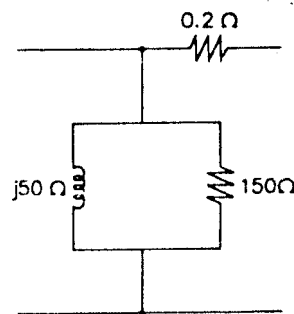
اشباع DC خصوصا در طرحهای حفاظتی پیچیده اهمیت می یابد، زیرا در حالت خطاهای خارجی، جریانهای شدید اتصال کوتاه درون CT ها گردش می کند. اگر اشباع در CT های مختلف متناظر با یک ساختار حفاظتی خاص رخ دهد، ممکن است سبب گردش جریانهای ثانویه نامتعادل گردیده که موجب عملکرد غلط سیستم حفاظتی خواهد شد.

۴-۲-۷ مراقبت های لازم در هنگام کار با ترانسفورماتورهای جریان

کار کردن با CT های متناظر مدارهای برقدار می تواند فوق العاده خطرناک باشد. بخصوص، باز شدن مدار ثانویه یک CT می تواند سبب اضافه ولتاژهای خطرناک گردیده که موجب آسیب به افراد یا صدمه دیدن تجهیزات گردد. چون ترانسفورماتورهای جریان طوری طراحی شده اند که در مدارهای قدرتی که دارای امپدانس بسیار بزرگتر از امپدانس خود هستند بکار می روند. در نتیجه، موقعی که مدارهای ثانویه باز شوند، امپدانس معادل مدار اولیه تقریبا تاثیری نمی گیرد ولی یک ولتاژ بسیار زیاد توسط جریان اولیه عبوری از امپدانس مغناطیسی کننده تولید می گردد. بنابراین، مدارهای ثانویه متناظر با CT ها باید همواره در شرایط بسته یا اتصال کوتاه شده بمانند تا از اینگونه رخدادهای نامطلوب جلوگیری شود. برای نشان دادن این موضوع، مثال زیر برای یک CT نمونه و یک فیدر ۱۳/۲ KV ارائه می گردد.

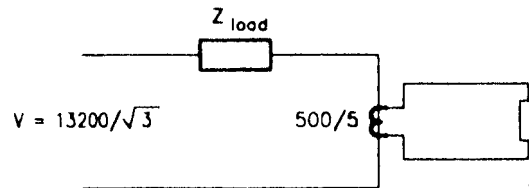
مثال ۴-۳

یک فیدر ۱۳/۲ KV را دارای بار ۱۰ MVA در ضریب قدرت ۱ می باشد را در نظر بگیرید. متناظر با این مدار یک CT با نسبت تبدیل $\frac{500}{5}$ وجود دارد که سیستم های اندازه گیری را با بار کل ۱۰ VA تغذیه می نماید. مدار معادل CT ارجاع شده به سمت ثانویه در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. ولتاژی که در مدار ثانویه CT در صورت باز شدن ناگهانی سیستم اندازه گیری ممکن است بروز نماید را محاسبه نمایید.

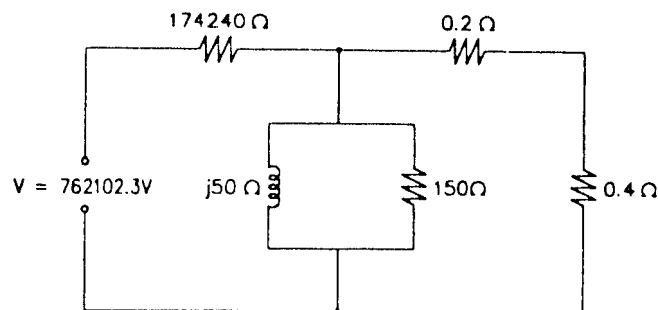


شکل ۳-۱۱ مدار معادل CT ارجاع شده به سمت ثانویه برای مثال ۳-۳

حل: نمودار تک خطی در شکل ۱۲-۳ و مدار معادل در شکل ۱۳-۳ ارائه شده اند.



شکل ۱۲-۳ نمودار تک خطی، مثال ۳-۳



شکل ۱۳-۳ مدار معادل شکل ۱۲-۳

با ارجاع مقادیر به سمت ثانویه CT داریم:

$$V = \frac{13200}{\sqrt{3}} \times \frac{500}{5} = 762102.36 \text{ V}$$

$$Z_{Load} = \frac{13.2^2}{10} \times \left(\frac{500}{5}\right)^2 = 174240 \text{ } \Omega$$

$$Z_{meter} = \frac{10}{5^2} = 0.4 \text{ } \Omega$$

موقعی که مدار ثانویه بسته باشد، ولتاژ دو سر سیستم اندازه گیری را می توان بطور تقریبی با صرف نظر از شاخه موازی بصورت زیر محاسبه کرد:

$$V_{meter} = \frac{762102.36}{174240 + 0.2 + 0.4} \text{ A} \times 0.4 \Omega = 4.37 \text{ A} \times 0.4 \Omega = 1.75 \text{ V}$$

اگر مدار ثانویه باز باشد، جریان تنها قادر است در شاخه موازی گردش نماید. در این شرایط ولتاژی که در دو سر ترمینال CT ظاهر خواهد شد عبارتست از:

$$V_{CT} = \frac{762102.36}{174240 + (150 \parallel j50)} \times (150 \parallel j50) = 207.47 \angle 71.55^\circ \text{ V}$$

بنابراین، ولتاژ تقریباً ۱۲۰ برابر شده است.

$$E_T = (12)(5.099) = 61.2 \text{ V}$$

$$I_e = 0.894 \text{ A}$$

$$E_2 = 60.1 \text{ V}$$

$$I_2 \frac{60.1}{5.099} = 11.78$$

$$CT_{error} = 0.22/12 = 1.8\%$$

ج) (نسبت به حالت الف امپدانس زیاد شده (امپدان مربوط به خطوط کابلهای ارتباطی)

$$Z_T = 15 + j2 = 15.13 \angle 7.6^\circ$$

$$E_T = (4)(15.13) = 60.5 \text{ V}$$

$$I_e = 0.814 \text{ A}$$

$$E_2 = 57.6 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{57.6}{15.13} = 3.81 \text{ A}$$

$$CT_{error} = 0.19/4 = 4.8\%$$

د) اتصال کوتاه و افزایش بردن:

$$E_T = 181.6 \text{ V}$$

$$I_e = 9.21 \text{ A}$$

$$E_2 = 99.5 \text{ V}$$

$$I_2 = 99.5/15.13 = 6.58 \text{ A}$$

$$CT_{error} = 5.42/12 = 45.2\%$$

مثال: یک CT دارای نسبت تبدیل نامی 500/5 A و $Z_L = 0.1 + j0.5 \Omega$ و مشخصه اشباع به شکل زیر است و I_L و خطای CT را در شرایط زیر محاسبه نمایید.

(الف) $I_1 = 400 \quad Z_L = 4.9 + j0.5 \Omega$

(ب) $I_1 = 1200 \quad Z_L = 4.9 + j0.5 \Omega$

(ج) $I_1 = 1200 \quad Z_L = 14.9 + j1.5 \Omega$

(د) $I_1 = 1200 \quad Z_L = 14.9 + j1.5 \Omega$

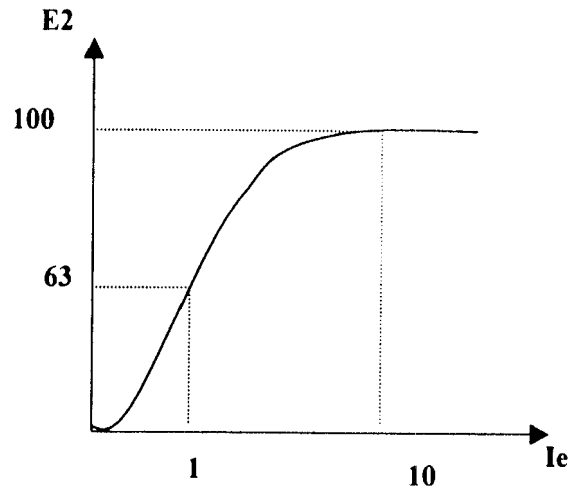
حل:

(الف)

$(I_e, E_2) = (1, 63) \quad (10, 100)$

$$E_2 = \frac{AI_e}{B + I_e}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 63 = \frac{(1)A}{B + 1} \\ 100 = \frac{(10)A}{B + 10} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A = 107 \\ B = 0.698 \end{array} \right.$$



$$I_e = \frac{E_{th}}{\sqrt{R_{th}^2 + [X_{th} + \frac{A}{B + I_e}]^2}}, \quad R_{th} = R_2 + R_L = 4.9 + 0.1 = 5$$

$$X_{th} = X_L + X_2 = 0.5 + 0.5 = 1$$

$$Z_{th} = R_{th} + jX_{th} = 5 + j1 = 5.099 \angle 11.3^\circ$$

$$E_T = Z_{th} \cdot I_2' = (4)(5.099) = 20.4$$

$$I_e = \frac{20.4}{\sqrt{25 + [1 + \frac{107}{0.698 + I_e}]^2}} = 0.163$$

$$E_2 = \frac{(0.163)(107)}{0.698 + 0.163} = 20.3$$

$$I_e = \frac{E_2}{Z_T} = \frac{20.3}{5.099} = 3.97, \quad CT_{error} = \frac{0.43}{4} = 0.7\%$$

(ب) (نسبت به حالت الف جریان زیاد شده)

فصل چهارم: ساختمان داخلی رله ها

۴-۱ مقدمه

کلمه رله (Relay) در معانی مختلفی بکار میرود. از این جمله میتوان به **Relay Race** به معنای دو امدادی (نوعی مسابقه دو میدانی که هر یک از اعضای هر یک از تیمهای شرکت کننده در آن بخشی از مسیر را می دونند) اشاره کرد. در هر یک از معانی که **Relay** در آنها بکار رفته است مفهومی از دست به دست کردن در نظر می باشد مثال رله تلگراف با توجه به همین معنا به این نام خوانده شد. در اینجا نیز مفهومی خاص از رله ارائه می گردد:

رله تجهیزاتی است که با انجام یک اندازه گیری و یا با دریافت یک سیگنال کنترلی از برخی عملکردهای یک مدار الکتریکی تغییراتی از پیش تعیین نشده بر آن اعمال میکند.

یک رله حفاظتی رله ایست که نسبت به شرایط غیر عادی در سیستم قدرت واکنش نشان داده و باعث می شود که با بی برق کردن حداقل مقدار بخش معیوب سیستم از بقیه آن جدا شود. این عمل با صدور فرمان قطع از رله به کلید صورت می گیرد. رله ها را میتوان از نظر چگونگی عملکرد به دو دسته زیر تقسیم کرد:

- رله های اندازه گیری

- رله هایی که سیگنالهای کنترلی را تکرار می کنند.

رله های دسته دوم در استاندارد انگلیس برای رله های حفاظتی الکتریکی (استاندارد BS۱۴۲:۱۹۶۶) رله های **all-or-nothing** خوانده می شوند. علت نامگذاری این رله ها به این نام این است که این رله ها با منبعی تغذیه می شوند که خروجی آنها از حداقل مقدار عملکرد رله بیشتر است. این رله ها عموماً کالیبره نمیشوند اما برای تعیین مقدار حداقل ورودی عملکرد؛ مورد تست عملکرد قرار می گیرند. عملکرد اینگونه رله ها معمولاً همانند عملکرد یک کنتاکتور ساده است اما در برخی موارد ممکن است در آنها عمل اندازه گیری نیز انجام شود. برای مثال ممکن است تغذیه یک رله تاخیر زمانی همانند رله های **all-or-nothing** باشد، در صورتیکه در این رله ها، زمانی مشخص برای عمل کردن رله پس از این زمان، در نظر گرفته می شود.

رله های اندازه گیر، عموماً مقادیر اساسی سیستم را دریافت کرده و مورد اندازه گیری قرار می دهند. اندازه گیری شامل مقایسه کمیت ورودی با یک مقدار استاندارد و یا با کمیت ورودی دیگر میشود و لزوماً هیچ یک از دو کمیت با مقداری که رله برای آن کالیبره شده است برابر نیستند. همچنین لازم نیست که هر دو کمیت، الکتریکی باشند. برای مثال در رله های جریان زیاد، گشتاور تولید شده توسط جریان، با مقاومت یک فنر مقایسه میگردد. از سوی دیگر در یک رله امپدانس، دامنه جریان سیستم با دامنه ولتاژ آن مقایسه می شود در حالیکه کالیبراسیون رله بر اساس نسبت این دو کمیت (که همان امپدانس است) صورت می گیرد. در یک رله **mho**، زاویه فاز بین دو کمیت نیز اندازه گیری شده و در نتیجه، منحنی مشخصه رله پیچیده تر خواهد بود. کالیبراسیون این نوع رله ها بر اساس امپدانس به ازای زاویه ای مشخص انجام می شود.

بر اساس نوع مقایسه ای که در رله صورت می گیرد (اعم از دامنه، زاویه، فاز و...)، انواع مختلفی از رله ها ساخته شده اند. حداقل مقداری که به ازای کمیت ورودی بیشتر از آن، رله عمل می کند، **setting** خوانده می شود و در واقع همان مقداری است که رله بر اساس جنس کمیت مورد نظر (امپدانس، فاز،...) برابر با آن مقدار، کالیبره می گردد. در بسیاری از موارد این مقدار، به معنای حداقل مقدار کمیت مربوطه برای عملکرد است اما در همه موارد چنین چیزی صادق نیست. برای مثال ممکن است کالیبراسیون یک سیستم دیفرانسیل جریان حلقه ای (سیر کوله) برای حفاظت یک باس بار، بر مبنای ولتاژ قرار گیرد. این نوع رله ها در نتیجه بروز جریان بیش از یک مقدار خاص در ناحیه حفاظتی خود، عمل میکنند که این مقدار خاص، همان **setting** رله است. عبارت **setting** باید به کمیتی تعلق گیرد که کالیبراسیون بر مبنای آن انجام می گیرد. برای مثال در

این نوع حفاظت (دیفرانسیل) چون ولتاژ اعمال شده به رله باعث عملکرد آن می شود، **setting** مربوط به ولتاژ خواهد بود. جریان ورودی رله به ازای ولتاژ **setting** جریان عملکرد رله نامیده میشود. به طریقی مشابه، جریانی که باید به مدار ثانویه تزریق شود که باعث عملکرد رله شود، جریان عملکرد مؤثر ثانویه و معادل این جریان در مدار اولیه، جریان عملکرد اولیه نامیده می شود. در هنگام عملکرد، نشانگر رله ممکن است بلند شود یا بیفتد (این عبارت بلندشدن و افتادن که از زمان رله های اولیه، باب شده اند، هم اکنون در مورد نشانگرهایی که حرکتشان عمودی نیست نیز مورد استفاده قرار می گیرد). **Setting** رله ممکن است یکی از این دو باشد. در برخی از موارد ممکن است هم **pick-up** و هم **drop-off** منظور شوند، در بقیه رله ها ممکن است پس از قطع کلید قدرت توسط رله، دامنه کمیت عملکرد آن اهمیت چندانی نداشته باشد.

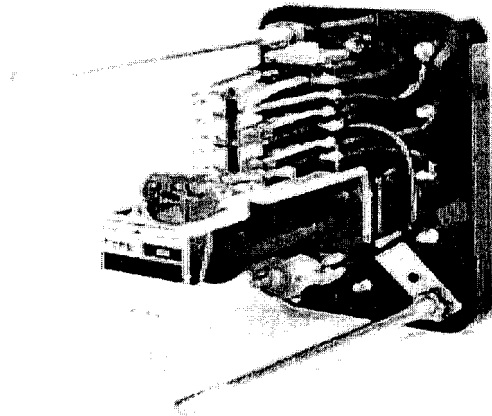
جریان نامی و ولتاژ نامی رله، مقادیری هستند که عملکرد رله بر مبنای آنها می باشد. این مقادیر بر روی رله ثبت می شوند و نشان دهنده مقادیر نامی مربوط به ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان یا ولتاژ نامی باتری ای که رله با آن کار می کند، می باشند. در رله هایی که مستقیماً نصب می شوند، مقدار نامی ولتاژ همان مقدار نامی مدار است اما در هر صورت سیم پیچهای جریان با استفاده از ترانسفورماتورهای جریان تغذیه می شوند. یک رله حفاظتی در موقع سالم بودن سیستم ممکن است برای مدتی طولانی عمل نکند، اما همین رله باید در موقع نیاز با قابلیت اعتماد بالایی کار کند. ممکن است تعداد عملکردهای یک رله به یک بار عملکرد در ۲۰ سال نرسد. به همین جهت، قابلیت اطمینان رله، از اهمیت بالایی برخوردار است. معمولاً در استفاده از یک رله ظریف برای به کار انداختن یک تجهیز عمده (مانند کلید) اندکی اکراه وجود دارد اما لازم است به این نکته توجه شود که قابلیت اعتماد این وسایل ظریف در صورت استفاده صحیح نسبت به مکانیزمهای حجیم و عمده بسیار بالاتر است. برای نیل به این هدف، طراحی، ساخت، فرمول بندی و تعیین مشخصه های عملکرد رله ها بصورت دقیق، امری ضروری است.

۴-۲: انواع اصلی رله ها

رله ها عموماً بر اساس وظیفه ای که بر عهده دارند، مشخص می شوند. برای مثال، می توان به رله های جریان زیاد و یا رله های امیدانسی اشاره کرد. برای مطالعه دقیق ویژگیهای رله های مختلف، می توان آنها را با توجه به نوع ساختارشان تقسیم بندی کرد. ممکن است از یک نوع ساختار خاص، برای اهداف و کاربردهای گوناگونی استفاده شود. هر چه المانهای مورد استفاده در ساختار اساسی رله کمتر باشند، بهتر است. در نتیجه تحقق این امر، پیچیدگی ساختار رله کمتر شده و بهره برداری، تعمیر و نگهداری آن آسان تر می شود. تاکنون رله های با ساختارهای مختلفی ساخته شده اند که عبارتند از: آرمیچر جذبی، نیمه هادی، مکانیکی و فتو الکتریک. رله های گوناگونی با اجزاء متنوع ساخته شده اند که در زیر به شرح مشخصه ها و برخی کاربردهای آنها پرداخته می شود:

۴-۲-۱: رله های با آرمیچر جذبی

این رله ها ساده ترین نوع رله ها بوده و بیشتر از بقیه انواع، مورد استفاده قرار گرفته اند و عملکرد آنها بصورت حرکت یک تکه آهنی به سمت یک میدان ایجاد شده توسط یک سیم پیچ می باشد. آرایش کاربردی و سمبلیک این رله ها بصورت دیاگرام هایی در شکل های A-۴-۲-۱ تا k-۴-۲-۱ نشان داده شده اند. شکل A-۴-۲-۱ ساختمان این نوع رله که هم به عنوان رله اندازه گیر و هم بعنوان عملگر کمکی، بسیار مورد استفاده قرار می گیرد را نشان می دهد. مدار مغناطیسی شامل یک هسته آهنی است که سیم پیچ تغذیه بر روی آن قرار می گیرد. این مدار بر روی یک قاب آهنی سوار شده است. قاب آهنی طوری شکل داده شده است که مسیری برای بازگشت فلوهای مغناطیسی ایجاد شده، بوجود می آورد. آرمیچر بصورت لولایی شکل داده شده است تا بتواند در مسیر میدان جابجا شود. ممکن است برای این کار از بلبرینگ استفاده شود اما معمولاً حرکت آرمیچر بر روی تیغه ای که در انتهای قاب ایجاد شده است، صورت می گیرد.



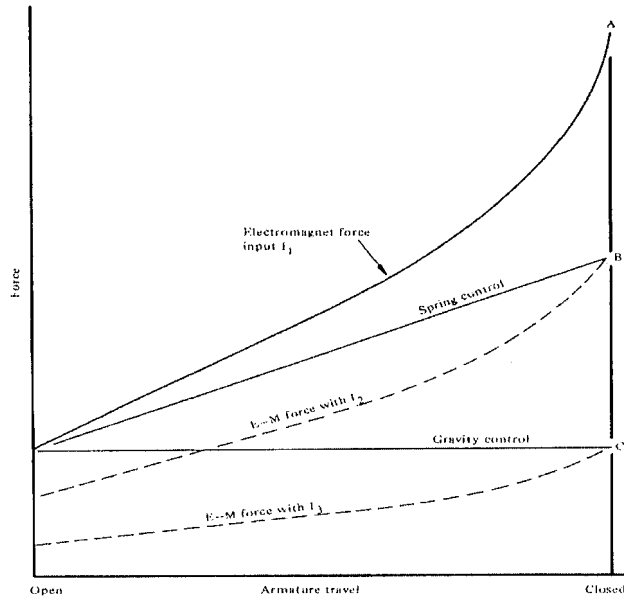
شکل 4-2-1- بش: نمونه یک رله آرمیچری لولایی

ممکن است کنتاکتها بر روی آرمیچر قرار گیرند اما معمولاً آرمیچر از طریق یک زائده عایق، یکی از کنتاکتها را به سمت دیگری فشار داده و به آن متصل میکند. نیروی اعمالی به آرمیچر برابر است با:

$$F=K (NI)^2/(g / A+C)^2A$$

در این رابطه F نیرو، N تعداد دور سیم پیچ عملگر، I فاصله هوایی آرمیچر A سطح مؤثر قطب و C رلوکتانس مدار مغناطیسی است. قبل از PICK-UP مقدار C کوچک بوده و می توان رابطه فوق را به صورت $K (NI)^2A/g^2$ خلاصه کرد. با بسته شدن فاصله هوایی، جاذبه مغناطیسی بیشتر می شود که معمولاً نرخ این افزایش، از مقاومت مکانیکی فنر مربوط به کنتاکتها بیشتر است. جهت **reset** کردن رله، جریان تغذیه **coil** (سیم پیچ عملگر) کاهش داده می شود. نسبت جریان **reset** به جریان عملکرد؛ نسبت بازگشت؛ (**returning ratio**) نامیده می شود. در نتیجه پایین بودن جریان **reset**، عملکرد خوبی حاصل می شود. پایین بودن مقدار **reset** ممکن است در برخی کاربردها مناسب نباشد. برای کاهش این اثر می توان با قرار دادن زائده ای غیر مغناطیسی برای آرمیچر، از بسته شدن کامل فاصله هوایی جلوگیری کرد.

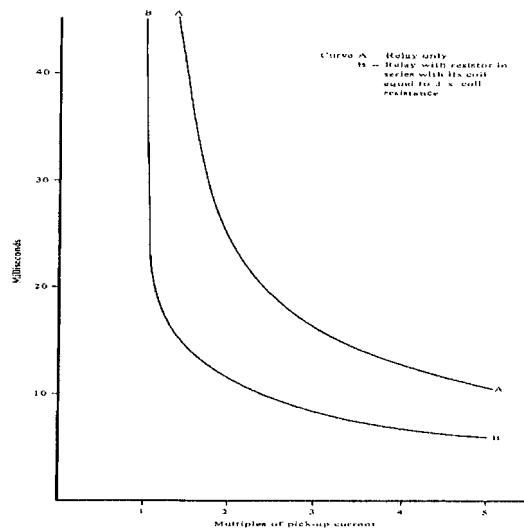
با تنظیم فنر به گونه ای که با بسته شدن آرمیچر، مقاومت آن به سرعت افزایش یابد، می توان با کاهش اندک جریان (طبق شکل B-1-2-4) رله را **RESET** کرد. در این شکل منحنی A ، بیانگر نیروی جاذبه مغناطیسی وارده به آرمیچر است. نیروی ذخیره شده در فنر، با خط مستقیم B نمایش داده شده است. فاصله AB نشان دهنده نیروی عدم تعادل در هنگام بسته بودن رله است. جهت **RESET** کردن رله، باید جریان تا مقدار I_2 (معادل نقطه B) کاهش داده شود. در صورتیکه نیروی مقاوم ثابتی معادل نقطه C اختیار شود، جریان **RESET** مقداری کمتر و برابر با I_3 خواهد بود که منحنی نیروی جاذبه مغناطیسی وارده، مشابه منحنی C خواهد شد. هر چه سرعت فنر بالاتر باشد، سرعت عملکرد نیز بالاتر خواهد بود که البته انجام چنین کاری محدودیت اقتصادی دارد. در رله های معمولی، جریان **RESET** باید چیزی حدود ۲۵٪ مقدار **PICK-UP** باشد. البته در برخی طراحی های خاص ممکن است، این مقدار برابر با ۹۰٪ مقدار **PICK-UP** و یا حتی بیش از آن باشد. در برخی موارد به جای استفاده از سیستم کنترل فنر اضافی، کنتاکت رله به گونه ای تنظیم می شود که باعث افزایش مقاومت در سیم پیچ شود که در نتیجه آن با اندک کاهش ولتاژ اعمالی به رله، رله **RESET** خواهد شد.



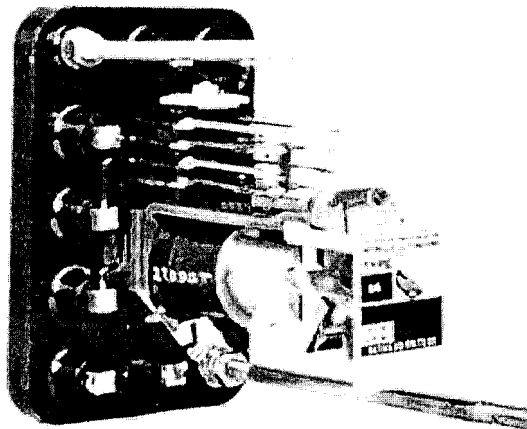
شکل B-1-2-4: تأثیر مقاومت فنر بر سرعت بازگشت

آرایش کاربردی دسته اخیر رله ها بعنوان رله های بدون تأخیر (INSTANTANEOUS) شناخته میشوند. البته در عالم واقع هیچ عملی در مدت زمان صفر انجام نمی گیرد و علت این نام گذاری زمان بسیار کوچک عملکرد این نوع رله هاست. شکل C-1-2-4 منحنی مشخصه زمان - جریان یک رله با آرمیچر جذبی را نشان می دهد. زمان عملکرد این رله ها بستگی به زمان ایجاد جریان در سیم پیچ اندوکتیو رله دارد. در هنگام ساخت رله میتوان با اضافه کردن مقاومت هایی به مدار آن، مدت زمان عملکرد را تغییر داد. نتایج بدست آمده در هر تست، بستگی به مدار تست و وضعیت کنترل جریان دارد. برای پاسخ به "جریان"، رله به صورت سری با باری قرار می گیرد که کاملاً بر مشخصه رله احاطه دارد. نمی توان هیچ گونه پس فازی اندوکتیو را به رله نسبت داد.

انجام تست بر روی چنین رله هایی فقط نشان دهنده تأخیر مکانیکی است. از سوی دیگر، رله ای که برای اندازه گیری ولتاژ طراحی می شود، و یا رله کمکی ای که با باتری تغذیه می شود، ممکن است به قرارگیری مقاومتی سری با سیم پیچ خود، نیازی پیدا نکند. عملکرد چنین رله ای به همین علت کند است. این اثر با دو منحنی شکل C-1-2-4 نمایش داده شده است.



شکل C-1-2-4: منحنی مشخصه یک رله با آرمیچر جذبی



شکل 4-2-1-D: رله با آرمیچر جذبی

شکل D-1-2-4: رله با آرمیچر جذبی

در صورتی که بخواهیم سرعت رله کمتر شود، می توان با قرار دادن یک استوانه مسی در ترمینال هسته، زمان عملکرد را بالا برد. این استوانه مسی محل پیچی را اشغال میکند.

در این حالت، در نتیجه جریانهای فوکو، در تغییرات شار تأخیر ایجاد می شود و به این ترتیب می توان زمان تأخیر رله را از چند میلی ثانیه به ۱ یا ۲ ثانیه تغییر داد.

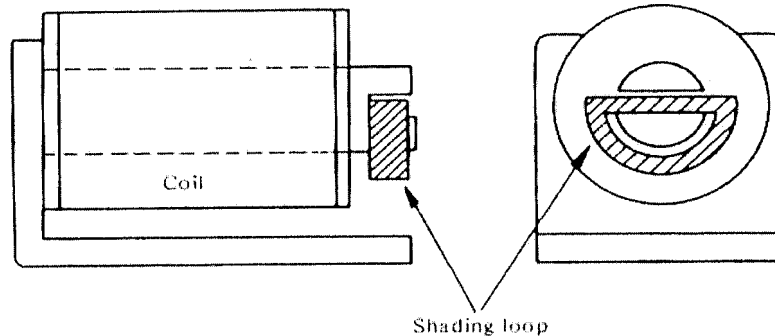
در عمل، قراردادن زائده مذکور بر روی قطب و آرمیچر هم در **pick-up** و هم در **drop-off** تأخیر ایجاد می کند. در صورتیکه زائده در پشت کویل (سیم پیچ) باشد، تأثیر بیشتری بر **drop-off** دارد تا **pick-up** با موازی کردن یک مقاومت یا یک دیود با کویل، میتوان در زمان **reset** شدن نیز تأخیر ایجاد کرد. شارهای پسماند در هسته رله، در **drop-off** رله نقش مهمی داشته و حتی ممکن است مانع از آزاد شدن رله شوند. برای ممانعت از اثر شار پسماند میتوان زائده ای غیر مغناطیسی بر روی آرمیچر قرار داد تا از بسته شدن مدار مغناطیسی ممانعت کند. با ایجاد فاصله ای در حدود 0.5 mm، میتوان تا حد زیادی از اثر شار پسماند کاست. روش دوم برای کاستن اثر شارهای پسماند، ساخت هسته رله از جنسی با خاصیت نگهداری شار پسماند کم است.

از طرفی به کمک شار پسماند میتوان رله ای با قابلیت **reset** شدن الکتریکی (**bistable**) ساخت. برای این منظور، هسته از جنس فولاد با کربن زیاد ساخته می شود چنین هسته ای نسبت به هسته های معمولی نیروی اعمالی بیشتری ایجاد می کند. در این حالت آرمیچر بدون هیچ فاصله هوایی بسته می شود و برای باز کردن آن، نیاز به یک پالس دی مغناطیسی می باشد. برای این منظور، کویل رله با پلاریمه معکوس تغذیه می شود. جریان در حالت **reset** به اندازه های باشد که باعث عملکرد مجدد رله شود.

رله های AC

رله های با آرمیچر جذبی ساده میتوانند با جریان متناوب کار کنند اما از آنجاکه در چنین جریانهایی شار باید از صفر عبور کند، در هر بار عبور شار از صفر، آرمیچر برای لحظه ای **reset** میشود. به همین علت رله نويز دار خواهد شد و ممکن است در بعضی موارد، به شدت شروع به لرزش کند. برای جلوگیری از این اثر، معمولاً قطب مغناطیسی را دو قسمت کرده و یکی از آنها را با یک حلقه مسی (**shading loop**) میپوشانند. (شکل E-1-2-4).

جریانهای فوکوی عبوری از این حلقه، در شارهای عبوری از قسمتی که بر روی آن قرار گرفته است، نسبت به قسمت دیگر، تأخیر ایجاد میکند. در اینصورت، شار عبوری هیچگاه به صفر نمیرسد. در مواقعی که از حلقه مسی استفاده نمیشود، میتوان برای تغذیه کوئل از یک یکسو ساز تمام موج استفاده کرد.



شکل E-1-2-4: رله AC با حلقه مسی

BURDEN ها:

تعیین این مقادیر در محدوده ای وسیع صورت میگیرد. برای مثال یکی از انواع رله های DC کوچک، میتواند با انرژی 0.5 تا 2 وات، عمل کرده و PICK-UP آن در محدوده 0.01 تا 0.04 ثانیه میباشد. رله های AC در PICK-UP خود، معمولاً برای عمل کردن توانی در حدود 5 تا 3 ولت-آمپر نیاز دارند.

مقادیر فوق مربوط به رله های کوچک میباشند، برخی رله های چند کنتاکتی که برای بالا بردن پایداری، در آنها مقاومت مکانیکی بالایی ایجاد میگردد نیاز به انرژی زیادی دارند. برای مثال نوعی رله چند کنتاکتی، در حدود 100 وات در ولتاژ نامی، مصرف میکند.

اجزاء سریع-رله های REED

با کاستن از جرم آرمیچر و کم کردن فاصله ای که کنتاکت باید بپیمايد، میتوان رله ای بسیار سریعتر از آنچه که در فوق به آنها پرداختیم، ساخت. یکی از این نوع رله ها رله های REED میباشند.

شکل F-1-2-4 ساختار کلی این نوع رله ها را نشان میدهد. دو فنر مغناطیسی قابل انعطاف در دو طرف تیوبی شیشه ای قرار گرفته و با خم دادن آنها، فاصله ای کوچک بین دو سر نزدیک به همشان ایجاد شده است. این دو سر با فلز کنتاکت مناسبی پوشانده شده اند. با اعمال یک میدان مغناطیسی محوری، دو فنر به همدیگر چسبیده و میتوانند یک مدار الکتریکی را ببندند. این میدان را میتوان با قرار دادن سولونوئیدی دور تیوب شیشه ای ایجاد کرد. به این ترتیب میتوان از چنین وسیله ای به عنوان یک رله یا یک سوئیچ استفاده کرد. با قرار دادن چندین تیغه اینچینی در یک تیوب میتوان یک رله چند کنتاکتی (مولتی کنتاکت) ایجاد کرد.

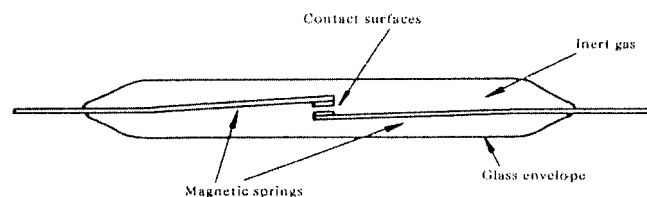
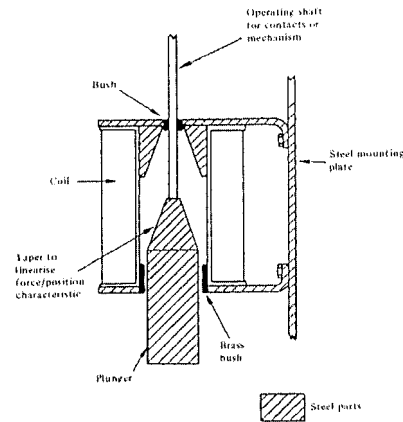


Fig. 6.2.1F Reed relay

شکل F-1-2-4: رله REED

رله سولونوئیدی :

در این نوع رله ها ، یک زائده فولادی، در یک کویل نسبتاً طولانی قرار میگیرد. برای تکمیل مسیر مغناطیسی بدنه رله با ورقه های فولادی پوشانده میشود. به این ترتیب رله ای مشابه رله با آرمیچر جذبی خواهیم داشت با این تفاوت که این نوع رله ها برای عملکرد در زمان طولانی تری طراحی می گردند (شکل G-1-2-4) این اصول در ساخت انواع رله ها برای عملکرد در حالت OVER LOAD شدن دستگاهها و همچنین مکانیزمهایی که نیاز به عملکرد فراوان دارند استفاده میشوند.



شکل G-1-2-4: رله سولونوئیدی

رله های با آرمیچر پلاریزه مغناطیسی:

رله هایی که در فوق شرحشان رفت نسبت به پلاریزه شار هسته حساسیتی ندارند. با استفاده از یک مغناطیس دائم که بصورت موازی با هسته قرار گرفته میتوان رله ای پلاریزه ساخت.

از این اصول هم برای ساخت رله های مولتی کنتاکت با سرعت عملکرد نسبتاً بالا و هم برای ساخت رله های بسیار سریع که قابلیت عملکرد در مدت زمانی کمتر از یک میلی ثانیه را دارا میباشند، استفاده میشود.

یکی از انواع اینگونه رله ها، رله CARPENTER میباشد (شکل H-1-2-4) با یک ساختار متقارن، رله ای با قابلیت RESET کردن (BISTABLE) ساخته میشود. با اتصال آرمیچر به هر یک از دو طرف، مدار مغناطیسی با رلوکتناسی پایین ایجاد میگردد. با تغذیه کویل، شاری همجهت با شار مغناطیسی دائم ایجاد میگردد که این دو شار یکدیگر را تقویت نموده، باعث حرکت آرمیچر میگردد. با اتصال آرمیچر به علت پایین آمدن رلوکتناس مسیر مغناطیسی ایجاد شده، حتی در صورت قطع تغذیه کویل، آرمیچر در وضعیت خود باقی مانده و همچنان رله بسته میماند. برای RESET کردن رله میتوان کویل را با پلاریزه معکوس تغذیه نمود.

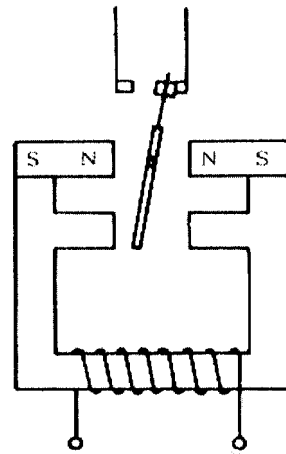
این نوع رله میتواند با توانی کمتر از یک میلی وات عمل کند و زمان عملکرد آن میتواند کمتر از یک میلی ثانیه باشد. فاصله کنتاکتها بسیار کم و در محدوده 0,001 تا 0,004 اینچ است. بدیهی است که این فاصله برای ولتاژ نامی کوچکی مناسب است. شکل I-1-2-4 رله ای را نشان میدهد که اساس کار آن مشابه رله CARPENTER میباشد. این نوع رله که برای مقاصد حفاظتی بکار میرود، توان مصرفی بین 3.5 تا 20 میلی وات داشته و زمان کنتاکت آن مشابه رله های اولیه است. حساسیت بالای رله های پلاریزه تا حد زیادی از عملکرد شار مغناطیسی ایجاد شده توسط مغناطیس دائم ناشی می شود.

رله های VANE (پره دار):

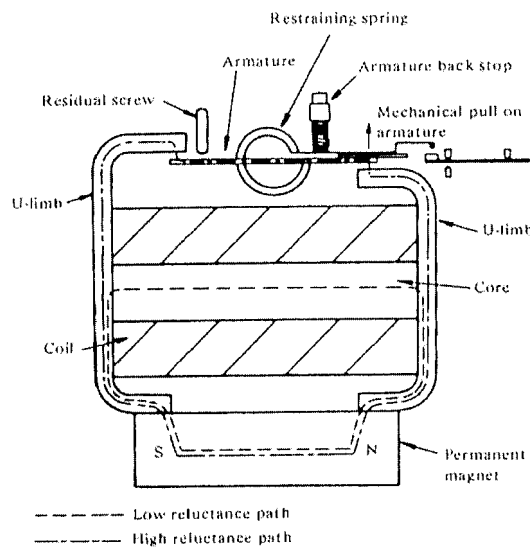
در شکل J-1-2-4، رله ای متفاوت با رله های آرمیچر جذبی نشان داده شده است. در این رله ها از یک پره آهنی نازک استفاده می شود که این پره تحت میدان یک آهنربای الکتریکی میتواند دوران کند.

رله های با اهرم متعادل (BALANCED BEAM):

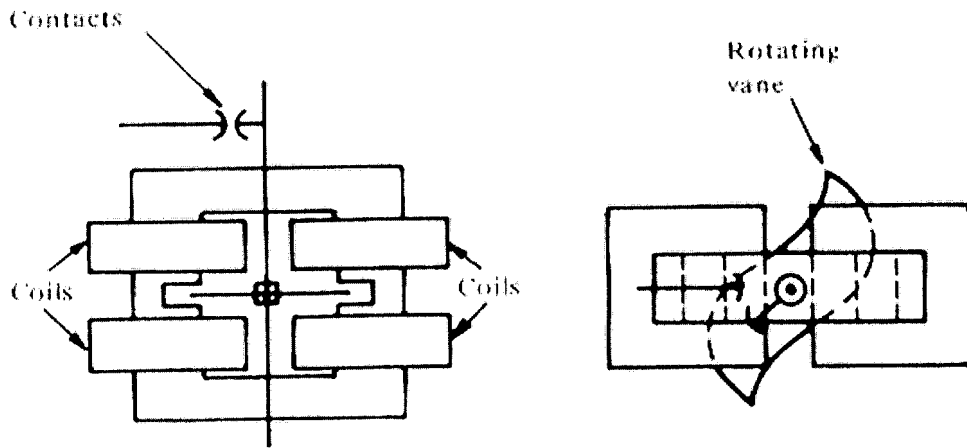
میتوان برای مقایسه دو کمیت، از دو سیستم الکترومغناطیسی جدا گانه در دو طرف یک اهرم استفاده کرد. برای این نوع رله ها هم از الکترومغناطیس های سولونوئیدی و هم از الکترومغناطیس های نوع آرمیچری استفاده شده است. به این نوع رله ها، رله های الاکلنگی نیز گفته می شود. یک نمونه از نوع سولونوئیدی ساخته شده است که بسیار حساس و مقایسه گری دقیق بود و استفاده از آنچه برای جریانهای D.C و چه برای جریانهای A.C (بدون نیاز به یکسو ساز) مزایای یکسانی داشت اما بعلت کند بودن نسبی عملکرد آن، بیشتر برای مقاصد کنترلی مناسب بود تا برای حفاظت از رله های اهرم متعادل نوع آرمیچری بصورت وسیعی در طرحهای حفاظتی؛ امیدانسی؛ و همچنین در سیستمهای حفاظتی دیفرانسیل استفاده می شد (شکل K-1-2-4) این رله ها در شرایط آزمایش، پاسخ سریع و صحیح می دادند اما بعلت اثر پذیری از زاویه فاز بین مقادیر عملکرد (مقادیر مقایسه شونده) احتمال عملکرد آنها در برابر امواج گذرا وجود داشت. برای از بین بردن خطای ناشی از زاویه فاز، غالباً ورودی یکی از کویلها یکسو میشود و برای جلوگیری از عملکرد رله در برابر امواج گذرا از مدارهای مقایسه کننده استفاده میشد. امروزه، استفاده از این نوع رله ها منسوخ شده است.



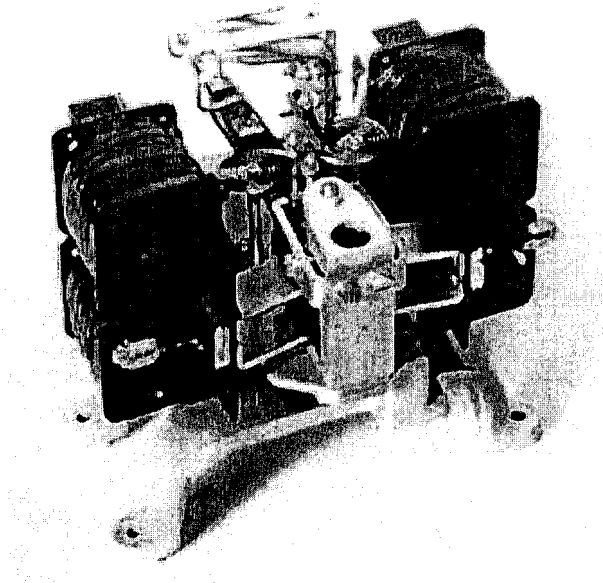
شکل H-1-2-4: رله CARPENTER



شکل I-1-2-4: رله پلاریزه با آرمیچر متعادل



شکل J-1-2-4: رله با پره دوار (ROTATING-VANE)

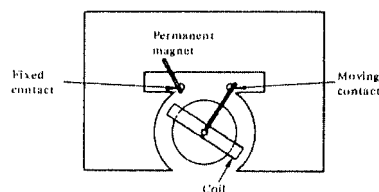


شکل K-1-2-4: نمونه ای از یک رله با اهرم متعادل پیشرفته

شکل K-1-2-4: نمونه ای از یک رله با اهرم متعادل

۴-۲-۲: رله های با سیم پیچی متحرک:

عملکرد موتوری هادی حامل جریان در یک میدان مغناطیسی، سیستم متحرک را پدید می آورد که اساس کار رله های با سیم پیچی متحرک است. رله با سیم پیچ متحرک (با استفاده از ایده دارسنوال) از یک سیم پیچ کوتاه تشکیل شده که میتواند آزادانه بر روی محوری از میان قطبهای یک آهنربای دائم حرکت کند (شکل A-۲-۲-۴).



شکل A-۲-۲-۴: رله با سیم پیچی گردان

سیم پیچی معمولاً مستطیلی شکل میباشد. برای ایجاد یک فاصله هوایی ثابت و در نتیجه یک شار مغناطیسی شعاعی، قطبهای مغناطیس دائم بصورت استوانه ای ساخته میشوند. برای مهار کردن گردش سیم پیچ از یک فنر حلزونی شکل که نقش حمل جریان به سیم پیچ را نیز بازی میکند استفاده میشود. گشتاور تولیدی برابر است با:

$$T = Blwni \text{ (نیوتن-متر)}$$

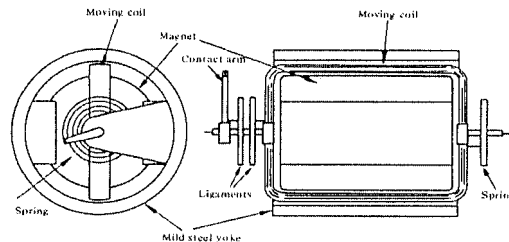
T = گشتاور ، B = چگالی شار ، l = طول سیم پیچ ، w = عرض سیم پیچ ، n = تعداد دور سیم پیچ ، i = جریان سیم پیچ .
با قرار دادن یک کنتاکت متحرک بر روی سیم پیچ گردان میتوان این وسیله را به یک رله تبدیل کرد. چنین رله هایی برای کار در ولتاژ نامی پایین مناسبند. همچنین مسایلی از قبیل قطر سیم پیچ و فاصله اندک میان سیم پیچ و قطبهای مغناطیسی در ساخت این رله ها محدودیت ایجاد میکنند.

در شکلهای ۴-۲-۲-B و ۴-۲-۲-C یک رله با سیم پیچ گردان که برای استفاده در طرحهای حفاظتی طراحی شده نشان داده شده است. تفاوتی این رله با دستگاه اندازه گیری دارسنوال عبارتند از:

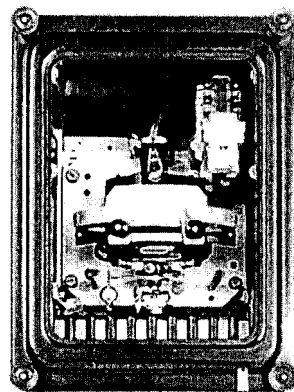
در رله ها، اندازه قطبهای مغناطیسی دائم بزرگ میباشد که در نتیجه آن با انرژی کمی، سیم پیچ گردان به حرکت در می آید. برای گردش کامل (180 درجه) انرژی مصرفی این رله ها در حدود 0.3 میلی وات و در نوع بسیار حساس، انرژی مصرفی در حدود ۵۰ میکرو وات است.

فاصله هوایی بین سیم پیچ متحرک و قطبهای مغناطیسی در رله ها طوری پوشانده میشود که از ورود هر گونه گردوغبار به این فاصله هوایی جلوگیری شود.

در این رله ها با تنظیم محل هر یک از کنتاکتهای ثابت و متحرک و فشرده سازی فنر میتوان تنظیم (setting) رله را در محدوده ای وسیع کنترل کرد. به علت عدم وجود پدیده اشباع در محدوده کاری این رله ها نسبت گشتاور تولیدی به جریان، ثابت است. با استفاده از دمپرها، سرعت گردش نیز طوری تنظیم میشود که با گشتاور، رابطه خطی داشته باشد. در این صورت رله مشخصه جریان - زمان معکوس خواهد داشت. (شکل ۴-۲-۲-D).

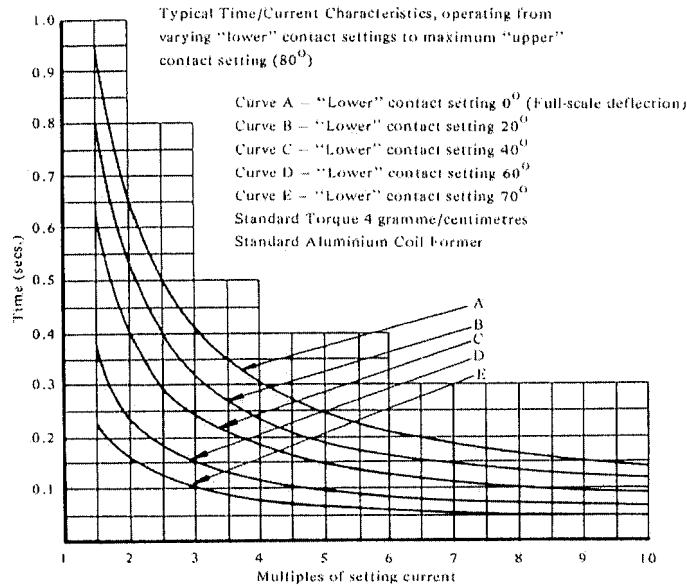


شکل ۴-۲-۲-B: رله با سیم پیچی متحرک برای استفاده در طرحهای حفاظتی



شکل C-2-2-4: رله با سیم پیچی متحرک

شکل ۴-۲-۲-C: رله با سیم پیچی متحرک

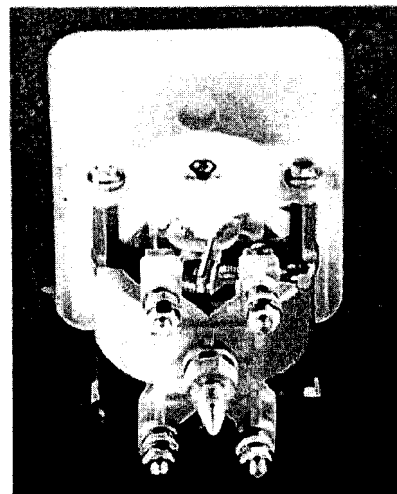


شکل D-2-2-4: مشخصه جریان-زمان رله با سیم پیچ متحرک

شکل E-2-2-4 یک رله با سیم پیچ متحرک کوچکتر را نشان می‌دهد و همانطور که دیده می‌شود، چندان از لوازم اندازه گیری بزرگتر نیست. شکل F-2-2-4 ترکیبی را نشان می‌دهد که موجبات گردش محوری سیم پیچ را فراهم می‌کند. سیستم مغناطیسی استوانه ای که مقطع آن در شکل نشان داده شده است، یک آهنربای دائم کوچک قوی است که در قاب فولادی قرار گرفته است. در این سیستم یک سیم پیچ استوانه ای به دور هسته آلومینیومی پیچانده و در فاصله هوایی به کمک فنرهایی که فقط اجازه حرکت در طول محور را به آن می‌دهند، حمایت شده است. جریان عبوری از سیم پیچ، نیروی محوری ایجاد می‌کند که برابر است با:

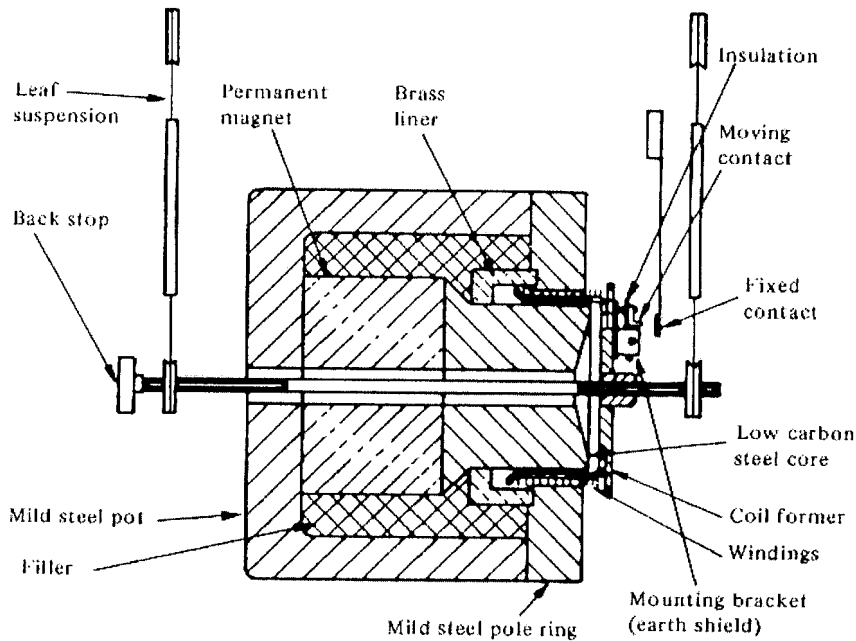
$$F = \pi B d n i \quad (\text{نیوتن})$$

که B = چگالی شار، d = قطر سیم پیچ، n = تعداد دور مؤثر در عرض قطر I = جریان هستند. معمولاً این سیستمها طوری طراحی میشوند که برای عملکرد رله، جابجایی کمی برای کنتاکت متحرک لازم باشد. به همین دلیل این نوع رله ها برای طرحهای حفاظتی بدون تأخیر (instantaneous) و تأخیر زمانی دقیق (Definite-time delay) مناسبند.



شکل E-2-2-4: رله با سیم پیچ متحرک کوچک، برای مقاصد حفاظتی

شکل E-2-2-4: رله با سیم پیچ متحرک کوچک، برای مقاصد حفاظتی



شکل F-۲-۴: رله سیم پیچ متحرک با حرکت محوری سیم پیچ

در این رله ها، توان ورودی عملکرد در محدوده 0.1 تا 0.4 میلی وات است. در این نوع رله ها فاصله جابجایی کنتاکت 1.5 میلی متر است در حالی که در نوع با سیم پیچی گردان این فاصله 48 میلی متر (80 درجه) می باشد. در صورتیکه در رله های با آرمیچر گردان، فاصله کنتاکتها طوری تنظیم میشود که برای عملکرد رله، همین فاصله (1.5 میلی متر) پیموده شود، توان مصرفی بصورت تابعی از مجذور کاهش فاصله کاهش میابد، طوری که توان مصرفی برای عملکرد آن به کمتر از یک میکرو وات خواهد رسید. بازای فواصل مشابه سرعت عملکرد در هر دو رله تقریباً یکسان بوده و میتواند تا حدود 10 میلی ثانیه باشد.

تغذیه رله های سیم پیچی متحرک با آهنربای دائمی، DC بوده و برای جریانهای AC میتوان از یکسو ساز استفاده کرد که در اینصورت ارزیابی این نوع رله ها، باید مشخصه یکسو ساز و دیگر اجزاء از جمله CTها ملحوظ گردند البته بعلت وجود نوسان در مقادیر ورودی (در تغذیه AC رله)، نمیتوان به حداکثر سرعت ممکن رله در حالت DC دست یافت. سرعت بالا فقط در مواردی که طرح حفاظتی مورد استفاده از نوع دیفرانسیل یا مقایسه ای (مانند طرح حفاظتی دیستانس) باشد، مورد نیاز است. در طرحهای حفاظتی مقایسه ای، در صورتیکه دو کمیت مقایسه شونده، همفاز نباشند، حتی در صورت استفاده از یکسو ساز تمام موج، نیروی تولید شده نوسانی خواهد بود. که در اینصورت لازم است تا ورودی ها (ورودیهای AC) به گونه ای محدود شوند که نوسانات زیادی را در کوئل باعث نگردند و یا اینکه ورودیهای یکسو شده، flat گردند در هر یک از این روشها زمان عملکردی کمتر از یک یا دو سیکل، سیکل موج منع، قابل دسترسی نخواهد بود.

۳-۲-۴: رله های اندوکسیونی

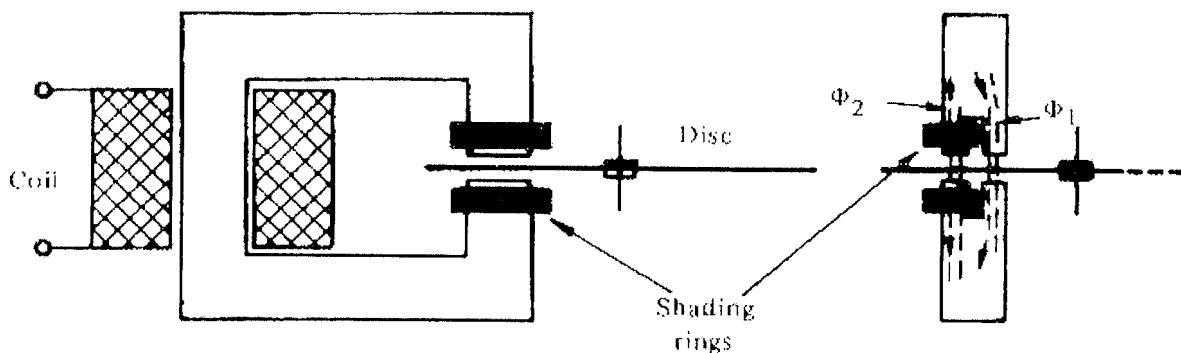
اساس کار رله های اندوکسیونی انتقال اثر میدان میباشد که این ایده ابتدا توسط Ferraris ارائه و سپس توسط Shallenberger برای طراحی اولین وسیله اندازه گیری اندوکسیونی، مورد استفاده قرار گرفت. با جایگزینی یک فنر کنترل و سیستم کنتاکت بجای ثبات این لوازم اندازه گیری، رله های اندوکسیونی ساخته شد. اساس کار رله های اندوکسیونی جدید نیز همین است اما ساختار جزئیاتی آنها کاملاً فرق کرده است.

این رله از یک سیستم الکترومغناطیسی تشکیل شده است که بر روی یک هادی متحرک (که معمولاً بصورت دیسک یا قاب فلزی میباشد)، تأثیر میگذارد در نتیجه اثر متقابل دو میدان مغناطیسی که دارای اختلاف مکانی و فازی میباشند، گشتاور ایجاد میگردد. گشتاور ایجاد شده برابر است با:

$$T = k \phi_1 \phi_2 \sin \beta$$

که T = گشتاور، ϕ_1 و ϕ_2 = دو شار اثر گذار بر یکدیگر و β = زاویه فاز بین دو شار مذکور هستند. با توجه به فوق، هنگامی که اختلاف شارها 90 درجه باشد، بیشترین گشتاور و هنگامیکه این دو شار همفاز باشند، گشتاور صفر، تولید میشود. از این خاصیت در دستگاههای اندازه گیری برای اندازه گیری توان استفاده میشود و باید زاویه فاز شارها مقدار صحیح باشد. اما در دیگر مقاصد زاویه بین 0 تا 90 درجه، مطلوب ما است.

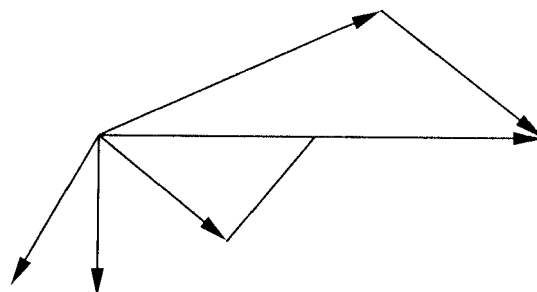
یک روش ساده برای دست یابی به دو شار مختلف از یک منبع (همانند رله های جریان زیاد) استفاده از یک حلقه مسی و دو تکه کردن قطبها میباشد (همانند شکل A-3-2-4) به این ترتیب و به کمک حلقه مسی یا هادی اتصال کوتاه شده، میتوان شاری متفاوت با شار اصلی ایجاد کرد.



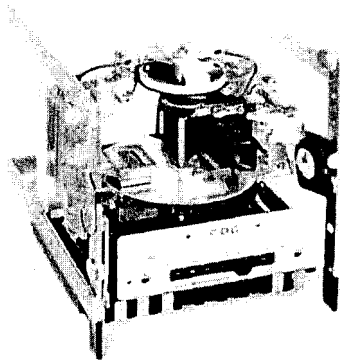
شکل A-3-2-4: رله دیسکی القایی با قطب حلقه دار

همان گونه که در شکل B-3-2-4 نشان داده شده است، حلقه اتصال کوتاه شده در شار قسمت قطعه حلقه گذاری شده قطب تاخیر فازی ایجاد میکند. در این شکل بردار OA بیانگر کل شار تولیدی توسط آهنربای الکتریکی است که مقدار OB از آن در صورت باز بودن حلقه مسی از قطعه حلقه دار قطب عبور میکرد.

نیروی محرکه الکتریکی تولید شده در این حلقه برابر با OE بوده و با بسته بودن حلقه، جریان OI از آن عبور میکند. در نتیجه شار تولیدی توسط این جریان (BC) این مقدار، از شار کسر شده و شار ϕ_1 ($OC = \phi_1$) پدید می آید. تأثیر جریان حلقه بر شار کل کم میباشد و میتوان از آن صرف نظر کرد بنابر این با کسر کردن شار ϕ_1 از شار کل ϕ_2 پدید می آید. به این ترتیب دو شار ϕ_1 و ϕ_2 با اختلاف زمانی و مکانی ایجاد شده بر دیسک گشتاور Ferraris ایجاد میکنند. شکل C-3-2-4، رله ای از نوع گفته شده در فوق را نشان میدهد که مورد استفاده فراوان قرار می گیرد.



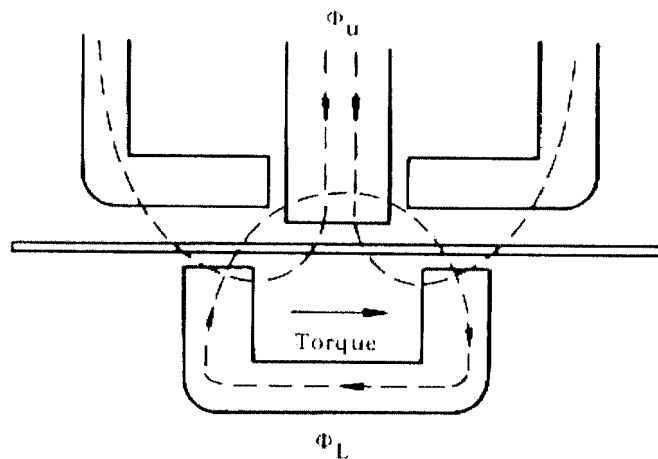
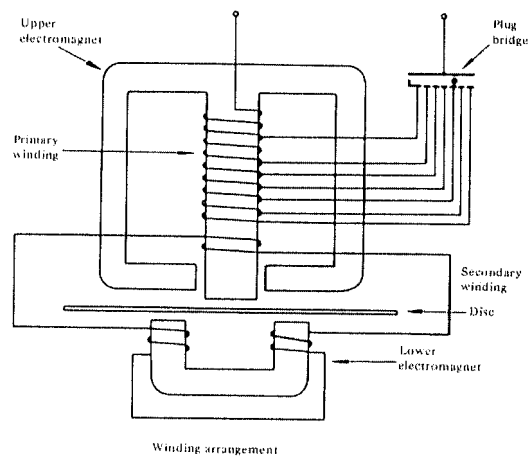
شکل B-3-2-4: دیاگرام فازوری رله با قطب حلقه دار



شکل 3-2-4-D: رله جریان زیاد با مشتمله معکوس

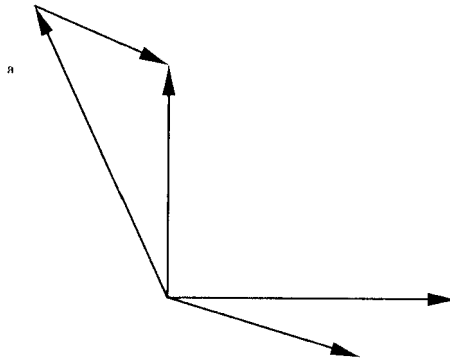
شکل C-3-2-4: رله جریان زیاد با مشخصه معکوس

ترتیب دیگری در شکل D-3-2-4 نشان داده شده است. در این سیستم ها میتوان مغناطیس های الکتریکی فوقانی و تحتانی را با منابع تغذیه نمود که در این صورت در شار متفاوت ایجاد میگرددند. از این وسیله می توان برای رله های جهت دار استفاده کرد.



Operating fluxes showing crossing of component fields

شکل D-3-2-4: نوع دیگری از رله اندوکسیونی (بصورت رله جریان زیاد)



شکل E-۳-۲-۴: دیاگرام فازوری رله جریان زیاد نشان داده شده در شکل قبل

در صورتیکه بخواهیم از این رله برای یک کمیت استفاده کنیم (مثلاً بصورت رله جریان زیاد)، معمولاً فقط یکی از این سیم پیچها تغذیه میگردند و به کمک یک سیم پیچ ثانویه بر روی قطب مربوط به آن سیم پیچ، انرژی الکتریکی تولید شده، برای تغذیه سیم پیچ دوم مورد استفاده قرار میگیرد. دیاگرام فیزیکی این اثر، در شکل E-۳-۲-۴ نشان داده شده است. جریان ورودی I_u ، شار ϕ_u در قطب فوقانی تولید کرده و نیروی محرکه الکتریکی E_s را در سیم پیچ ثانویه القاء مینماید. عملکرد این مغناطیس همانند یک CT است. از الکترومغناطیسی تحتانی که نسبت X/R آن ثابت است، جریان I_2 گذشته و شار ϕ_L را ایجاد میکند. به این ترتیب، شارهای ϕ_u و ϕ_L با زاویه مناسبی به یکدیگر اختلاف فاز پیدا میکنند که در نتیجه گشتاور کافی برای گردش دیسک ایجاد میگردد.

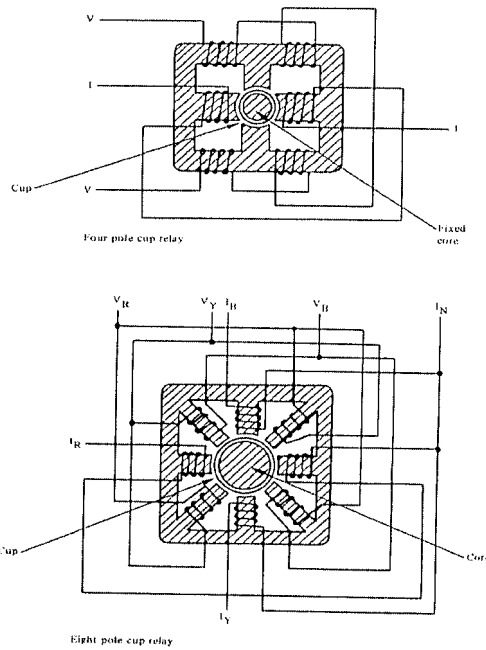
در شکلهای F-۳-۲-۴ و G-۳-۲-۴ طرح سومی از یک وسیله القایی نشان داده شده است. در این نوع الکترومغناطیس، از یک ساختار متقارن چهار قطبی تشکیل شده است و شباهت زیادی به یک موتور دارد. قطبهای حفره استوانه ای را بوجود می آورند که در داخل آن هسته ثابت قرار میگیرد. روتور یک قاب (فنجان) آلومینیومی سبک است که بین الکترومغناطیس و هسته داخلی قرار میگیرد. مزیت رله ای از این نوع استفاده بهتر از شارهای الکترومغناطیسی و اینرسی کمتر است که این امر، نتیجه شعاع کم سطوح فعال است. برای ساخت یک رله چند فاز فشرده از یک نوع هشت قطب استفاده میشود. حال قبل از شرح انواع خاص رله، خلاصه ای در مورد برخی مسایل مورد نیاز در رله ها می پردازیم:

کنترل setting

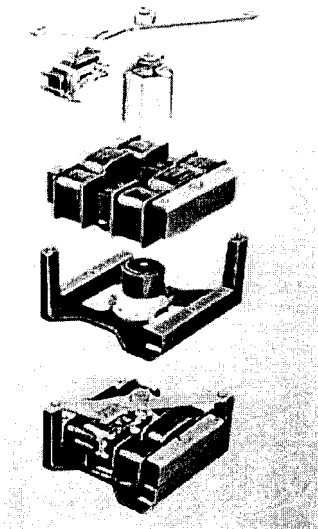
رله هایی که کالیبراسیون مشخصی دارند برای کنترل setting نیازمند یک مهار کننده مکانیکی اند. حتی یک رله جهت دار حساس باید پس از قطع تغذیه، باید به حالت استاندارد اولیه باز گردد. برای این منظور از یک فنر حلزونی از جنس برنز فسفری استفاده می شود. با استفاده از تپ میتوان جریان سیم پیچ عمل کننده را نیز تنظیم کرد. در اصل، رله به ازای آمپر دور مشخص ورودی به سیم پیچ عمل می کند. برای ایجاد رنجی از تنظیمات، فقط کافی است بتوانیم تعداد دور خاصی انتخاب نماییم طوری که با هر یک از مقادیر جریان نسبت معکوس داشته باشد. در عمل 7 مقدار setting برای جریان تعیین میشود. این تپها معمولاً بصورت یک پل سوکتی میباشد که میتوان با قرار دادن فیشی در هر یک از شکافهای آن، تپ مورد نظر را انتخاب کرد. شکل H-۳-۲-۴ این پل با فنری فشرده شده است و در صورتیکه فیش خارج گردد بزرگترین تپ انتخاب میشود. این کار به این علت انجام میشود که هیچگاه ترانسهای جریان در سمت ثانویه باز نشود و همچنین در هنگام تنظیم رله، رله بتواند عمل حفاظت را انجام دهد.

در استفاده از این روش مشکلی نیز وجود دارد، رنج وسیعی از تپ (یعنی ۱ : 4) به معنی استفاده از فقط بخش کوچکی از کل سیم پیچی در هنگام استفاده از یکتپ کوچک میباشد. به این ترتیب الگوی توزیع شار نشستی در اطراف بخش برقدار شده سیم پیچ نسبت به دیگر قسمتها فرق می کند. در نتیجه شار فعال عبوری از قطبهای مغناطیسی بسته به آمپر دور مورد نظر در نقاط مختلف سیم پیچ فرق میکند. و به این ترتیب تغییرات شار در آهن باعث تغییرات درجه اشباع در نقاط مختلف آن می شود. به این ترتیب

مشخصه زمان-جریان تغییر میکند که در جاهایی که این مشخصه اهمیت دارد (از جمله در رله های جریان زیاد) در عملکرد رله خطا بوجود می آید. برای از بین بردن این خطا از تکنیک خاصی استفاده میشود. به این صورت که سیم پیچ با پیچاندن یک هادی مرکب که از ۱۲ رشته ایزوله از همدیگر ساخته می شوند. به این ترتیب ۱۲ سیم پیچ کاملاً مشابه بدست می آید. این هادیها با یکدیگر بصورت سری متصل می شوند. هر محل اتصالی میتواند یک نقطه تپ باشد که ۷ تا از این محلها بعنوان تپ setting مورد نظر انتخاب میشوند. به این ترتیب با انتخاب هر تپی، شار بصورت پیوسته و یکنواخت توزیع میشود. معمولاً تپهای مورد استفاده در setting رله های جریان زیاد، ۵۰، ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵، ۱۵۰، ۱۷۵، ۲۰۰ درصد جریان نامی هستند. تپهای ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ درصد را میتوان به سادگی از سیم پیچی ۱۲ رشته ای بدست آورد اما برای تپهای ۱۲۵، ۱۷۵ باید از اجزاء اضافی استفاده کرد که توزیع یکنواخت سیم پیچی را بر هم زده و تغییر اندکی در مشخصه ایجاد کنند.

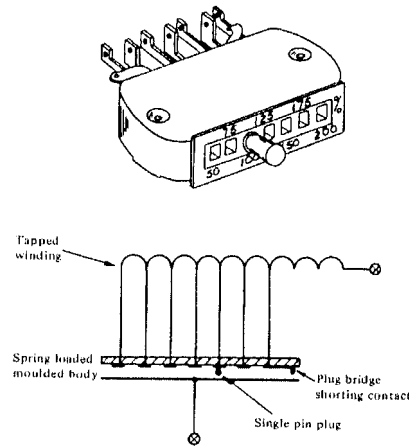


شکل F-۳-۲-۴: رله اندوکسیونی با قاب گردان



شکل G-3-2-4: اجزای مختلف یک رله اندوکسیونی با قاب گردان ۴ قطب

شکل G-۳-۲-۴: اجزای مختلف یک رله اندوکسیونی با قاب گردان ۴ قطب



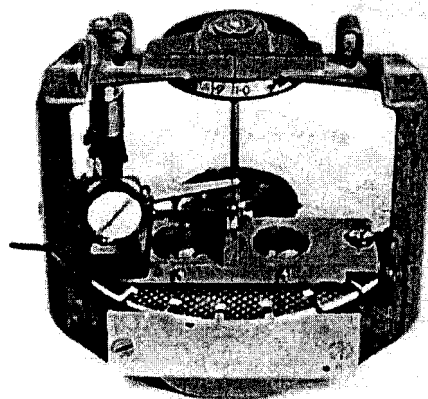
شکل H-۳-۲-۴: پل سوکتی برای انتخاب تب

کنترل سرعت دیسک:

هنگامی که نیاز به مشخصه معکوس زمان-جریان باشد، سرعت دیسک باید توسط یک سیستم ترمزی کنترل شود. این سیستم گشتاور مقاومی متناسب با سرعت دیسک ایجاد میکند. در سرعت ثابت، گشتاور ترمزی باید برابر با گشتاور گرداننده باشد. این به این معنی است که سرعت دیسک با زیاد شدن گشتاور الکتریکی از مقاومت فتر متناسب است.

بهترین روش تولید گشتاور ترمزی که امروزه بطور گسترده ای از آن استفاده میشود، ایجاد جریانهای گردابی با استفاده از آهنربای دائمی است. به این صورت که دیسک در بین قطبهای یک آهنربای دائم قرار میگیرد و با گردش دیسک جریانهای گردابی در آن القاء می گردد که این جریان، متناسب با سرعت گردش دیسک نیروی ترمزی ایجاد میکند. این آهنربا طوری نصب میگردد که جهت کالیبراسیون دستگاه میتوان، مکان آنرا تغییر داد. شکل I-۳-۲-۴ یک ترمز القایی دیسکی را نشان میدهد. الکترومغناطیس، در نقطه دور از دیسک قرار گرفته است.

در رله های با قاب گردان، کل سطح فعال روتور تحت تأثیر الکترومغناطیس گرداننده قرار میگیرد. برای استفاده از ترمز فوکو (جریان گردابی) باید طول محوری قاب زیاد شود که در نتیجه آن جرم روتور افزایش خواهد یافت. به همین جهت در رله های با قاب گردانی که بعنوان راه های بدون تأخیر (آنی) مورد استفاده قرار می گیرند، از این گونه سیستمهای ترمزی استفاده نمی شود.

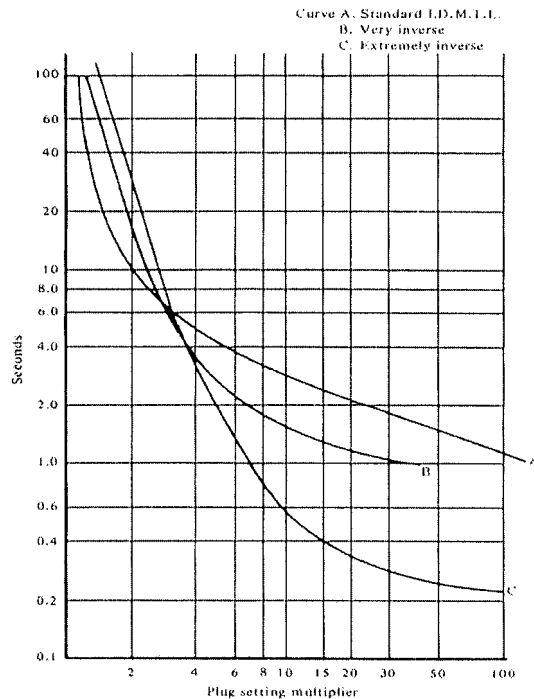


شکل 1-3-2-4: رله دیسکی القایی با ترمز آهنربایی قابل تنظیم

شکل I-۳-۲-۴: رله القایی دیسکی با ترمز آهنربایی قابل تنظیم

رله های با مشخصه معکوس جریان-زمان

از رله های القایی با مشخصه معکوس جریان-زمان برای طرحهای حفاظتی جریان زیاد استفاده فراوانی میشود. در این رله ها، سیم پیچ الکترو مغناطیس القاء کننده از یک ترانس جریان تغذیه شده و همانگونه که قبلاً گفته شد در آن از تپهای ۵۰ تا ۱۰۰ درصدی برای تنظیم Earth-fault در محدوده ۱۰ تا ۴۰ درصد یا ۲۰ تا ۸۰ درصد جریان نامی ترانس جریان، استفاده می شود. نیروی مقاوم، توسط گروهی فنر و یک ترمز فوکو ایجاد می شود. سرعت عملکرد اینگونه رله ها با تنظیم زاویه حرکت دیسک تنظیم می شود. مقیاس تعیین گردیده که بین صفر و یک تغییر کرده و اثر این تنظیم را برای منحنی معکوس جریان-زمان (شکل J-۳-۲-۴) نشان میدهد.



شکل J-۳-۲-۴: منحنیهای مشخصه معکوس جریان-زمان رله های IDMTL

هنگامیکه مقدار جریان اندکی از مقدار setting بیشتر باشد، گشتاور ناشی از فنر مقاوم، قسمت اعظم گشتاور گرداننده را خنثی می کند. از آنجا که گشتاور مقاوم فنر با تغییر زاویه (تغییر وضعیت) دیسک تغییر میکند، از میزان مؤثر گشتاور گرداننده کاسته می شود. برای جبران این امر دیسک را طوری می سازند که با فشردن فنر، سطح مؤثر دیسک در زیر قطبها افزایش یابد. یعنی شکل دیسک از حالت دایره ای خارج میشود. شکل دهی دقیق دیسک باعث میشود سرعت حرکت دیسک در هنگام عملکرد رله کاملاً یکنواخت شود. از سوی دیگر کوچکترین نا هماهنگی در این مسأله ممکن است باعث اختلال در عملکرد سیستم شود.

مشخصه ها

استفاده از یک قاعده مشخصه معکوس جریان-زمان مناسب باعث میشود که در جریانهای مساوی مقدار setting زمان عملکرد رله بینهایت خواهد شد. رسیدن به این شرایط ایده آل گونه امکان پذیر نیست زیرا نیروی مقاوم اصطعکاک محوری، در زمانی که اختلاف نیروی محرک و نیروی مقاوم فنر نزدیک به صفر است غالب بوده و مانع حرکت دیسک میشود. به این ترتیب رله در زمانی که جریان، با جریان setting برابر است، عمل نخواهد کرد. این مسأله با استاندارد انگلیس که طبق آن "رله نباید در هنگام برابری جریان با جریان setting عمل کند" (BS-142) مطابقت دارد.

حداقل زمان عملکرد (Definite minimum feature)

در دسته ای از رله ها با مشخصه معکوس، حداقل زمان عملکرد قطعی است یعنی مشخصه زمان-جریان آنها از نقطه ای خطی شده و با محور جریان موازی می گردد. به این زمان "حداقل زمان عملکرد" گفته می شود.

دیگر مشخصه ها

برخی رله های با مشخصه معکوس زمان-جریان، مشخصه ای بسیار تیز دارند. این رله ها بسته به تندی شیب منحنیهای مشخصه شان، رله های با مشخصه بسیار معکوس و فوقالعاده معکوس نامیده میشوند. این مشخصه ها در شکل ۴-۲-۳-۱ نشان داده شده اند. این مشخصه ها با عملکرد الکترومغناطیس در چگالی شار پایینتر حاصل می شوند.

ناحیه تمایز-اور شوت

هنگامی که لازم است دو رله نسبت به خطایی تمایز قایل شوند، تفاوت زمانهای عملکرد باید موارد زیر را پوشش دهد: زمان باز شدن بریکر برای خاموش شدن قوس: تابعی از طرح حفاظتی در انتخاب سوئیچگیر مناسب اور شوت رله: هنگامی که پس از عملکرد رله ای، جریان خطا قطع میشود، دیسک دیگر رله هایی که جریان را حس کرده اند تا زمانی که انرژی جنبشی آن توسط ترمز فو کو جذب نشود به حرکت خود ادامه میدهد. فاصله اضافه ای که دیسک پس از خاموش شدن جریان می پیماید را میتوان با زمانی معادل در نظر گرفت، این زمان معادل بر اساس سرعت گردش دیسک بازای جریان گذرنده از رله معادل سازی شده و به آن زمان "اور شوت" گفته میشود. رله های جدید امروزی، زمان اور شوت کوچکتر یا مساوی 0.05 ثانیه دارند.

خطاهای CT و رله

فاصله کنتاکت نهایی: که عبارت است از خطاهای ناشی از دیگر اجزاء سیستم در عملکرد رله. معادل سازی این خطاها بصورت یک زمان مشخص مشکل است لذا محدوده مجاز این زمان ۰,۲ تا ۰,۳ ثانیه در نظر گرفته میشود. با ملحوظ نمودن کل خطاهای موجود، محدوده تمایزی در حدود 0.4 ثانیه، مجاز است.

رله های جهت دار و رله های قدرت

همانند شکل ۴-۲-۳-D میتوان تغذیه سیم پیچهای رله را دو منبع مختلف قرار داد. در صورتیکه تغذیه سیم پیچ بالایی از ولتاژ سیستم و تغذیه سیم پیچ پایینی از جریان خط باشد، رله به حاصل ضرب این دو کمیت پاسخ خواهد داد. اگر الکترومغناطیس بالایی، شدیداً القایی باشد، جریانی که که از ولتاژ تغذیه میکشد پس فاز خواهد بود و در نتیجه عبارت سینوسی رابطه گشتاور، بصورت زیر به یک عبارت کسینوسی تبدیل خواهد شد:

$$T = KV I \cos \theta$$

که θ ، زاویه ضریب توان سیستم است. به این ترتیب این رله همانند اندازه گیرهای اندوکسینونی، توان را اندازه میگیرد. ضریب توان الکترومغناطیس ولتاژ نمیتواند صفر باشد. برای اندازه گیری دقیق توان، باید زاویه فازی ایجاد شود. برای آنکه رله به ازای جریان خطای شبکه در جهت خاصی عمل کند (رله جهت دار)، حلقه مسی نشان داده شده در شکل ۴-۲-۳-A با یک سیم پیچ چند دوره جایگزین میشود. این سیم پیچ، در مداری که کنتاکت جهت دار رله در آن قرار دارد نصب میگردد و فقط در زمانی که جهت جریان خطا با آن موافق است این کنتاکت بسته بوده و رله عمل میکند.

در لره های از نوع نشان داده شده در شکل ۴-۲-۳-D، برای جهت دار کردن رله، کنترل مشابهی انجام میگردد. در این مورد، سیم پیچ ثانویه قرار گرفته در الکترومغناطیس بالایی کنترل میشود.

یک رله جهت دار باید ناحیه عملکردی متقارن و در حدود 180 درجه در اطراف زاویه ماکزیمم گشتاور (m.t.a) داشته باشد. در شکل ۴-۲-۳-K، دیاگرام قطبی مربوط به یک رله نشان داده شده است. رله های خطای فاز (phase fault) معمولاً با ولتاژ quadrature (تغذیه فاز R با ولتاژ Y.B) تغذیه میشود و مقاومتی بصورت سری با سیم پیچهای ولتاژ قرار میگیرد. سری کردن مقاومت برای تبدیل زاویه فاز به 45 درجه انجام میگردد. نتیجه این عمل بوجود آمدن یک m.t.a، 45 درجه (جریان پس فاز از

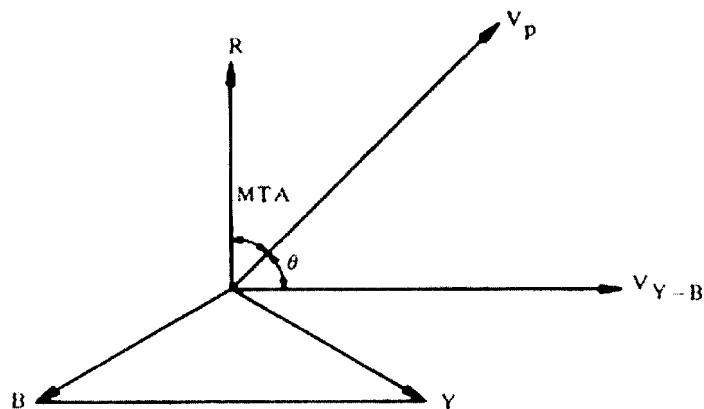
ولتاژ) است که برای بیشتر کاربردها مناسب است. البته در برخی موارد به 60° m.t.a درجه نیاز است. برای نیل به این مقصود از ولتاژ فاز زمین استفاده نمیشود.

رله های Earth Fault با جریان و ولتاژ پسماند تغذیه میشوند. در سیستمهایی که نقطه صفر اتصال ستاره شان با یک مقاومت، زمین میشود، نیازی به جبران سازی زاویه نمیباشد. اما در سیستمهایی که اتصال زمین آنها مستقیماً بدون مقاومت صورت میگیرد، از آنجا که ممکن است زاویه بین مقادیر پسماند زیاد باشد، جبران سازی زاویه ضروری است. لازم نیست که m.t.a دقیقاً با ضریب توان سیستم تطبیق شود. اما عملکرد رله در جهت تئنتاین شده با حساسیت و ولتاژ بالا ضروری است. از آنجا که $\cos 30^\circ = 0.866$ ، هر گاه زاویه خطا به اندازه 30° درجه از m.t.a جابجا شود، تلفات گشتاور کمتر از 14 درصد خواهد بود.

از هر دو نوع رله های دیسکی و قاب گردان برای رله های جهت دار استفاده میشود. از رله های قاب گردان بعلت حساسیت و سرعت بالایشان در موارد مورد نیاز، استفاده فراوان میشود. عملکرد رله در هنگام افت ولتاژ ناشی از خطا در سیستم از اهمیت بالایی برخوردار است. رله های جهت دار معمولاً به گونه ای ساخته میشوند تا بتوانند در افت ولتاژی در حدود 1 تا 2 درصد ولتاژ نامی عملکرد صحیحی داشته باشند.

رله های دیفرانسیل نوع اندوکسیونی

در این رله ها، میتوان از دو الکترو مغناطیس اندوکسیونی برای تولید گشتاور در جهت های مخالف روی یک دیسک استفاده کرد. چنین رله ای یک رله مقایسه کننده دامنه است و میتوان در هنگامیکه نسبت دو کمیت برای عمل کردن رله مورد نیاز است از آن استفاده کرد. در شکل L-3-2-4 نمونه ای از یک رله دیفرانسیل درصدی نشان داده شده است. که اساس کار آن اختلاف جریان حلقوی است. گشتاور تولید شده توسط الکترو مغناطیس A بر خلاف جهت گشتاور ناشی از الکترو مغناطیس B می باشد. از الکترو مغناطیس A، تفاضل جریانها و از الکترو مغناطیس B کل جریان حلقه میگذرد. هنگامی که گشتاور عملکرد از گشتاور مقاوم بزرگتر شود، رله عمل میکند. چنین شرائطی هنگامی بوجود می آید که اختلاف جریانها از مقدار خاصی بزرگتر می شود.



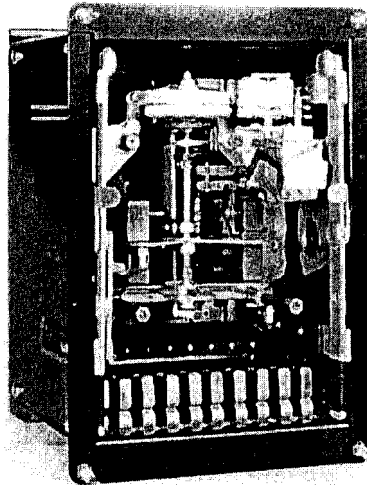
θ = Phase advance in polarising voltage

Phasor Diagram for R phase.

شکل k-3-2-4: دیاگرام فازوری و قطبی برای فاز R رله های مستقیم

از چنین رله ای میتوان برای مقایسه دامنه توابع ولتاژ و جریان استفاده کرد. این کار با سیم پیچی مناسب الکترومغناطیسیها انجام می گیرد. رله اولیه mho که توسط Warrington از این قاعده پیروی میکرد و ورودیهای آن، V_2 و $V_1 \cos \phi$ بوده اند و شرایط عملکرد آن، $K_1 V_1 \cos \phi > K_2 V_2$ بود. مشخصه این رله ها از رابطه زیر پیروی میکند:

$$K_2 V_2 / K_1 V_1 = \cos \phi$$



شکل L-3-2-4: رله دیفرانسیل درصدی

شکل L-3-2-4: رله دیفرانسیل درصدی

۴-۲-۴: رله های حرارتی

رله های حرارتی نسبت به گرما عکس العمل نشان میدهند. از این رله ها معمولاً برای قطع $Over Load$ شدن تجهیزات برای مدت طولانی که افزایش حرارت ناشی از آن باعث صدمه دیدن تجهیزات می شود، از رله های حرارتی استفاده می شود. در این رله ها از تغییرات حرارتی ای که در تجهیزات بوجود می آیند استفاده میشود. تأثیراتی که در این رله ها برای

آشکار سازی مورد استفاده قرار میگیرند، عبارتند از:

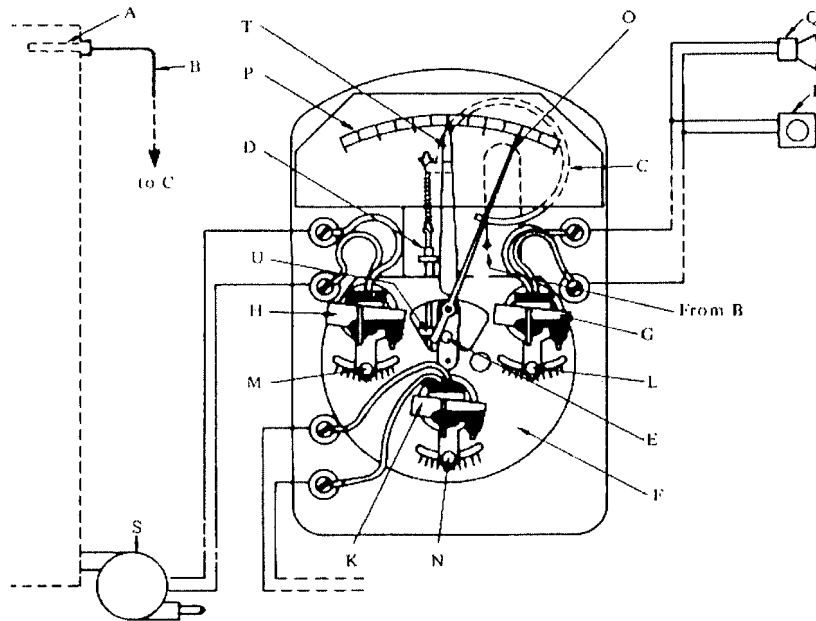
- انبساط یک ماده جامد یا مایع
- تغییرات مقاومت یک فنر
- تغییرات مقاومت یک مقاومت حساس
- نیروی محرکه الکتریکی ترمو الکتریک

از اصول فوق میتوان در ترمومترهایی که گاهی اوقات به کنتاکتهای آلارم متصل میشوند و در ترموستاتهایی که عملکردی کنترلی دارند، استفاده کرد. به عنوان مثالی از این قاعده میتوان به ترمومترهای کنتاکت کننده که در ترانسفورماتورهای قدرت و دیگر تجهیزات خنک شونده با روغن اشاره کرد.

در شکل ۴-۲-۴-A، دستگاهی برای اندازه گیری مستقیم حرارت نشان داده شده است. در این دستگاه، المان حرارتی از یک حباب پر از جیوه (A) تشکیل میشود. این حباب با استفاده از لوله B به یک لوله Bourden (C) متصل است. از یک طرف ثابت و از طرف دیگر آزاد می باشد. با افزایش دما، جیوه منبسط شده و فشاری در لوله ایجاد میکند که این فشار در سر آزاد لوله باعث انحراف آن شده و صفحه F را میگرداند. جبران سازی اثر دمای هوای مجاور بکمک یک تیغه بی متال U شکل انجام می گیرد. این تیغه در محل اتصال لوله Bourden و صفحه Bourden قرار میگیرد.

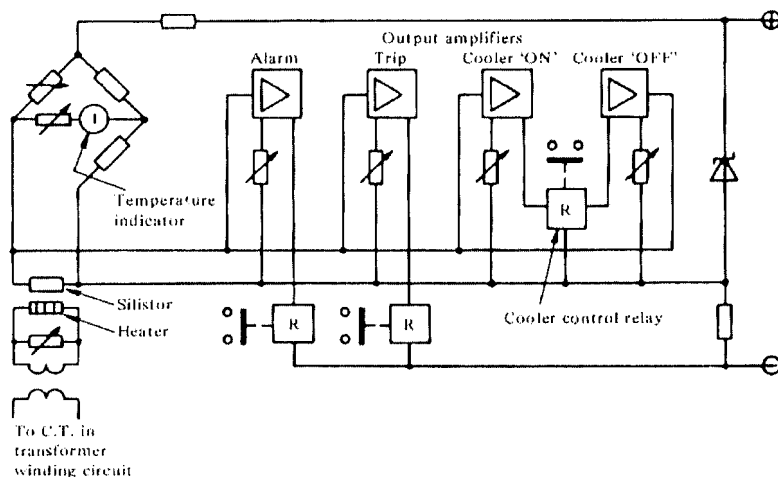
نشان T دمای حباب و نشانگر O حداکثر دمایی که تا کنون به سیستم اعمال شده است را نشان میدهد.

از این دستگاه میتوان برای اندازه گیری دمای روغن استفاده کرد. ابزار دیگری وجود دارد که بر اساس ایجاد تصویر حرارتی برای اندازه گیری دمای سیم پیچ استفاده می شود. در این ابزار، حباب جیوه دستگاه سنجنده گرما در تانکی از روغن قرار می گیرد که در این تانک هیتر قرار دارد که تغذیه آن از یک c.t که از جریان سیم پیچ ترانس، نمونه برداری میکند تأمین میشود. از دمای اضافی تانک روغن برای شبیه سازی دمای سیم پیچ استفاده میشود.



شکل A- ۴-۲-۴: ابزاری برای اندازه گیری مستقیم دما

در دسته ای از لوازم اندازه گیری عملکردی مشابه با استفاده از یک سیلیستور (مقاومت سیلیکونی) انجام میشود. به این صورت که به کمک یک ترانس جریان، از جریان سیم پیچی های ترانس نمونه برداری شده و از طریق آن، هیتری تغذیه می شود. تغییرات مقاومت سیلیستور در اثر تغییر دما زیاد است. لذا استفاده از آن برای آشکار سازی دمای اضافی آسان است. در صورتی که دما زیاد شود در پل آشکار ساز حرارت عدم تعادل بوجود آمده و رله آلارم عمل میکند و اگر این دما همچنان زیاد شود، رله Trip وارد عمل خواهد شد (به شکل B- ۴-۲-۴ توجه کنید).

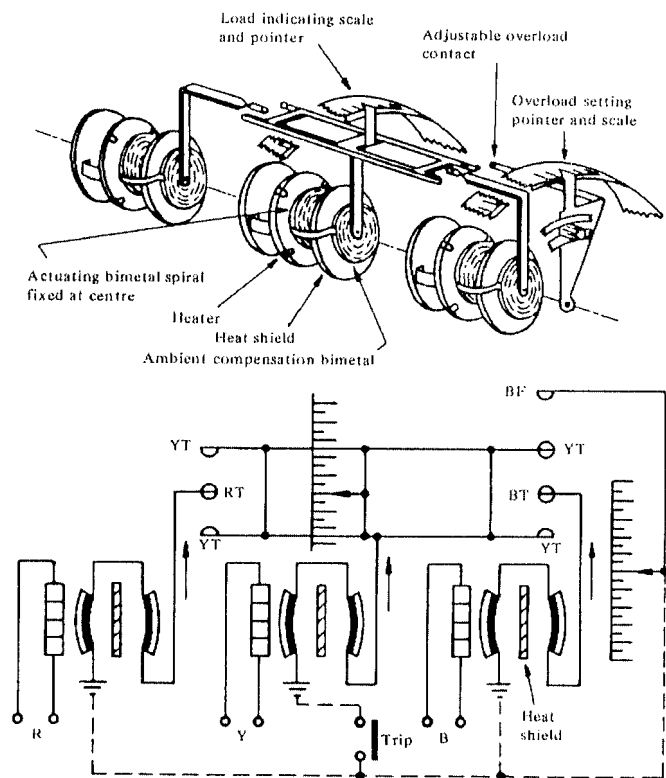


شکل B- ۴-۲-۴: رله حرارتی سیلیستوری

بسیاری از رله های حرارتی به کمک رله های بی متال کار میکنند. اساس کار این رله ها اختلاف ضریب انبساط فلزات مختلف است. در بی متالها دو تیغه فلزی از دو جنس مختلف به یکدیگر جوش داده میشوند. با تغییر دما به علت اختلاف ضریب انبساط این دو تیغه بی متال به سمت تیغه با ضریب انبساط پایین تر خم میشود. از این خاصیت میتوان برای ایجاد کنتاکت استفاده کرد. تیغه بی متال را میتوان مستقیماً با جریان تغذیه کرد. اما در بیشتر موارد حرارت دادن تیغه به کمک هیتری که از جریان مورد نظر تغذیه می شود انجام میگیرد. جبران سازی گرمای هوای اطراف به کمک یک تیغه کمکی انجام می گیرد.

این تیغه حرارت داده نمیشود و با دمای محیط گرم میشود و در صورت گرم شدن و کنتاکت کردن آن بر اثر دمای هوا کنتاکت کردن تیغه اصلی بی اثر میشود. برخی رله های حرارتی در میان سیم پیچ هیتر هسته نازکی قرار گرفته و ارمیچری در نزدیکی آن نصب می شود که در صورت افزایش بیش از حد جریان ارمیچر جذب شده و رله سریعاً عمل مینماید. در شکل C-4-4-2 رله ای از این نوع نشان داده شده است.

در سیستمهای سه فاز میتوان با توجه به اختلاف در خمیدگی بی متال هر فاز به عدم تقارن در جریانهای سه فاز پی برد. از این قاعده در حفاظت موتورها استفاده فراوانی میشود. شکل D-4-2-4 این قاعده را نشان میدهد.

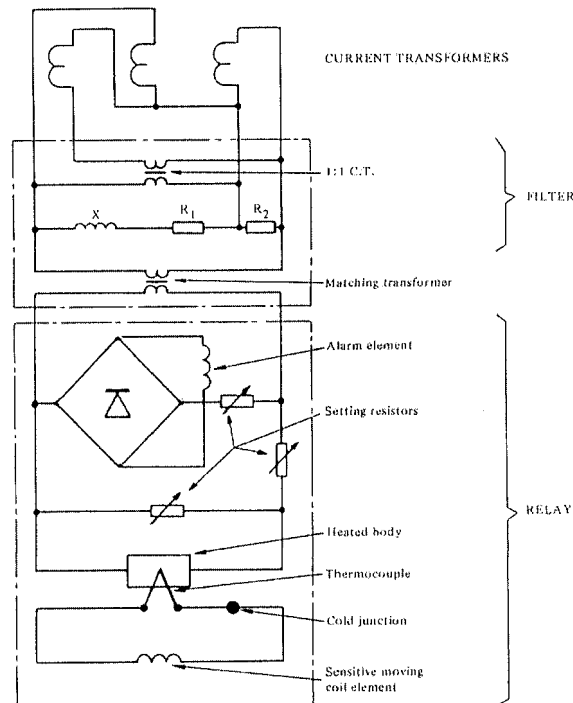


شکل D-4-2-4: سیستم ارتباطی رله حرارتی سه قطبی

رله های ترمو الکتریک:

میتوان به کمک ترموکوپل اساس دیگری برای ساخت رله های حرارتی ایجاد کرد. توسط ترموکوپل یک emf کوچک ایجاد میشود که در یک رله حساس با سیم پیچ متحرک استفاده میشود. با تلفیق این تجهیزات میتوان به یک سنسور فوق العاده حساس دست یافت. یکی از موارد کاربرد این اصل حفاظت ژنراتور با استفاده از رله های ترتیب منفی است. E-4-2-4. بر این اساس همچنین بنا بر عملکرد شبکه یک خروجی متناسب با جز، ترتیب منفی ایجاد میشود. پدید آمدن مقداری جزئی از جریان ترتیب منفی و امکان وجود عملکرد پس از یک زمان معکوس طولانی نیاز به تأخیر زمانی دارد. همچنین مشخصه قطع باید به گونه ای باشد که ژنراتور قدرت تحمل این شرایط را داشته باشد.

وجود جریانهای گردابی در ماشین منجر به تولید حرارت میشود که میزان آن متناسب با مجذور جز، ترتیب منفی جریان میباشد. این مطلب را میتوان با عبور دادن خروجی شبکه از یک مقاومت شبیه سازی کرد. افزایش دمای مقاومت خود انعکاسی از افزایش دمای ژنراتور است. به منظور بالا بردن میزان صحت این مدل سازی باید ثابت زمانی گرمایش مقاومت با ثابت زمانی گرمایشی ژنراتور برابر باشد.



شکل E-۲-۴: رله ترتیب زمانی منفی

جز، ترتیب منفی جریان در نزدیکی قله دیاگرام نشان دهنده یک خروجی برای مقاومت است که در آن دسته ای از مواد که دارای جرم حرارتی هستند. برای ایجاد ثابت زمانی گرمایش مطلوب بکار برده میشوند. ترموکوپل در بدنه گرم شده قرار میگیرد که منجر به برقرار شدن سیم پیچ متحرک میشود. پاسخ این سیستم متناسب با میزان ترتیب منفی حرارت تولید شده در ماشین است. همچنین این رله مجهز به سیستم هشدار دهنده یا آلارم میباشد. برقرار شدن آلارم همراه با تأخیر زمانی است. انرژی لازم برای آلارم از این جز، ترتیب منفی شبکه فراهم میشود.

۴-۲-۵: رله های با عملکرد موتوری

از یک موتور الکتریکی مینیاتوری میتوان برای انجام حفاظت های گوناگون استفاده کرد. برخلاف رله های القایی که بر اساس خاصیت موتوری بنیان نهاده شده اند و شرح آن گذشت. رله های موتور دار در نقش کمکی یا کنترلی مورد استفاده قرار میگیرند. بعنوان نمونه ای از عملکرد این رله ها میتوان ایجاد زمان تأخیر طولانی را نام برد.

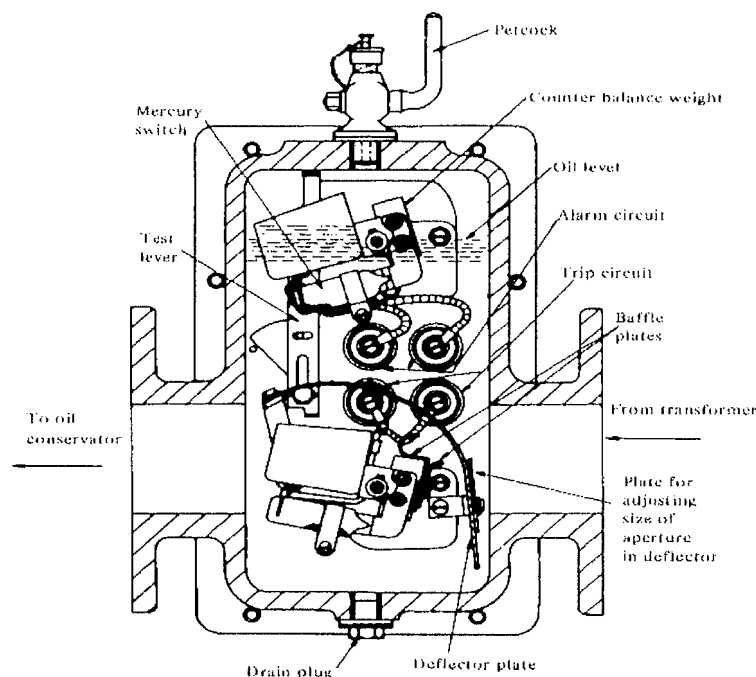
۴-۲-۶: رله با عملکرد روغنی و گازی (بوخلتزر)

بروز خطا در داخل تجهیزات الکتریکی آکنده از روغن مانند ترانسفورماتورها، منجر به تولید گاز میشود. در صورتیکه این خطاها شدید باشند. جایجایی روغن نیز رخ خواهد داد. رله بوخلتزر نسبت به این گونه شرایط از خود عکس العمل نشان میدهد و قابلیت های مختلفی از حفاظت را فراهم میکند. این گونه رله ها بروز اولین خطاها را در مراحل ابتدایی تشخیص میدهند و حتی

نسبت به خطاهایی نظیر خطاهای هسته ترانسفورماتور که با روشهای حفاظتی دیگر قابل تشخیص نیستند. از خود عکس العمل نشان میدهند.

شکل A-۶-۲-۴ یک نمای برشی از یک نوع رله بوخهلتز را نشان میدهد. این رله در بین تانک ترانسفورماتور و حفاظ آن و در بین لوله های روغن جاسازی شده است. مکان نصب رله شامل دو سطل آلومینیومی تثبیت شده میباشد که وزن هر کدام از آنها باعث ایجاد تعادل آنها میشود و هر کدام یک کلید جیوه ای را در بر میگیرد. تحت شرایط استاندارد تعادل وزن سطرها باعث ماندن سوئیچهای جیوه ای میگردد. بروز کوچکترین خطا باعث تولید تدریجی گاز شده که در بالای رله انباشته میشود و باعث پایین رفتن سطح روغن در مکان نصب رله میشود. سطهای سرباز لبریز از روغن شده و در نتیجه حالت شناوری آنها از دست میرود و در نتیجه سطح عمودی روغن افت پیدا میکند و در این حالت کلیدهای جیوه ای عمل میکنند. این کنتاکت ها معمولاً به یک مدار آلارم متصل است. پس از عمل کردن آلارم اگر هیچ گونه اقدامی صورت نگیرد. بر اثر افزایش افت سطح روغن. ترانس از منبع تغذیه جدا می شود.

با بروز یک خطا شدید. سرعت تولید گاز افزایش می یابد و حجم روغن جابجا شده. موجب ایجاد موج و لرزش در حفاظ لوله ها و محدوده مکان نصب رله میشود. شارش روغن توسط یک صفحه موجگیر جهت داده میشود که نهایتاً این عمل باعث عملکرد کلیدهای جیوه ای و ایزوله کردن ترانس میشود. همچنین کمبود روغن بخاطر نشت روغن. باعث بکار انداختن آلارم و عمل کردن کنتاکت قطع میشود. در طرحهای دیگر از تانکهای شناور تو خالی و سر بسته یا پلاستیک جامد استفاده می شود.



شکل A-۶-۲-۴: رله های روغنی و گازی (در وضعیت اعلام آلارم)

عموماً رله ها به یک یا چندین شیر تخلیه مجهز میشوند. این امر باعث فراهم شدن امکان نمونه برداری از روغن برای انجام آزمایشات و همچنین امکان هوا گیری از محفظه رله می شود. این نوع رله ها در سه اندازه مختلف. متناسب با لوله های روغن قطر ۱۲ یا ۲ اینچ ساخته میشود. حجم قسمت هشدار دهنده متناسب با حجم گاز جمع شده از ۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتیمتر مکعب متفاوت است. سرعت قسمت قطع بر اساس سرعت روغن. از ۷۰ تا ۱۶۰ سانتیمتر بر ثانیه است.

زاویه لوله های روغن و شیب رله دارای تأثیر مشخص و اندازه گیری شده ای در کارایی و عملکرد رله هستند. برای رله های شناور منفرد. افزایش زاویه از ۲ تا ۵ درجه مجاز است. برای رله های شناور دبل این محدوده بین ۳ تا ۷ درجه است. شیبهای قائم بر

شارش روغن نیز نباید از ۱درجه تجاوز کنند. به منظور کنترل و امکان اندازه گیری این زاویه ها پس از نصب رله یک صفحه مسطح در بالای رله و به موازات شارش روغن فراهم شده است. به منظور جلوگیری از اغتشاش در عملکرد لوله ها، لوله ها را باید بصورت قائم نصب کرد. ارتفاع لوله های نصب شده در سمت تانک و رله حداقل ۵ برابر قطر داخلی آنها و برای لوله های در سمت حفاظ، حداقل سه برابر قطر داخلی آنها است. ترانسهای روغن نیز مانند سایر تجهیزات بر اساس نوع درجه تقسیم بندی میشوند. لرزش در ترانسها، باعث ایجاد لرزش در تجهیزات سوار شده روی تانک ترانس میشود. این مسأله عملکرد رله بوخهلتس را با مشکل مواجه میکند. همچنین لرزش ترانس، منجر به افزایش فرسودگی و عملکردهای ناخواسته دیگر میگردد که توجه در هنگام طراحی، باعث کاهش این مشکلات خواهد شد.

۴-۳: رله های کمکی DC

عموماً بهتر است که رله های حساس اندازه گیر، دارای یک کنتاکت باشند. در این گونه رله ها بر اساس Pick-up تنظیمی رله، حجم نیروی تولید شده در رله صرف غلبه بر نیروی یک فنر کنترل شده یا نیروی مشابه آن میشود که نتیجه آن عملکرد کنتاکت است. اگر رله ها دارای حرکت نسبی باشند، استفاده از کنتاکتهای بیشتر، منجر به بروز اشکالات فنی بر اثر کاهش بالانس خواهد شد. این مشکلات در هنگام عملکرد کنتاکت اول روی میدهد. ممکن است که در نقاط کار مختلف، در هنگام عملکرد کنتاکت اول، حرکت کنتاکتهای دیگر متوقف شود. در نتیجه عملکرد رله بدون همکاری و شرکت همه کنتاکتها پایان میپذیرد. برای کاهش اینگونه مشکلات باید از گشتاورهای با مقدر بالا برای عملکرد رله و همچنین ادغام دقیق آن با عملکرد کنتاکت استفاده شود. البته استفاده از یک کنتاکت اصلی برای برقرار کردن رله کمکی مناسب تر است. نوع آرمیچر جذبی این رله ها، دارای عملکرد جهتی بوده که در حین عملکرد نیروی عظیمی مطابق با Pick-up تنظیمی تولید میکند. از این رو رله های کمکی با هر تعداد کنتاکت، عملکرد مطمئنی دارند.

رله های کمکی دارای طبقه بندی All-or-nothing (به بخش ۱-۴ رجوع شود) هستند. این رله ها در موارد زیر بکار برده میشوند.

برای فراهم کردن امکان استفاده از بیشترین کنتاکتهایی که قابل نصب بر روی رله های اندازه گیری نیستند.

امکان ایجاد کنتاکتهایی بالاتر از مقادیر نامی رله های اندازه گیری

کمک کردن به انجام یک عملکرد طولانی مدت، مقاومت آن به گونه ای است که اجازه انتقال جریان اصلی عملکرد را از نقطه اولیه به مکان دیگر نمی دهد.

بمنظور دستیابی به زمان تأخیر زیاد در عملکرد رله

ولتاژ نامی رله های کمکی از ولتاژ نامی تجهیزات حفاظت شده کمتر است تا بتوان تنوع در تجهیزات و تنوع در نوع رله های اصلی را تحت پوشش قرار داد. این امر بویژه هنگامی که تجهیزات از باتریها تغذیه میشوند نمایان تر است. (مثلاً در پستهای کلیدزنی)

۱-۳-۴: محدودیتهای ولتاژ عملکرد

یک باتری معمولی با ولتاژ نامی ۲ ولت، هنگامی که تحت بارگیری کامل قرار گیرد دارای ولتاژ کمتر از ۱٫۸ ولت است. این باتری اگر جریان سنگینی را تحویل دهد دارای ولتاژ ترمینال کمتر از مقدار یاد شده خواهد بود.

برای نگهداری شارژ باتری همراه با Trickle-charger، معمولاً باید ولتاژ هر یک از پیلهای تشکیل دهنده باتری در سطح ۲٫۳ تا ۲٫۵ ولت حفظ شود. نزدیک ترین مقدار عددی در این شرایط را میتوان بعنوان ولتاژ نامی در نظر گرفت. برای مثال یک باتری ۵۵ خانه دارای مقدار نامی ۱۲۵ ولت است و محدودیتهای کاری باتری بصورت درصدی از ولتاژ نامی بیان میشود. مثلاً با در نظر گرفتن محدودیتهای کاری ولتاژ ۱۱۰ ولت را برای باتری فوق در نظر میگیرند. برای نظارت بر میزان افت ولتاژ باتریها، رله های

کنترلی و هشدار دهنده بکار برده میشوند که تحت 80% ولتاژ نامی یا 70% ولتاژ واقعی تنظیم میشوند. رله های قطع کننده باید تحت 60% ولتاژ اسمی یا 53% مقدار واقعی ولتاژ تنظیم شوند. اگر شارژ باتری افزایش یابد. ولتاژ هر پیل (خانه) به $2,7$ ولت نیز میرسد و در نتیجه ولتاژ یک باتری 55 خانه ای به 150 ولت میرسد. با این حال باتری قادر به تغذیه کردن برای مدت زمان بیش از 20 دقیقه نخواهد بود.

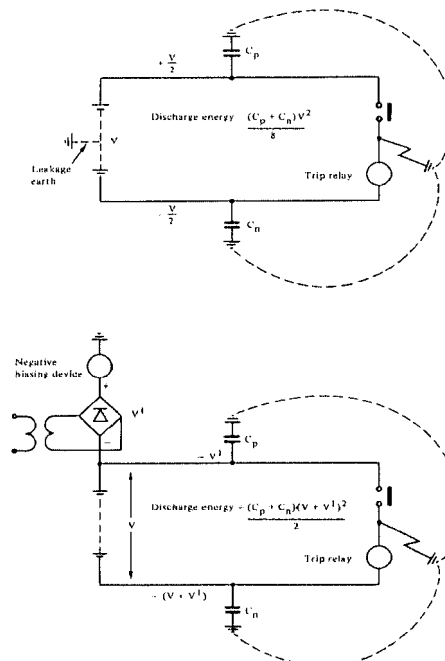
عملکرد همه رله ها و کنتاکتها تحت این ولتاژ تا 120% مقدار واقعی قابل تصحیح و تنظیم است. سیم پیچی رله قادر به تحمل 115% مقدار واقعی بطور دائم است. هنگام تعمیرات در وضعیتی که باتریها قابل شارژ نباشند. ولتاژ واقعی تا 2 ولت در هر خانه باتری کاهش می یابد و در این حالت توجه به اضافه ولتاژ چندان ضروری نیست.

۴-۳-۲: تخلیه خازن سیم کشی

در ایستگاههای کلید زنی. سطح وسیعی از سیم کشی dc استفاده میشود. این سیم کشی دارای یک ظرفیت خازنی با زمین است که مقدار کل این ظرفیت قابل توجه است. بروز یک خطای زمین که در محدوده اتصالات بین رله های حفاظتی و سیم پیچی رله های کمکی روی دهد. بر اثر تغییر در پتانسیل توزیع. باعث شارش جریان در ظرفیت خازنی سیم کشی و سیم پیچی رله میشود. این امر در شکل A-۲-۳-۶ به تصویر کشیده شده است. اگر باتری زمین نشده باشد. جریان ناشی باعث بوجود آمدن پتانسیل منفی در مرکز باتری می شود. دو سر باتری نیز دارای پتانسیل $V/2$ و $-V/2$ میشود.

اگر ظرفیت خازنی بر روی قطبهای مثبت و منفی را با C_p و C_n نشان دهیم. انرژی جذب شده توسط سیم پیچی رله بخاطر بروز خطا برابر $(C_p + C_n)V^2/8$ خواهد شد. اگر باتری از طریق قطب مثبت و بوسیله یک مقاومت خیلی بزرگ زمین شده باشد. انرژی تخلیه بمقدار $(C_p + C_n)V^2/2$ افزایش می یابد. زمین کردن از طریق بایاس منفی. منجر به افزایش ولتاژ نقطه خطا مقدار V_1 خواهد شد و انرژی تخلیه در این حالت به مقدار $(C_p + C_n)(V + V_1)^2/2$ خواهد رسید.

ناحیه خطر که در آن بروز خطا در سیم کشی باعث تخلیه انرژی ذخیره شده در ظرفیت خازنی سیم کشی. مابین سیم کشی رله کمکی میشود. بر طبق اظهارات فوق. تا سر حد اتصال بین اولین کنتاکت و سیم پیچی رله محدود میشود. هنگامی که رله کمکی دارای یک کنتاکت مانند رله اولیه باشد بروز خطا در این اتصال به اندازه قابل توجهی کاهش خواهد یافت.



شکل A-۲-۳-۴: عملکرد رله Trip در نتیجه تخلیه ظرفیت خازنی سیم ها

باید توجه کرد که رله قطع کننده نباید با وجود ظرفیت خازنی شارژ شده کار کند. یک استاندارد تجربی که بر اساس ایمنی پایه گذاری شده است. مبنی این امر است که طی آن رله های قطع کننده ملزم به عدم عملکرد خواهند بود. هنگامی که در معرض تخلیه خازنی معادل ۱۰۰ میکرو فاراد که با ولتاژ ۱۵۰ ولت شارژ شده است. قرار گیرند. حداقل جریان کار در این حالت به حدود ۱۰۰ میلی آمپر محدود میشود که این جریان برای تضمین عدم عملکرد رله. تحت شرایط خطا در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است که شرایط فوق تنها به رله های قطع عادی مربوط نبوده. بلکه برای رله های واسطه و نیز کنتاکتورهایی که برای قطع بکار می روند. نیز این شرایط یکسان و بسیار با اهمیت است.

۳-۳-۴: رله های قطع کننده (Tripping)

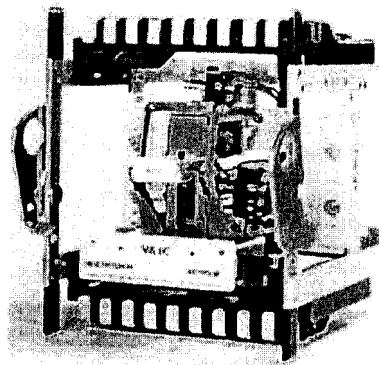
این رله ها از نوع رله های کمکی هستند که در بخشهای مستقل. مهیا میشوند تا خروجی های مربوط به انجام عمل قطع یکی از رله های حفاظتی را هماهنگ کنند. عملکرد رله های Tripping به شرح زیر است.

افزایش تعداد کنتاکتهای قابل دسترسی در حفاظت. هنگامی که بیش از یک کلید باید عمل قطع را انجام دهد. موازی کردن trip coil ها مجاز نیست. از این رو حفاظتهای مختلف دارای ترکیبات گوناگون کلید هاست. همچنین عملکرد هشدار دهنده ها نیز باید از طریق استفاده از کنتاکتهای جدا کننده و قطع کننده مجزا شود.

- برای افزایش مقدار نامی کنتاکتهای قطع کننده
- برای بهبود مرز بندی بین تجهیزات حفاظتی و سوئیچگیرها

بنابراین رله های حفاظتی و سوئیچگیرها. دارای ارتباط فنی هستند و وجود تمایز های فیزیکی بین آنها باعث شده است که تاسیسات و تجهیزات حفاظتی توسط افراد مختلف قابل انتقال به بیرون باشد. همچنین در برخی حالتها. نظارت یک کارشناس برای جدا کردن متعلقات سوئیچگیر مورد نیاز است. در هر دو حالت فوق. روشن بودن مرز بندی حفاظتی مورد نیاز است. علاوه بر این رله های قطع کننده با توجه به اهمیت و موقعیت آنها باید قابلیت اطمینان بالایی داشته باشند همچنین این رله ها باید عملکرد سریع داشته باشند. زیرا زمان عملکرد آنها. اضافه تر از رله های حفاظتی است. زمان عملکرد رله های اخیر باید آنها را قادر سازد تا اندازه گیری و تجزیه و تحلیل آنها صحیح و قابل قبول باشد. علاوه بر این قدرت تمایز اینگونه رله ها را باید بعنوان یک اصل مد نظر قرار داد. اغلب رله های قطع کننده از نوع آرمیچر جذبی هستند. سرعت عملکرد بالای این رله ها. بخاطر حرکت سبک و آرام آنها و جابجایی سریع و نیروی عملکرد بالا از خصوصیات این گونه رله هاست که این ویژگیها خود مستلزم مصرف بالای انرژی در سیم پیچی است.

عمل تنظیم این رله. بصورت دستی و الکتریکی انجام میشود و برای reset کردن آن به یک رله الکترومغناطیسی نیاز است. معمولاً کنتاکت اصلی رله های مدرن در ۱۰ میلی ثانیه یا کمتر بسته میشود و کنتاکتهای کمکی معمولاً دیرتر و در حدود ۵۰-۶۰ میلی ثانیه عمل می کنند.



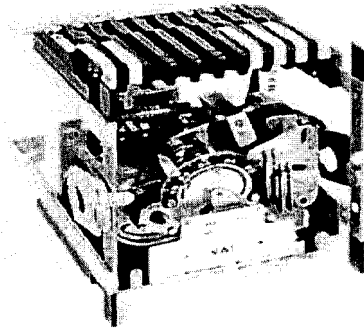
شکل 3-3-4: رله سرعت بالا با ۸ کنتاکت

شکل 3-3-4-A: رله سرعت بالا با ۸ کنتاکت

یک نمونه از رله های قطع با reset دستی یا الکتریکی در شکل A-3-3-4 نشان داده شده است. این رله ها دارای ۸ کنتاکت خروجی هستند که هر کدام از آنها ممکن است N.O (Normal open) یا N.C باشند. عمل قطع شدن در حدود ۸۵ وات توان نیاز دارد. این نوع رله در برابر تخلیه های خازنی که شرح آنها گذشت پایداری مساوی دارد. در برخی از رله ها لازم است تارله با یک مقاومت با اندوکتانس کم موازی شود تا ایمنی لازم در هنگام تخلیه فراهم شود.

۴-۳-۴: رله های تأخیر زمانی

رله های تأخیر زمانی، معمولاً برای فراهم کردن زمان تمایز در طرحهای حفاظتی مهم بکار برده میشوند. همچنین آنها بطور متناسب در طرحهای کنترلی و هشدار دهنده بکار میروند و زمان لازم برای ترتیب اتخاذ شده در حین عملکردها و اطمینان از عدم عملکردهای ناخواسته یا ظاهر شدن آلامها، فقط بخاطر شرایط گذرا تنظیم میکنند. زمان تأخیر را بوسیله روشهای گوناگون می شود ایجاد کرد. یک تأخیر کوتاه مدت را میتوان توسط یک رله آرمیچر جذبی که در بخش A-1-2-4 شرح داده شده ایجاد کرد. ایجاد یک تأخیر زمانی برابر ۰.۵s در Pick-up براحتی صورت میگیرد. تأخیر در Drop-off میتواند طولانی تر و از ۰.۱ تا ۰.۳ ثانیه بطول انجامد. تأخیر زمانی Drop-off را میتوان با موازی کردن یا اتصال کوتاه کردن سیم پیچی عملگر رله، یا با نصب یک دیود در دو سر سیم پیچی رله، برای ایجاد یک مسیر، بمنظور عبور جریان و شارژ القایی، تولید کرد. البته از یک مدار R-C (Resistance-Capacitance) نیز میتوان برای این منظور استفاده جست. رله های حرارتی نیز برای فراهم کردن یک تأخیر زمانی طولانی در حد چند ثانیه مناسبند. اما استفاده از این رله ها برای ایجاد تأخیر طولانی ولی مستقل مناسب نیست. زمان تأخیر بدون اشتباه از طریق رله های تحت فشار و با مکانیزم تحریک شده، همراه با یک سیستم کنترلی حاصل میشود. مکانیزم تحریک شده میتواند یک سیم پیچ یا یک آرمیچر الکترومغناطیسی باشد که با برقرار شدن آن یا کوک شدن فنر، نیروی لازم برای عمل کردن کنتاکت فراهم میشود. معمولاً سیستم کنترلی از نوع ترمز فوکو میباشد. یک رله از این نمونه در شکل A-4-3-4 نشان داده شده است که از طریق یک الکترومغناطیس، قدرت لازم برای پیمچاندن یک فنر حلزونی بصورت تدریجی فراهم میکند. در این سیستم از غلطک های خاصی نیز برای افزایش همواری و کاهش اصطکاک از این طریق استفاده کرد.



شکل ۴-۳-۴: رله تأخیری

شکل A-4-3-4: رله تأخیری

محور اصلی توسط یک چرخ دنده به یک فنجان مسی کوپل شده است که در میدان یک آهنربای دائم میچرخد. ترمز جریان فوکو محور اصلی، همانند یک عامل بازدارنده در برابر سرعت چرخش فنجان مسی عمل کرده و در نتیجه سرعت چرخش محور اصلی و بازوهای عمل کننده کنتاکت نیز کاهش می یابد.

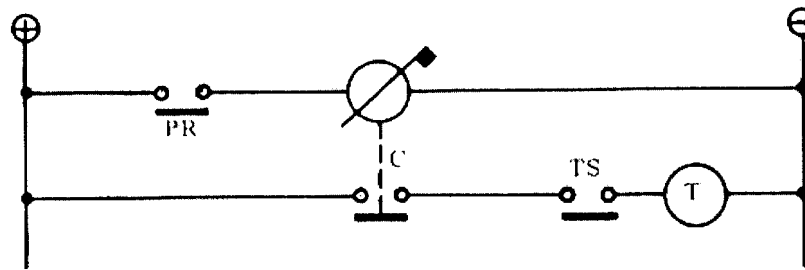
زمان نشست (Setting Time) نیز با جابجایی موقعیت بازوهای عمل کننده قابل تنظیم است. همچنین با استفاده از نسبت تبدیل های مختلف دنده های متفاوت نیز، میتوان به تنظیم زمانی مطلوب دست یافت. بازه تنظیم زمان با استفاده از روشهای مختلف در حدود ۰.۶ تا ۱۲۰s میباشد. زمان کل عملکرد را بصورت حاصل جمع زمان عملکرد الکترومغناطیس و زمان حقیقی

عملکرد مکانیزم تعریف می کنند. میتوان با استفاده از مقدار انرژی مناسب و استفاده از اجزا، با اینرسی پایین در سیستم پیش از فنر. زمان اخیر را کوتاه کرد. زمانهای تأخیر طولانی معمولاً توسط موتورهای کوچک ایجاد میشود. این موتورها به طرز مناسب با شافت عملکرد کنتاکتها درگیر شده اند. موتورها دارای یک دیسک القای هستند و میتوانند در نقش یک موتور میناتور d.c یا a.c عمل کنند. این موتورها مشابه موتورهای بکار رفته در تایمرها و یا تجهیزات کنترلی هستند.

با انتخاب دنده مناسب برای درگیری موتور با شافت کنتاکت میتوان به مقادیر متفاوتی از زمان تأخیر دست یافت. برای ایجاد زمان تأخیر طولانی باید از دنده با بهره بزرگتر استفاده نمود و برعکس. به منظور جلوگیری از خطرات ناشی از Over-running از یک سوئیچ محدود کننده Slipping clutch استفاده میشود تا اثرات سو، ناشی از گشتاورهای مفرط که از جهات دیگر بر روی شافت پایانی اعمال میشود را کاهش داد. برای Reset کردن این نوع رله ها، باید قسمت درگیر این رله ها را بصورت معکوس چرخاند. مدت زمان Reset شدن مستقل از زمان تأخیر است و این عمل بصورت آبی و بارها کردن یک کلاچ الکترومغناطیسی صورت میگیرد.

Repeat contactors : ۴-۳-۵

اینگونه از کنتاکتورها برای افزایش ظرفیت کنتاکت رله حفاظت اصلی برای کنترل یا تضمین عملکرد بکار میروند. همچنین برای انجام فرایندهای منطقی که برای هماهنگی عملکرد رله های اندازه گیر مورد نیاز است. کاربرد دارند. این تجهیزات را میتوان جز، تجهیزات a.c بحساب آورد. شکل A-۴-۳-۵ یک ترتیب بسیار واضح از Repeat circuit موازی را نشان می دهد.



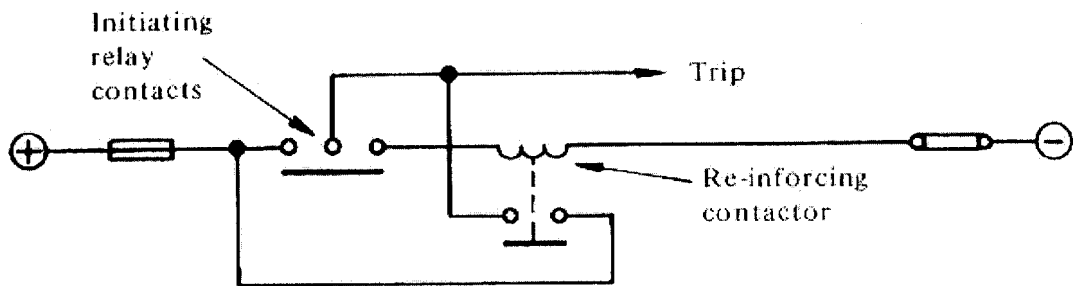
PR	Protective relay
C	Contactors
T	Circuit breaker trip coil
TS	Circuit breaker auxiliary switch

شکل A-۴-۳-۵ : کنتاکتور تکرار موازی (شنت)

C = کنتاکتور TS = کلید کمکی PR = رله محافظ T = سیم پیچ قطع کلید

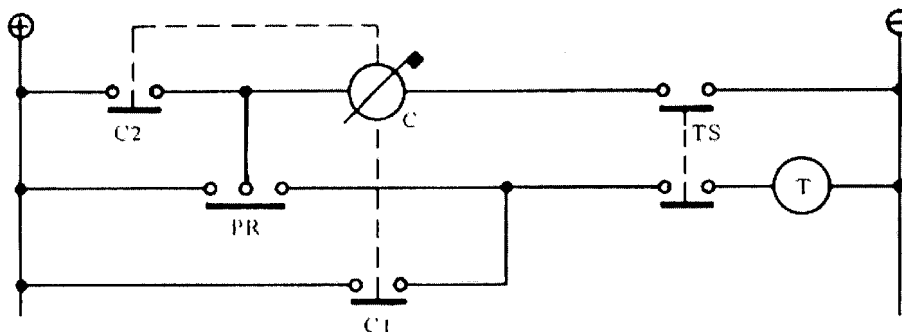
مطابق شکل. رله های حفاظتی منجر به برقرار شدن سیم پیچهای کنتاکتورها می شود و بر اثر عملکرد کنتاکتورها کلید قطع می گردد. این مدار ساده دارای این نقص است که زمان عملکرد کنتاکتور به زمان عملکرد رله اصلی افزوده می شود. همچنین بر اثر عملکردهای اضافی کنتاکتورها قابلیت اطمینان سیستم کاهش می یابد.

کنتاکتورها، باید دارای یک سیم پیچ مناسب باشند. زیرا خطرات ناشی از بروز خطا غیر قابل چشم پوشی است. این مشکلات در مدارات موازی تقویت شده مطابق شکل B-۴-۳-۵ کاهش می یابند.



شکل B-5-3-4: نمایش اتصالات یک کنتاکتور تقویت کننده

در این مدار، کنتاکت اصلی مستقیماً باعث قطع مدار میشود و اما بلافاصله وظیفه عبور جریان را کنتاکتور بر عهده می گیرد. گاهی اوقات ممکن است که بیش از یک رله فرمان قطع کلید را صادر کند در چنین مواردی، به منظور ایجاد تمایز در نشانه های پرچمها، لازم نیست که سیم پیچ کنتاکتورها را با trip-coil موازی کنیم بلکه میتوان از سه کنتاکت قطع در سه مکان مختلف استفاده کرد. شکل C-5-3-4 نشانگر استفاده وسیع از کنتاکتهای اصلی است که در آن قابلیت اطمینان کنتاکتها، توسط کنتاکت C2 افزایش یافته است. این کنتاکت بمنظور تضمین عملکرد سیگنال قطع تا وقتی که کلید باز است و همچنین برای قطع مدار trip توسط سوییچهای کمکی بکار برده میشود.



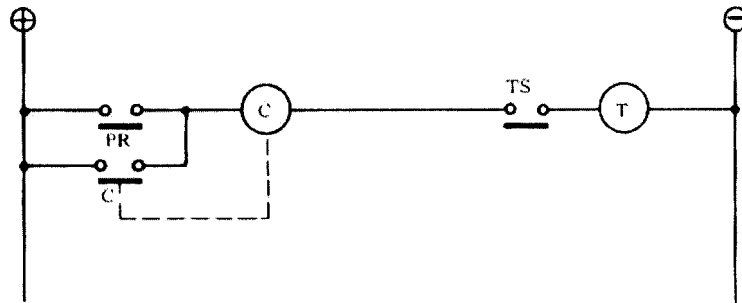
- PR Protective relay
- C Auxiliary contactor
- T Circuit breaker trip coil
- TS Circuit breaker auxiliary switches

شکل C-5-3-4: کنتاکتور تقویت کننده شنت با کنتاکت درز گیر

C = کنتاکتور TS = کلید کمکی PR = رله محافظ T = سیم پیچ قطع کلید

کنتاکتور دارای یک سیم پیچ با مقاومت کم است که برای حمل جریان trip coil طراحی شده است. این کنتاکتور با trip coil بصورت سری بسته شده است. کنتاکت کنتاکتور، بصورت موازی با کنتاکت اصلی بسته می شود تا منجر به تقویت و بالا بردن ضریب اطمینان در هنگام قطع مدار شود. (شکل D-5-3-6) سیم پیچی کنتاکتور طوری طراحی میشود که افت ولتاژ منبع در حین قطع مدار 5٪ شود.

بخطرات بالا بردن دامنه عملکرد کنتاکتور در هنگام قطع سیم پیچی آن اغلب دارای سیم پیچ دابل است. در مواردی که چندین رله توأمأ بکار برده می شوند همگی آنها به یک تریپ کویل واحد متصلند جریان قطع نیز ما بین کنتاکتورهای سری تقسیم می شود. در این حال محاسبات باید تحت ۸۰٪ ولتاژ نامی صورت گیرد.

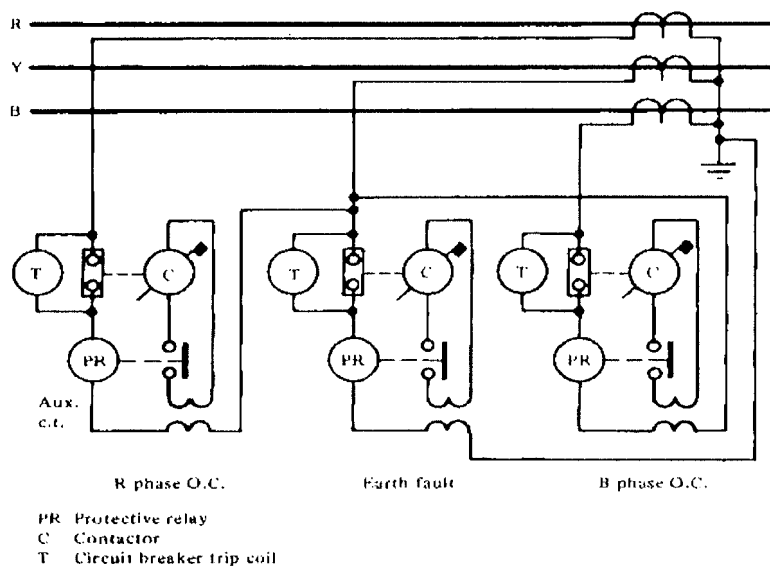


PR Protective relay
C Contactor
T Circuit breaker trip coil
TS Circuit breaker auxiliary switch

شکل D-۳-۴: کنتاکتور درز گیر سری

C = کنتاکتور TS = کلید کمکی PR = رله محافظ T = سیم پیچ قطع کلید

هنگامی که منبعی برای تغذیه tripping در اختیار نباشد. از طریق CT سری با رله حفاظتی میتوان Trip-coil را برقرار کرد. Trip-coil در حالت عملکرد عادی سیستم باید توسط کنتاکت. کنتاکتور کمکی اتصال کوتاه شود و همچنین باید اعمال نفوذ خود را بر روی مدار از طریق عملکرد کنتاکتور و در هنگام عملکرد رله حفظ کند. (شکل E-۳-۴) طبیعتاً کنتاکت های کنتاکتور. در این طرح دارای نقشی اساسی هستند کلیه کنتاکتورها و تریپ کویلها و سایر المانها برای هر فاز. بصورت جداگانه بکار برده می شوند.



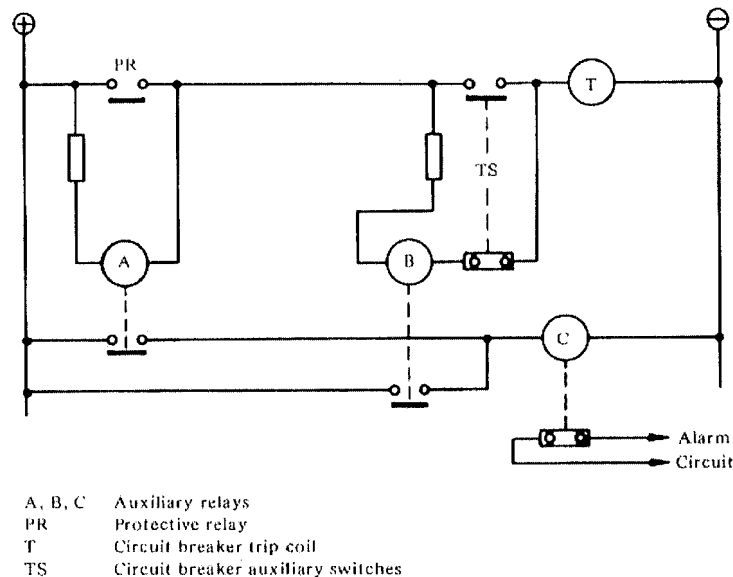
PR Protective relay
C Contactor
T Circuit breaker trip coil

شکل E-۳-۴: مدار قطع کننده A.C. ترانسفورماتورهای جریان

C = کنتاکتور PR = رله محافظ T = سیم پیچ قطع کلید

۶-۳-۴ : نظارت بر انجام عمل قطع (Trip)

اهمیت سیستم trip-circuit که در حالت عادی بدون برق است منجر به لزوم اتخاذ یک سیستم نظارت دائمی بر روی این سیستم میشود. ساده ترین روش که برای این منظور بکار برده میشود استفاده از لامپهای نصب شده در بین کنتاکتهای حفاظت tripping برای تشخیص بی عیبی آن است. لامپ توسط یک جریان کوچک روشن میشود که مقدار آن منجر به عملکرد trip در هنگام بسته بودن کلید نمیشود. از یک مقاومت سری شده با لامپ برای اجتناب از بروز تریپهای تصادفی استفاده میشود. این تریپها ناشی از انعکاس جریان اولیه لامپ است. همچنین این مقاومت همانند یک محافظ در برابر عملکرد اتصال کوتاه لامپ که بر اثر از بین رفتن فیلامان لامپ روی می دهد. عمل میکنند. علاوه بر این دارای نقش مشابه در هنگام تعویض لامپ است. میتوان بجای لامپ از رله استفاده کرد. استفاده از رله باعث تشخیص دادن و دیدن از راه دور میشود. اگر رله مجهز به سیستم هشدار دهنده با صدای قابل شنیدن باشد. یک طرح جامع که در شکل A-۳-۶-۴ نشان داده شده است. رله ها بصورت سری کار می کنند و هر دو آنها باید Reset شوند تا منجر به خروج رله C شوند. رله اخیر دارای یک زمان تأخیر کوتاه برای پوشش دادن به حالتی گذرا است. در هر حالت چه کلید باز یا بسته باشد عملکرد نظارت همچنان حفظ خواهد شد.



شکل ۶-۳-۴ : طرح نظارت مدار قطع کننده

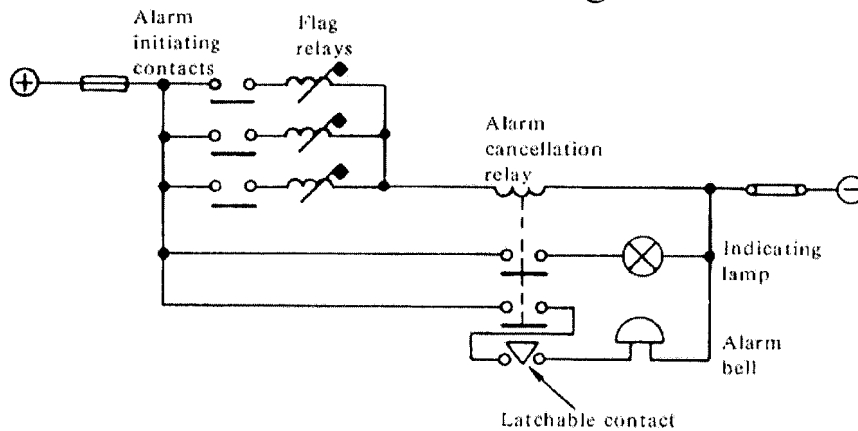
A و B و C = رله های کمکی TS = کلید کمکی PR = رله محافظ T = سیم پیچ قطع کلید

۷-۳-۴ : رله های هشدار دهنده

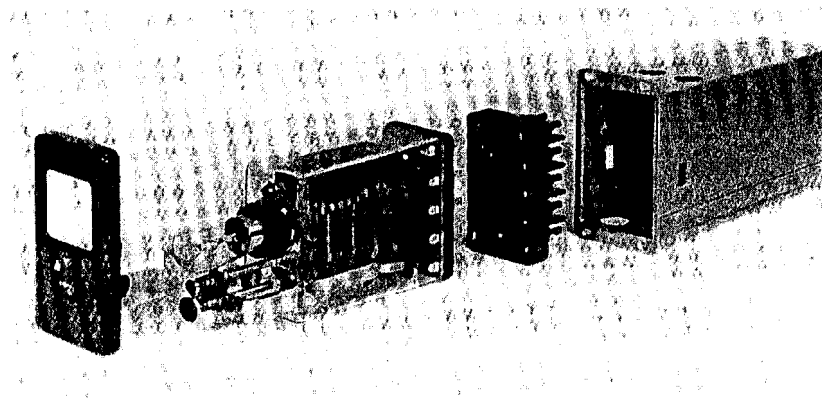
رله های با توانایی هشدار صوتی و تصویری معمولاً برای جلب توجه به عملکرد رله های اولیه بکار برده میشوند. طرح آلامر ممکن است یک طرح ساده برای مراکز کوچک ولی پر اهمیت باشد. بهتر است که در آلامرهای مختلف تمایز وجود داشته باشد. یک طرح هشدار دهنده که توانایی لغو و باطل شدن را دارا باشد باید دارای دو کنتاکت خود reset از نوع N.O (NORMALLY OPEN) باشد. سوئیچ جدا کننده عملکرد دستی از غیر دستی از نوع N.C است. زیرا باید قادر به باز شدن در هنگام عملکرد رله باشد. این کنتاکت با یک کنتاکت خود Reset در مدار آلامر قابل سمع سری بسته شده است. که در صورت عملکرد رله صدا تولید کند و با باز شدن کنتاکت فنری N.C لغو شود. دیگر کنتاکت Self reset نیز توسط یک لامپ قابل رویت برقرار میشود که این لامپ حتی پس از لغو سیستم صوتی قابل رویت باقی بماند تا هنگامی که خطا بر طرف شود. هنگامی که خطا بر طرف شود. رله های آلامر Reset میشوند و اجازه میدهند که کلیدهای فنری به حالت اولیه خود باز گردند. یکی از این رله ها میتواند بصورت مشترک با چنین رله اولیه دیگری کار کند که هر کدام از آنها دارای پرچم مخصوص به خود برای معین کردن

علت خطا هستند. بی بهره بودن و استفاده نکردن از ترتیب پرچمهای سری هنگامی بروز می کند که کنتاکتهایی که سیستم آلام را در لحظه اول راه اندازی میکنند به سرعت RESET نمیشوند و در نتیجه ترتیب آلامهای آمده قابل درک نیست.

ترتیب رله های لغو کننده آلام باعث اشغال فضای زیاد و نیاز به مقدار زیادی نما و نشانه دارد بنا بر این گزینه فوق یک گزینه پرهزینه است و نیاز به فضای زیاد دارد. (شکل B-3-7-4). این رله را میتوان همانند یک رله لغو آلام که برای چند آلام معمول است بکار برد. یا همانند یک رله نشان دهنده منفرد یا همانند یک رله لغو کننده آلام مورد استفاده قرار داد در حالت اخیر. اثر تلفیق پرچمها و لغو آلامهای مربوط به طرح در شکل A-3-7-4 نشان داده شده است.



شکل A-3-7-4: طرح یک مدار اعلام آلام ساده

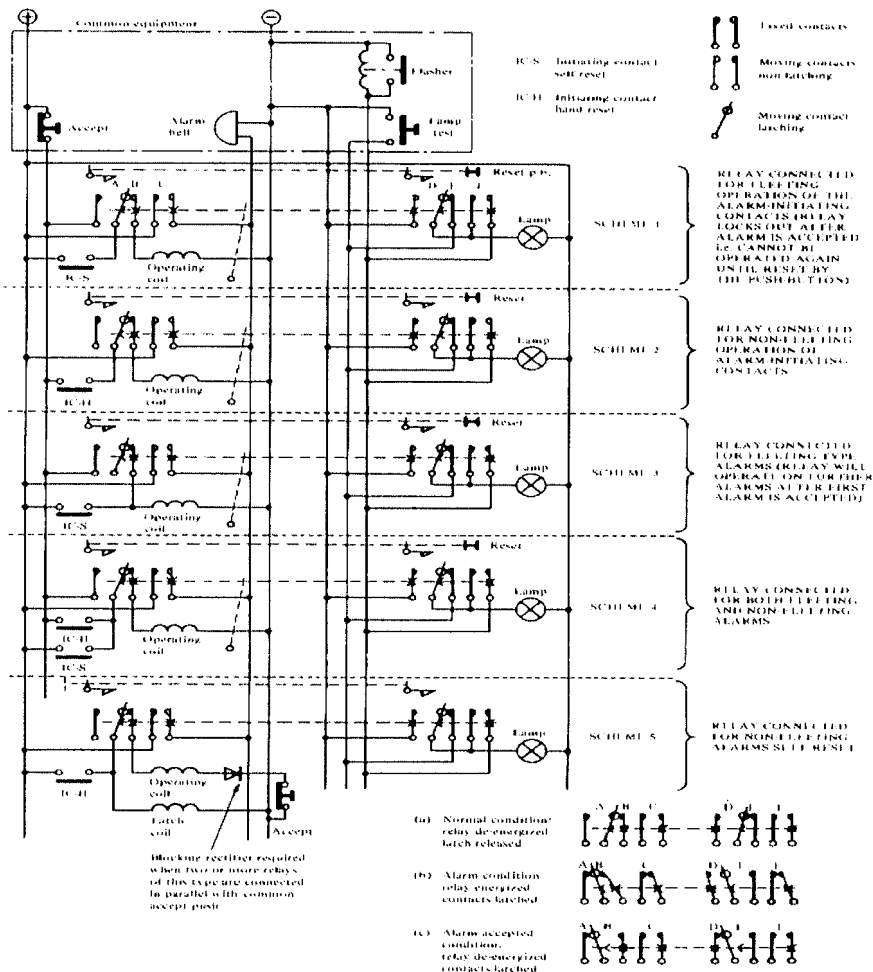


شکل B-3-7-4: رله هشدار دهنده (ساخت شرکت Reyrolle)

علاوه بر آن این طرح دارای این مزیت است که هر شماره از آلامها ممکن است دارای عملکرد جداگانه یا مشترک و دارای ثباتهای مربوط به هر کدام از این موارد باشد. این رله در شکلهای گوناگون مورد استفاده قرار میگیرد یعنی ممکن است این رله توسط کنتکتهای self reset یا hand reset یا ترکیبی از آنها برقرار شود. همچنین خود رله می تواند از نوع self reset یا hand reset باشد. المان بکار رفته در این نوع رله ها. از نوع آرمیچر جذبی است که سیم پیچ آن با ولتاژ D.C تغذیه شده و بصورت پیوسته رده بندی شده است. با برقرار شدن این المان مکانیزم عملکرد فعال می شود در نوع HAND RESET این بخش توسط یک آهنربای دائم کنترل می شود در نوع SELF RESET یک الکترو مغناطیس نیز به آن اضافه می شود که سیم پیچی آن توسط منبع وقوع آلام تغذیه می شود. هنگامی که رله کار می کند یک لامپ باعث روشن شدن یک پنجره در جلوی Bezel میشود. این پنجره برای آشکار شدن منبع وقوع آلام در نظر گرفته شده است یک رله روشن کننده جدا نیز برای روشن شدن لامپ در هنگام عملکرد رله آلام بکار می رود. کسلس شدن آلامهای صوتی توسط فشار دادن accepy-push صورت می گیرد و در حالی است که روشنی لامپ همچنان برقرار است. این حالت تا reset شدن رله ادامه دارد.

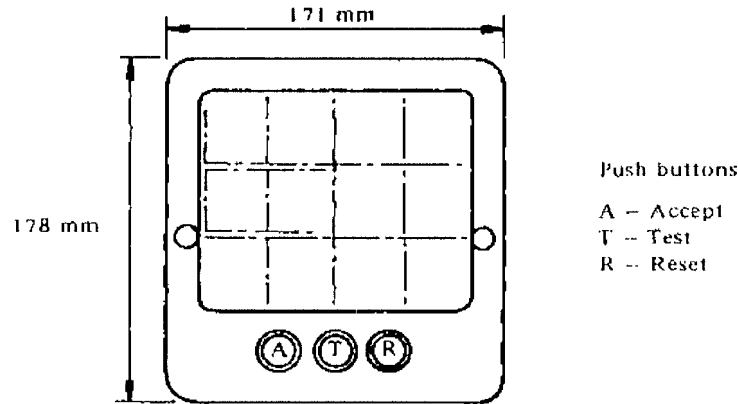
در شکل C-3-7-4 برخی از کاربردهای این رله و روش عملکرد آن بصورت شماتیک بیان شده است در نیروگاه و پستهای مهم تعداد زیادی از نمادهای آلارم در اتاق فرمان مورد استفاده قرار می گیرند. بهتر است طراحی نحوی باشد که تابلوهای آلارم کمترین فضای ممکن را اشغال کنند و در عین حال در هنگام بروز خطا به اپراتور هشدارهای واضح و ارائه کنند. همچنین سعی می شود از تجهیزات مدرن و پیشرفته استفاده شود. باید توجه داشت که تجهیزات مربوط به سیستم آلارم در داخل تابلوهای خاص که دارای پنجره های آلارم می باشد نصب می شوند.

در ابتدای عملکرد سیستم آلارم یکی از لامپهای تابلو روشن می شوند و همراه با آن نیز یک صدای : صفحه 30 خط اول : تولید می گردد. صدای اخیر را می توان از راه دور با فشار دادن accept-push در جلو تابلو قطع کرد (شکل D-3-7-4). به منظور تایید آلارم نور شدید که بر اثر روشن شدن لامپ ایجاد شده بود همچنان تداوم می یابد تا برجسب مقابل پنجره از کار انداخته شود اگر این عمل پس از اولین اتصال (کنتاکت) انجام شود منجر به خاموش شدن لامپ می شود. اما اگر RESET PUSH قبل از اولین کنتاکت فعال شود منجر به RESET شدن لامپ و خاموش ماندن آن میشود.



شکل C-3-7-4: دیاگرام مدار رله هشدار دهنده شکل C-3-7-4 (ساخت شرکت Reyrolle).

سیگنال reset کننده توسط تجهیزات رله ذخیره می شود و لامپ در هنگامی که اولین کنتاکت متعاقباً reset شود خاموش خواهد شد. در هنگام طرح ریزی نقشه های سیستم آلارم برای هر خط یک نماد یا نشانه بصورت مجزا اختیار می شود و آلارمهای مختلف شماره گذاری می شوند. هر آلارم ممکن است بر روی یک یا چند تابلوی آلارم نصب شود. طراحی بگونه ای است که تنها طرحهای اصلی و اساسی دارای دکمه از کار انداختن آلارم از راه دور هستند و برای سایر طرحها این امر امکان پذیر نیست.



شکل D-۷-۳-۴ نمونه ای از یک صفحه آلارم ۱۲ حالت

برای دستیابی به بیشترین مقدار فضای اقتصادی، معمولاً تجهیزات سیستم آلارم را برای ۵۰ ولت D.C طراحی می کنند. رله ها از نوع telephone type هستند. معمولاً این تجهیزات بصورت قائم نصب می شوند (بخاطر دلایل تجربی) اتخاذ به این ترتیب بخاطر نگهداری راحت تر صورت گرفته است. عموماً تجهیزات سیستم آلارم از نوع ترانزیستوری است معمولاً برای تست سلامتی عملکرد لامپها از یک دستگاه تست لامپ استفاده می شود. برای این منظور در هر تابلو یک push button نصب شده است. البته یک کلید از راه دور نیز برای این منظور تعبیه شده است.

تابلوها بر حسب نیاز برای ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ یا بیشتر طراحی می شوند. نمادهای آلارم معمولاً زرد رنگ هستند اما رنگهای سفید، قرمز یا هر رنگ دیگری را می توان بکار برد. معمولاً مسیرهای اضافی نیز توسط لامپها بر روی تابلو ایجاد می شوند. اما این مسیرها باید به گونه ای باشند که منجر به در هم شدن این مسیرها با لامپهای خطوطی که در حال سرویس دهی هستند نشوند. از این رو خطوط معمولاً توسط شماره یا سایر نمادها علامت گذاری می شوند.

۴-۴: ملاحظات کلی طرح

بر طبق 1996-BS 142 برخی از نیازهای عمومی رله های حفاظتی در زیر آورده شده است

۴-۴-۱: مقادیر نامی سیم پیچها

جریان نامی سیم پیچی رله ها بر طبق گفته استاندارد فوق از 2.1 تا 5 آمپر می باشد. رله های با جریان نامی 5 آمپر معمولاً در سیستم توزیع با ولتاژ 11 کیلو ولت بکار میروند. این رله ها برای نصب یا بسته شدن در روی سوئیچگیرهای بهم پیوسته که مقدار کمی داشته باشند بکار می رود.

برای حفاظت ژنراتور تحت شرایطی که جریان اولیه دارای مقدار نامی زیادی باشد استفاده از ترانس جریان با ثانویه کمتر از 5 آمپر نامی مطلوب است. بر طبق مطالب فوق می توان گفت که استفاده از سیم پیچی با جریان نامی 1 آمپر یا حداکثر 2 آمپر ارجح تر است. این امر باعث کاهش Burden اضافی می شود و از تأثیر گذاشتن روی رله جلوگیری می شود در نتیجه Burden کلی که بر روی CT ها تحمیل می شود نیز کاهش می یابد. این امر خود یک فاکتور مهم در حصول یک استاندارد بالا برای عملکرد سیستمهای بزرگ انتقال بحساب می آید. ولتاژ سیستم که در دو سر ترانسهای ولتاژ قرار می گیرد طبق روال معمول در بریتانیا دارای مقدار 110 ولت فاز به فاز یا 63.5 ولت فاز به زمین است.

۴-۴-۲: تغذیه های کمکی

ولتاژ نامی باتریها مطابق معمول برابر 30, 50, 110, 240 ولت است. انتخاب مقدار ولتاژ وابستگی زیادی به مقدار انرژی جریان DC مورد نیاز خواهد داشت. برای مثال مقادیر زیر برای موارد مختلف آورده شده است.

سیستم های توزیع	۳۰ VDC
تجهیزات رسانه ها	۵۰ VDC
سیستمهای بزرگ و همه مراکز شبکه	۱۱۰VDC
نیروگاهها	۲۴۰ تا ۱۱۰VDC

۳-۴-۴: تنظیم رله ها

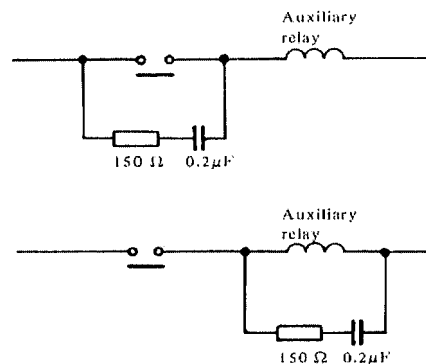
یکی از معمول ترین روشهای تنظیم رله استفاده از تپ سیم پیچی رله یا استفاده از یک ترانس کمکی است. تنظیم تپ به سادگی و توسط یک پل دو شاخه که در شکل H-۳-۲-۴ نشان داده شده است صورت می گیرد. پل به یک کنتاکت اتوماتیک مجهز شده است که بر روی بالاترین Set بسته می شوند تا قبل از کناره گیری و جدا شدن کامل دو شاخه از مدار. از باز شدن CT جلوگیری کند. معمولاً رله ها دارای ۷ تپ می باشند. هنگامی که سیم پیچی روی یک تپ خاص تنظیم می شود Burden رله در آن Set. تفاوت چندانی با حالتی دیگر نمیکند.

SET کردن رله ها را می توان با تغییر تنظیم نیروی کشش فنر انجام داد. از این روش بسته به نوع تجهیز با در نظر گرفتن تأثیر فنر بر روی سایر مشخصات آن نظیر زمان عملکرد و ... می توان استفاده نمود.

۴-۴-۴: کنتاکتها

یک رله حفاظتی باید دارای تعداد مناسبی از کنتاکت باشد. این کنتاکتها برای کلیه عملهای مورد نیاز در هنگام عملکرد رله باید مناسب باشند. پیش بینی تعداد زیادی کنتاکت نیاز به تحمل فشار زیاد بین کنتاکتها و همچنین نیاز به جدا سازی و تفکیک آنها از یکدیگر دارد. میزان بارگیری کنتاکتها باید خیلی کم باشد. زیرا بر اثر بارگیری های زیاد از کنتاکتها علاوه بر نیاز داشتن به یک رله حجیم با قدرت ورودی زیاد CT. Burden افزایش می یابد و در نتیجه خطای عمل کرد سیستم حفاظتی افزایش می یابد. بر طبق دلایل فوق و همچنین بر طبق ملاحظات اقتصادی معمولاً رله ها را با حساسیت بالا طراحی می کنند و در نتیجه میزان بارگیری کنتاکتها نیز کاهش می یابد. برای قطع و وصلهای حساس تر. از کنتاکتورهای سریع استفاده می شود. معمولاً اکثر قسمتهای کنتاکتهای رله را از نقره می سازند. زیرا دارای مقاومت پایین و ثبات و پایداری بالا (اکسید شدن در آن به کندی صورت می گیرد) می باشد.

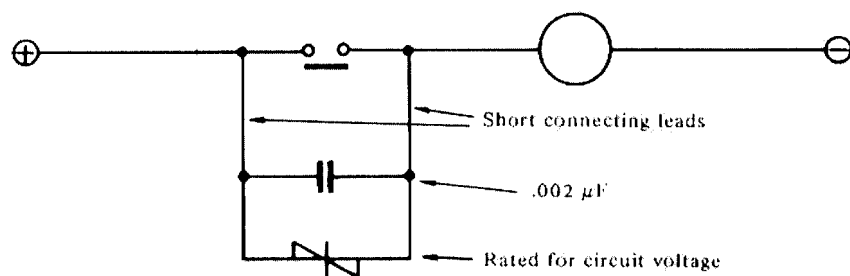
آلودگی هوا تأثیر منفی بر روی نقره خواهد داشت در نتیجه کنتاکتهای نقره بر اثر فشار یا ساییده شدن تغییر شکل خواهند داد و سطح موثر تماس آنها کاهش خواهد یافت. برای افزایش سختی نقره معمولاً ۱۰ تا ۱۵ درصد پالادیوم (Palladium) به آن اضافه کرده و از این آلیاژ در ساخت کنتاکتها استفاده می کنند. این آلیاژ بسیار سختتر از نقره است و ساییده نمی شود. در برخی از کنتاکتها در حالتی خاص بویژه هنگامی که بار اندوکتیو باشد از جرعه گیر استفاده می شود. مدار نشان داده شده در شکل A-۴-۴-۴ معمولاً بعنوان جرعه گیر بکار برده می شود. اگرچه مقادیر داده شده بعنوان نمونه بوده و تعیین مقادیر واقعی آنها از طریق تجربه و آزمایش امکان پذیر است.



شکل A-۴-۴-۴: دو نوع اتصال مختلف برای مدارهای قطع کننده قوس الکتریکی

هنگامی که کنتاكت باز است جریان سیم پیچی از طریق خازن عبور می کند و باعث شارژ آن می شود. در لحظات اولیه ولتاژ قرار گرفته در فاصله هوایی کنتاكت کم است ولی مقدار آن به سرعت افزایش خواهد یافت طوری که به ولتاژ خازن غلبه کند. در خازنهای خیلی کوچک بر اثر منتقل شدن انرژی سیم پیچی به خازن ولتاژهای گذرای زیاد تولید خواهد شد که این امر منجر به صدمه زدن به عایق یا بروز قوس در فاصله هوایی بین کنتاكت خواهد شد. ظرفیت خازنی معمولاً 0.2 میکرو فاراد در نظر گرفته می شود. مقاومت کنتاكتها را در برابر ذوب شدن یا بروز قوس ناشی از تخلیه خازن حفاظت میکند.

خازن و واحد metrosil بصورت موازی با یکدیگر هستند (شکل B-4-4) و میتواند بصورت موثر در برخی از وضعیتها مورد استفاده قرار گیرند. اما هنگامی می توان آنها را با کنتاكتهای رله بکار برد که ظرفیت خازن از مقدار ذکر شده کمتر باشد. عموماً ظرفیت خازن در هنگام استفاده از رله های القایی نباید بیش از 0.002 میکرو فاراد باشد. در هنگام استفاده از رله های آرمیچر جذبی ظرفیت این خازن حدود 0.005 میکرو فاراد میباشد.



شکل B-4-4: طرح یک نوع مدار قطع کننده قوس الکتریکی

4-4-5: پرچمهای نشانگر

پرچمهای نشانگر را برای کسب اطلاعات از عملکرد رله ها ایجاد می کنند. پرچمها معمولاً بصورت hand reset هستند و عمل reset شدن آنها از روشهای گوناگونی انجام می شود. یک پرچم ممکن است بصورت مکانیکی توسط المان اندازه گیری آزاد شود که این روش همیشه پاسخ نخواهد داد. همچنین عملکرد پرچم می تواند الکتریکی باشد درین سیستم با استفاده از یک کنتاکتور سریع که پرچم بر روی آن نصب شده برای آزاد کردن پرچم استفاده می شود. در شرایط خاص که نیاز به عملکرد چندین رله باشد باید پرچمهای جداگانه ای مورد استفاده قرار گیرد. عملکرد پرچمهای مکانیکی مقارن با عملکرد کنتاكت trip است. هر گونه اشتباه منجر به آزاد شدن بی موقع پرچم خواهد شد. همچنین پرچمها باید پس از reset شدن رله غیر قابل رویت شوند و بر عکس. پس از عملکرد رله باید بدون نیاز به زمان برای جستجوی آنها براحتی قابل رویت باشد از این رو باید در انتخاب طرح و اندازه آنها دقت کافی را مبذول داشت.

4-4-6: RESET کردن

اغلب رله ها از نوع Self reset هستند که reset کردن آنها تحت نیروهای کششی نظیر جاذبه، نیروی فنر یا سایر نیروهای از این دست صورت می گیرد. در طراحی برخی از رله ها از جفت و بستهای مکانیکی یا از نیروهای مغناطیسی الکترومغناطیسیها برای reset دستی استفاده میشود. در این نوع رله ها با کمک دستگیره یا با فشار دادن یک Push button موانع مکانیکی را بر طرف و باعث reset شدن رله ها میگردد همچنین ممکن است بصورت الکتریکی reset شوند. در این نوع رله ها یک الکترومغناطیس جدا کننده در صورت برقراردن منجر به رفع موانع و reset کردن رله می گردد.

4-5: رله های استاتیکی

این رله ها در سالهای دهه 30 (1930) مورد توجه قرار گرفت. یعنی هنگامی که تجهیزات الکترونیکی به حد کافی پیشرفت کردند و قابل استفاده در ساخت رله ها شدند. این رله ها دارای مزایایی به شرح زیر بودند:

- خاصیت تقویت کنندگی بیشتر بر روی سیگنال داشتند در حالی که به منبع تغذیه با قدرت کم نیاز داشتند. از این رو مصرف CT و PT کاهش یافت.
- دارای دقت و حساسیت بیشتری نسبت به سایر رله ها هستند.
- سرعت پاسخ دهی سریعی داشتند و قادر به تشخیص خطا در زمان کم بودند.
- به علت بالا بودن انعطاف پذیری در مدار آنها امکان ایجاد رله با مشخصه های مختلف وجود داشت.
- تعداد عملکرد این رله ها بر روی کارایی آنها تأثیر نمی گذاشت.

به مرور زمان تجربه نشان داد که این رله ها علاوه بر مزایای فوق دارای معایبی نیز هستند. معایب این رله ها عبارتند از :

- تأثیر پذیری از گرما و حرارت
- متاثر بودن از امواج گذرای ضربه
- نیاز به منبع تغذیه کمکی

گسترش در استفاده از رله های ترانزیستوری از سال ۱۹۵۰، یعنی زمانی که وضعیت المانهای نیمه هادی به شکل فوق العاده ای بهبود یافت صورت گرفت.

ترانزیستورهای سیلیکونی مدرن و مدارات مجتمع منجر به افزایش قابلیت اطمینان در استفاده از رله های استاتیکی تا سال ۱۹۶۰ شد. که این جهش مقارن با ظهور انواع جدید مدارهای نیمه هادی حفاظتی و کنترلی شد. امروزه از رله های ترانزیستوری برای حفاظت های خاص استفاده می شود.

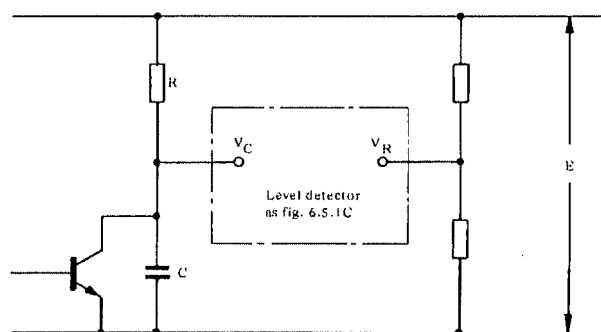
۴-۵-۱: مدار های پایه مورد استفاده

مشابه طرحهای الکترومکانیکی که عموماً بر اساس اجزاء مجزا از هم نظیر دیسک اندوکسیون، استکان القایی، رله های ارمیچر جذبی و... ساخته میشوند. رله های استاتیکی نیز دارای مدارات پایه می باشند. این مدارات منجر به بهبود بسیاری از ساختارها و طرحهای فشرده رله ها می شوند. در بسیاری از رله ها این مدارات بر اساس عملکرد ترانزیستورها ساخته می شوند اما امروزه رله های فوق العاده پیشرفته توسط نیمه هادی ها و در مراکز استاندارد تولید تقویت کننده ها و خانواده های لاجیکی، در شکل مدارات مجتمع ساخته می شوند.

افزایش روز افزون استفاده از این رله ها، در طرحهای حفاظتی و همچنین انعطاف پذیری تقویت کننده های بکار رفته در آنها، باعث شده است که این رله ها بصورت تجهیز مناسب برای رله گذاری شبکه ها بکار روند.

۴-۵-۱-۱: تایمرها

مدارات تأخیر زمانی که در رله ها بکار برده می شوند عموماً از نوع R.C (Resistance-Capacity) هستند. شکل A-۴-۵-۱ نشان دهنده نوعی از این مدارات است که ظرفیت خازنی، در این مدار با ولتاژ E که توسط R تنظیم می شود، شارژ می شود.

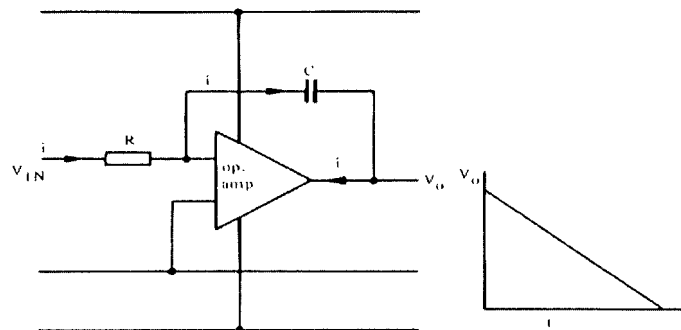


شکل A-۴-۵-۱: زمان سنج مقاومتی خازنی

۴/۲

زمان رسیدن به یک ولتاژ ثابت، مستقیماً به مدار R بستگی دارد که با تنظیم آن میتوان به تأخیر زمانی متفاوتی دست یافت. این تایمر به دو طریق شروع به کار می کند
با روشن کردن منبع d.c.
برطرف کردن اتصال کوتاه ناشی از روشن بودن ترانزیستور
که این عمل با دشارژ شدن خازن تا یک ولتاژ کم و در ظرف چند میلی ثانیه صورت می گیرد. روشن شدن ترانزیستور، منجر به reset کردن مدار خواهد شد.

شکل B-1-5-4 نشان دهنده یک تایمر از نوع MILLES است که در آمپلی فایر بکار می رود. در این مدار با یک مدار معین R، ولتاژ خروجی بصورت خطی کاهش می یابد و با اعمال ولتاژ V_m بصورت معکوس عمل می کند.



شکل B-1-5-4 : مدار زمان سنج با استفاده از OP-Amp

۴-۵-۱-۲ : آشکار سازهای سطح

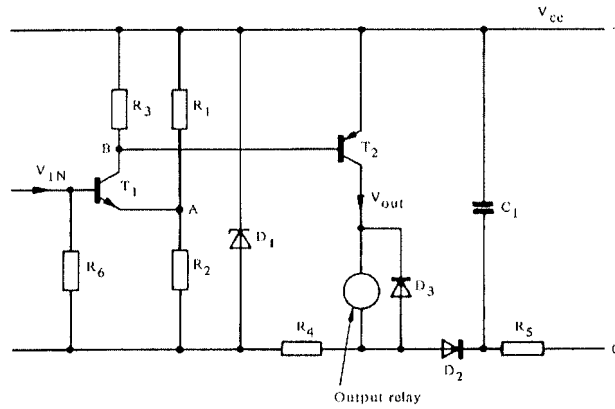
مقایسه گر سطح D.C برای مقایسه سطح موج D.C نسبت به میزان تنظیم شده آن بکار می رود. هنگامی که سطح ولتاژ ورودی افزایش یابد، خروجی که دارای مقدار صفر است، روشن میشود و مقدار آن افزایش می یابد. روشن شدن خروجی و آشکار شدن ولتاژ در دو سر آن با یک جریان فزاینده قابل توجه بین ورودی و خروجی همراه است. این جریان باعث شارژ شدن خازن می شود و مقدار آن حدود ۱ میکرو امپر است. در این هنگام رله آرمیچر جذبی که در خروجی واقع شده عمل میکند. شکل C-1-5-4 نشان دهنده مداری است که سطح drop-off آن نسبت به سطح pick-up به مقدار جزئی کوچکتر است.

شکل های D و E-1-5-4 نشان دهنده انواع دیگر مقایسه گر سطح اند که سطح drop-off آنها کسر ثابتی از سطح ولتاژ عملکرد آنهاست. برای ایجاد تفاوت در سطح drop-off میتوان از یک فیدبک که بین خروجی و سطح تنظیم شده آنها قرار گرفته است استفاده نمود.

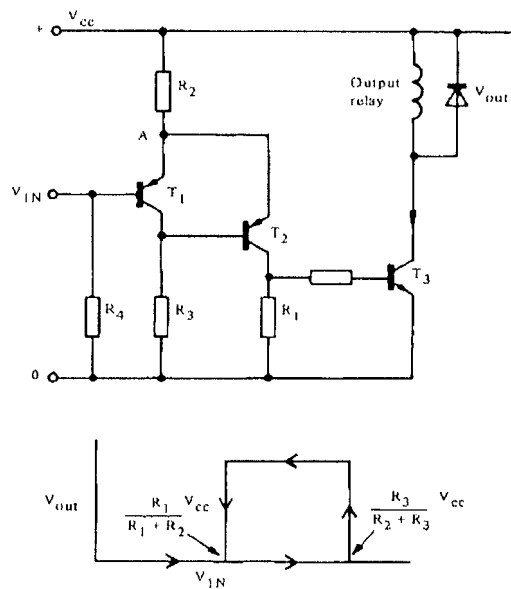
۴-۵-۱-۳ : مقایسه گرهای پلاریته

مقایسه گر پلاریته برای امواج ac و هنگامی بکار برده می شود که نیاز به تشخیص زمان عبور موج از نقطه باشد. مدار مربوط به این مقایسه گر در شکل G و F-1-5-4 نشان داده شده است. این مدار را می توان به عنوان مقایسه گر سطح با حساسیت بسیار زیاد در تجهیزاتی نظیر رله های تغییر تپ ترانسفورمرها که عملکرد آنها بر مبنای یک مقایسه بسیار دقیق

موج ولتاژ با مقدار مرجع است. مورد استفاده قرار داد. شکل F-1-5-6 نوع ترانزیستوری این مقایسه گر را نشان می دهد. این مدار یک ورودی خیلی کم در حد چند میلی ولت نیاز دارد (یک ولتاژ مثبت در مقایسه با B) تا TR4 را به اشباع برسد.

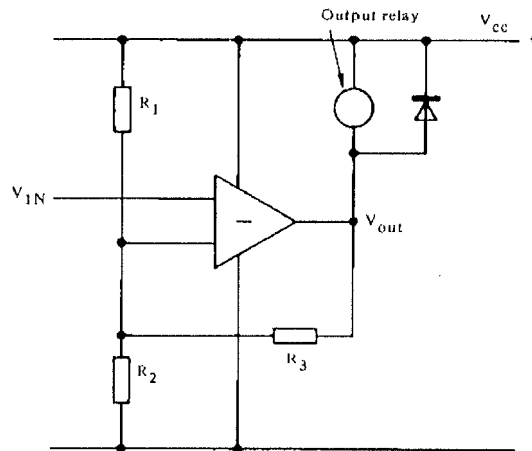


شکل C-1-5-4

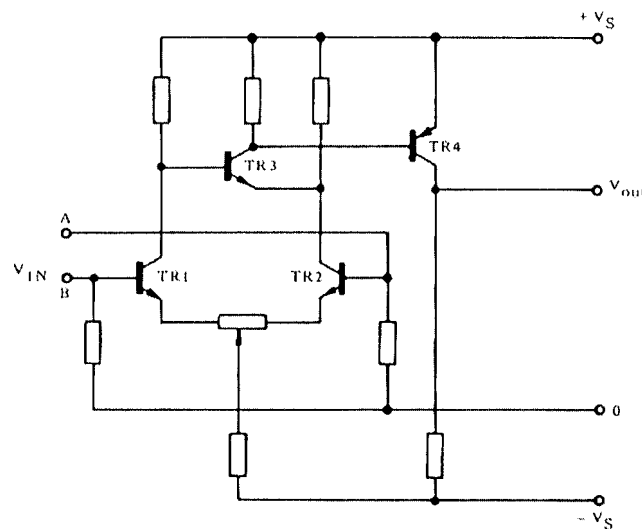


شکل D-1-5-4: آشکار ساز سطح با مقدار تنظیمی مشخص اختلاف سطح

حتی توسط تقویت کننده نیز میتوان یک مقایسه کننده خیلی حساس ایجاد کرد که دارای فید بک نیز نباشد. (شکل G-4-1) در این حالت اگر پلاریته ورودی تغییر یابد پلاریته خروجی نیز معکوس می شود. و از $+13V$ به $-13V$ تغییر می یابد.



شکل E-1-5-4: نوع دیگری از آشکار ساز سطح با مقدار تنظیمی مشخص اختلاف سطح



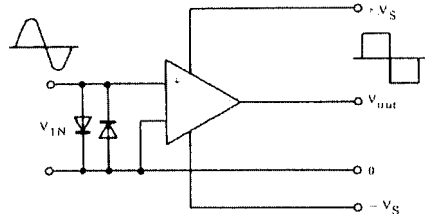
شکل F-1-5-4: آشکار ساز پلاریته (با استفاده از ترانزیستور)

4-1-5-4: مقایسه گرهای فاز

این مقایسه گر برای مقایسه فاز دو موج ac ورودی و تعیین اینکه آیا با هم اختلاف فاز دارند یا نه بکار برده می شود. از آنها می توان برای تولید امپدانس غیر مستقیم و نیز دستیابی به مشخصه های گوناگون رله های دیستانس استفاده کرد. (شکل D-7-6-8) مقایسه گر فاز را می توان در رله های جهت دار نیز مورد استفاده قرار داد.

عموماً مقایسه گرهای فاز را در رله های استاتیکی بکار می برند. که این نوع مقایسه گرها دیودی هستند و در شکل A-7-4 آورده شده اند. در این مقایسه گرها اندازه خروجی توسط میزان کردن ورودی ها تغییر می یابد و مقدار لحظه ای آن همیشه کمتر از دو ورودی است. خروجی شامل یک قسمت AC و یک جزء DC مربوط به حالت ماندگار است. پلاریته بخش DC هنگامی که اختلاف فاز دو موج 90 درجه باشد تغییر می یابد. در این اختلاف فاز پریرود زمانی هنگامی که خروجی مثبت است با پریرود زمانی هنگامی که خروجی منفی است برابر است.

مدار لاجیکی مورد استفاده که توسط مدارات مجتمع ایجاد شده در شکل H-1-5-4 نشان داده شده است. دو گیت ex-or (بای انحصاری) بازای موج مربعی ورودی دارای نقطه عبور صفر یکسانی هستند. شکل سیگنالهای خروجی این گیتها A و C توسط B و C معکوس می شوند و توسط گیت NAND در هم ضرب می شوند. سرانجام خروجی این مدار هنگامی که دو موج مربعی دارای اختلاف فاز باشند مخالف صفر و در غیر این صورت خروجی صفر خواهد بود. برای معین کردن نقاط 90+ و 90- لازم است هنگامی که نسبت mark space موج خروجی از مقدار واحد گذشت را تعیین نمود.



شکل G-1-5-4: آشکار ساز سطح با استفاده از Ap-Amp

اگر ورودی نرمال باشد سیگنالهای موج مربعی X و Y بین مقادیر مثبت و منفی موج ولتاژ نوسان می کنند. ولی اگر ورودی صفر باشد موجهای X و Y مقدار صفر را اختیار میکنند.

سیگنال ولتاژ وارد شده به گیت های OR را در صورتی که دارای پلاریته مثبت باشد با ارزش یک و اگر منفی باشد با ارزش صفر نشان می دهیم. مطابق مدار، سیگنال ولتاژ صفر نسبت به گیت OR فوقانی منفی است و بنابراین یک ورودی صفر تولید می شود. ولی همین سیگنال نسبت به OR تحتانی مثبت است و بنابراین یک ورودی یک تولید می شود. مطابق جدول درستی می توان پاسخ گیتهای ex-or را نسبت به ورودی های مختلف مشاهده کرد و پاسخ گیت NAND در شکل H-1-5-4 در زیر دیاگرام آورده شده است. موجهای مربعی X و Y مشابه دو موج ورودی بوده و دارای تغییر فاز نسبی هستند. این دو موج همراه با موج خروجی E در شکل H-1-5-4 نشان داده شده اند.

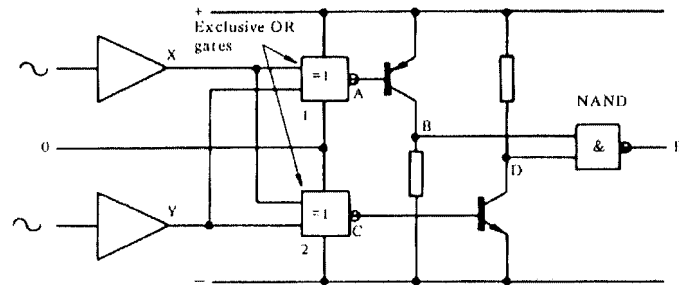
جدول درستی مربوط به موج خروجی نحوه عملکرد مدار را در حالت های مختلف برای ایجاد این موج بیان می کند. در یک سیکل با ترکیب پلاریته های مختلف چهار حالت ایجاد می شود که این حالتها با اعداد یک الی چهار مشخص شده اند. پاسخ هر یک از این چهار حالت نیز در شکل آورده شده است. باید به خاطر داشت که ترانزیستورها عملکرد گیتهای ex-or را دنبال می کنند و باعث معکوس شدن سیگنالهای A و C و تبدیل آنها به سیگنالهای B و D میشوند.

شاید در مراحل اولیه به نظر آید که فرایند تکرار در عملکرد این مدار ضروری نیست اما به منظور پوشش دادن به حالت های خاص این فرایند ضروری به نظر می رسد. مثلاً در هنگامی که هیچ یک از خروجیها صفر نباشند توسط گیت ex-or یک خروجی متغیر با زمان و به مدت نیم سیکل تولید می شود که این موج با شرایطی که در آن ضرب قدرت پایین است قابل تمایز نیست. آخرین جدول درستی نشان می دهد که این شرایط چگونه توسط فرایند تکرار در مراحل اولیه مقایسه پوشش داده می شود. در این حالت ورودی صفر است و بر اساس آنچه که در بالا شرح آن گذشت نسبت به گیت OR بالایی دارای ارزش صفر و نسبت به گیت پایینی دارای ارزش یک است. در این حالت توسط گیتهای NAND یک سیگنال با ارزش یک بطور دائم تولید می شود.

5-1-5-4: انتگرال گیر

شکل I-1-5-4 یک بلوک دیاگرام کامل از مدار مقایسه کننده را نشان میدهد آشکار ساز سطح یک موج مربعی تولید می کند که خروجی آن دارای نسبت Mark Space مختلفی خواهد بود. این نسبت وابسته به فاز ورودی ها خواهد بود. اگر یک شکل موج با نسبت Mark Space واحد به انتگرال گیر داده شود (شکل G-1-5-6) سرعت شارژ و دشارژ خازن در آن یکسان خواهد بود و خروجی به شکل مثلثی بدون جز، DC خواهد بود. اگر نسبت Mark Space بزرگتر از یک باشد موج مثلثی در

جهت مثبت افزایش خواهد یافت. سرعت حرکت این موج به اختلاف میان نسبت موج ورودی و یک وابسته است. برای آشکار کردن این حرکت از یک آشکار کننده سطح مطابق شکل ۴-۵-۱-D یا ۴-۵-۱-E استفاده می شود. لازم است که مقدار Drop off از مقدار Pick up کمتر باشد تا بتوان از تداوم موج خروجی مطمئن بود.



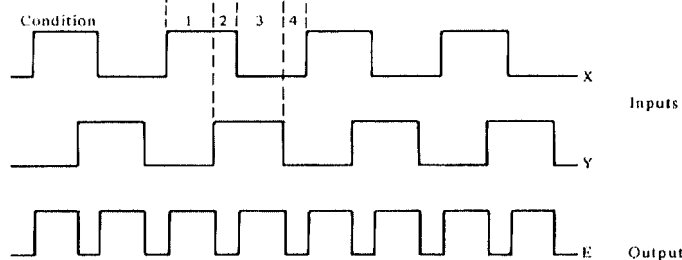
With input signal x & y swing between + & - rails
With no input, x & y assume zero rail potential

Truth tables - exclusive OR

X	Y	A or C
0	1	1
1	0	1
0	0	0
1	1	0

NAND

B	D	E
0	1	1
1	0	1
0	0	1
1	1	0



Condition	X	Y	A	B	C	D	E	Result
1	1	0	1	0	1	0	1	Restrain
2	1	1	0	1	0	1	0	Operate
3	0	1	1	0	1	0	1	Restrain
4	0	0	0	1	0	1	0	Operate

Output truth tables

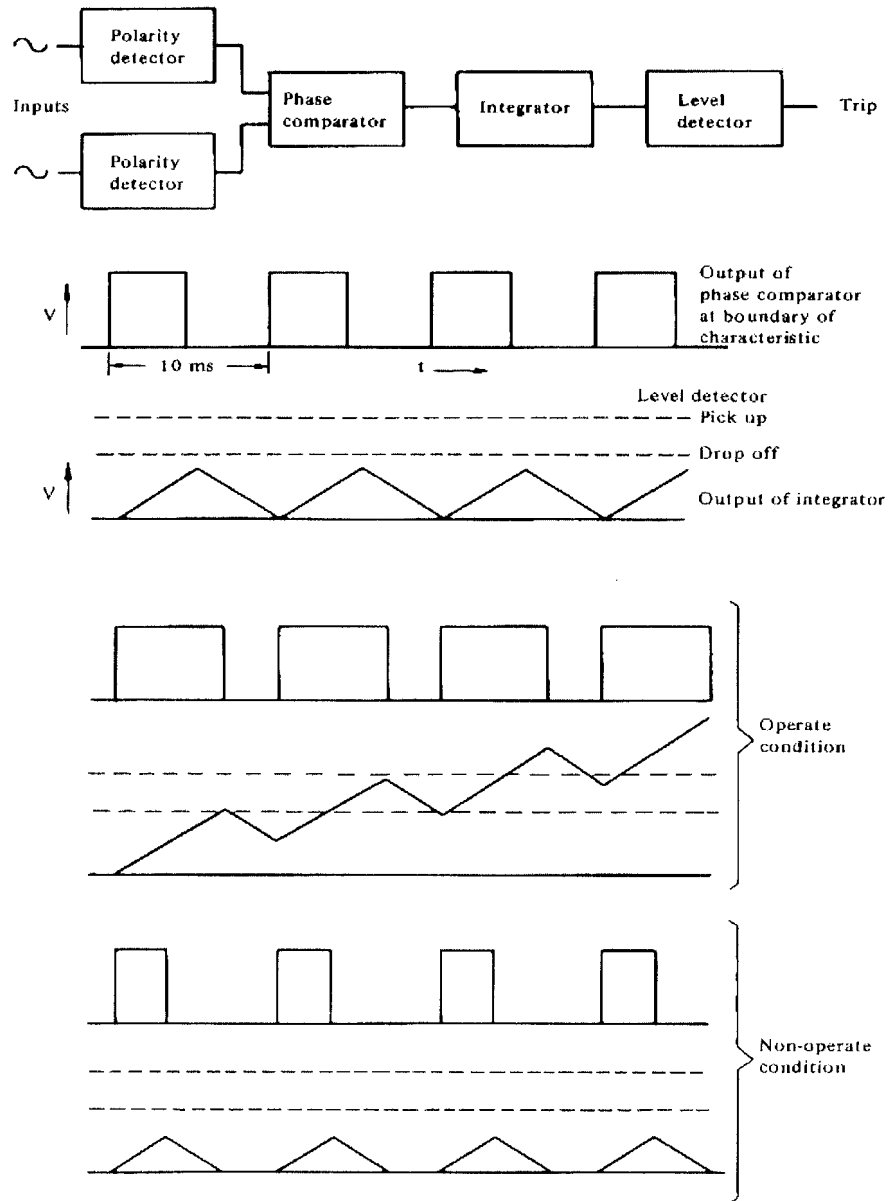
Voltage or current only

Condition	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	A	B	C	D	E	Result
+ 1/2 cycle	1	0	1	1	1	0	0	1	1	Restrain
- 1/2 cycle	0	0	0	1	0	1	1	0	1	Restrain

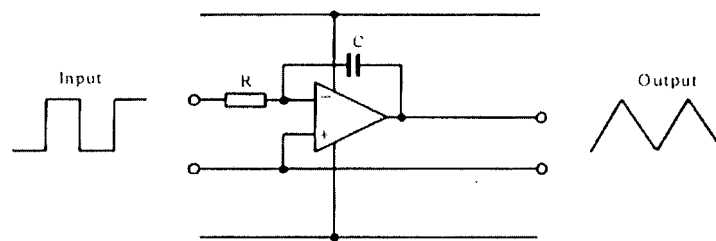
شکل H-۱-۵-۴: مقایسه گر فاز مورد استفاده در منطق واحد

۴-۵-۲: اجزاء، سیستمها

پس از گذشت ۲۰ سال بر اثر فشارها و محدودیت هایی که از جهات مختلف بر روی سازندگان تجهیزات الکترونیکی وارد شده باعث شد تا اجزائی که این سازندگان عرضه می کنند دارای ابعاد کوچک تر و قابلیت اطمینان بالاتری باشد. به منظور پشتیبانی از این طرح شیوه های مختلف تست پایداری اجزاء، ساخته شده ابداء، شد. تجهیزاتی که در ابتدا ساخته می شدند بسیار گران بودند اما استفاده از تکنیکهای جدید در ساخت و افزایش تقاضا منجر به افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات برای رله های حفاظتی شد. عموماً عمر سرویس دهی رله ها باید ۲۰ سال در نظر گرفته شود. این در حالی است که نظارت و کنترل بر عملکرد آنها محدود در نظر گرفته شده است. در پایان این مبحث باید به این نکته اشاره کرد که اجزاء و سازنده های تشکیل دهنده رله ها را باید متناسب با اهدافی که برای طرح مورد نظر در نظر گرفته می شود انتخاب کرد.



شکل ۱-۱-۵-۴: عملکرد آشکار ساز فاز



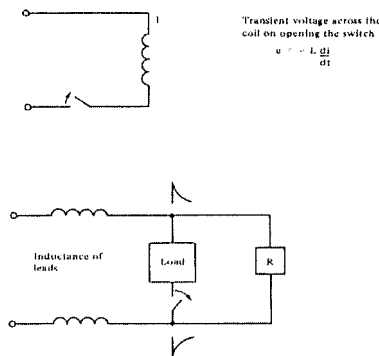
شکل ۱-۱-۵-۴: مدار انتگرال گیر

۳-۵-۴: اضافه ولتاژهای و اثرات تداخل آنها

عناصر نیمه هادی تحت جریان ولتاژ نامی دارای عملکرد مطمئنی هستند. اما به علت پایین بودن جرم حرارتی آنها بر اثر افزایش پیک ولتاژ حتی بصورت آنی وزودگذر شدت آسیب خواهند دید. بنابراین باید در برابر هر گونه اضافه ولتاژ گذرا حفاظت شوند. همچنین مداخله امواج با فرکانسهای بالا نیز برای تجهیزات زیان آور است از این رو باید توجه ویژه ای در طراحی این مدارات و بر طبق استانداردهای مطمئن صورت گیرد. استانداردهای خاصی نیز برای تست این تجهیزات تدوین شده است.

۴-۵-۳-۱: منبع ولتاژهای گذرا

شکل A-۴-۵-۳ نحوه تولید emf ناشی از قطع جریان DC را در بارهای القایی و سیم کشی نشان می دهد. این emf باعث سوزنی شکل شدن شکل موج ولتاژ در ترمینالهای رله می شود. شکل A-۴-۳-۲ نشان می دهد که چگونه یک اتصال زمین بر روی باتری با بایاس منفی باعث تخلیه ظرفیت خازنی سیم کشی در سیم پیچی اندوکتیو رله شده که خود باعث ایجاد رزونانس با فرکانس بسیار بالا می شود.

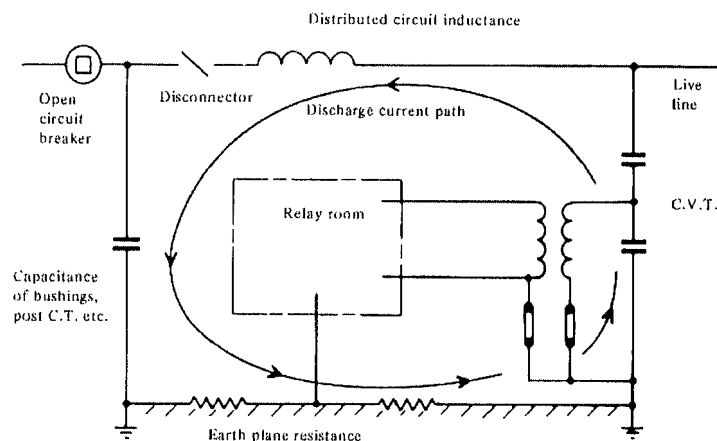


شکل A-۴-۵-۳: ولتاژ سوزنی القایی بوسیله سوئیچینگ بارهای کمکی

باز و بسته کردن کلیدهای فشار قوی منبع عمده ایجاد نویزهای با فرکانس بالا است. در حقیقت بعلت وجود سیستم الکترومغناطیسی و قطع و وصل جریان در آن ایجاد نویز می کند. شکل B-۴-۵-۳ نشان می دهد که چگونه باز کردن یک کلید باعث ایجاد یک جریان گردشی در بین ظرفیتهای خازنی بوشهای C.V.T و C.T و اندوکتانس مدار می شود.

۴-۵-۳-۲: تستهای استاندارد

به منظور مطمئن بودن از عملکرد رله ها تحت شرایط فوق دو نوع تست مخصوص بر روی رله انجام می شود. یکی از آنها BEAMA-219 نام دارد که توسط IEC انتخاب شده است. طبق این استاندارد یک ولتاژ ضربه فشار قوی برای سنجش توانایی اجزاء رله تولید می شود که اجزاء رله باید در برابر آن بدون آسیب دیدگی مقاومت کنند. این ولتاژ ضربه دارای پیک ۵ کیلو ولت (در حین باز بودن مدار) می باشد. امیدانس منبع نیز باید ۴۰۰ اهم باشد. این ولتاژ باید سه مرتبه با پلاریته های مثبت و منفی در دو سر ترمینالهای مدار اعمال شود. این عمل باید برای کلیه مدارات مجزا و کل مدار و محافظ (زمین) انجام شود.



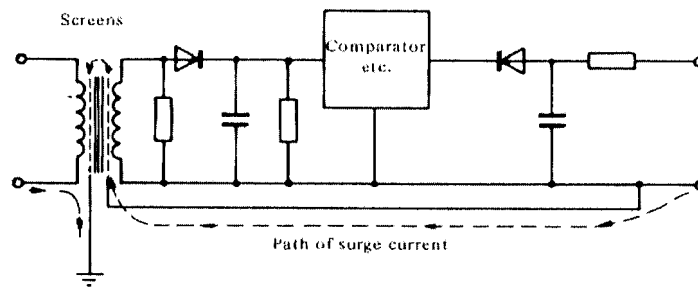
شکل B-۴-۵-۳: دشارژ نوسانی بوسیله ایزولاتور بسته

آزمایش دوم نیز تحت شرایط یکسان و با یک رله برقرار شده صورت می گیرد. این آزمایش برای چک کردن عملکرد رله و با اعمال ولتاژهای ضربه با فرکانس بالا به رله صورت می گیرد. فرکانس این ولتاژها حدود ۱ مگاهرتز می باشد. پیک این ولتاژ

برای ترمینالهای مدار حدود یک کیلو ولت برای انجام آزمایش بر روی مدارهای مجزا حدود 2.5 کیلو ولت است. طول انجام این آزمایش حدود 2 ثانیه است.

۴-۵-۳-۳: حفاظت در برابر امواج گذرا

اثر ولتاژ گذرای داخلی ناشی از تجهیزات اندوکتیو را می توان با یک دیود که emf ذکر شده در مطالب قبل را محدود می کند کاهش داد. امواج سوزنی با پرید کم و فرکانس زیاد در بین ترمینالهای مدارها را میتوان بکمک یک فیلتر پایین گذر حذف کرد. میتوان از مقاومت های سیم پیچی شده کربنی بجای مقاومت های فیلامانی (پوسته ای) استفاده کرد. این مقاومتها در برابر ولتاژ های گذرا مقاومند. خازنها باید از نوع "خود تطبیقی" باشند. شکل ۴-۵-۳-C شکل خلاصه شده یک فیلتر عبور دهنده جریانهای فرکانس بالا را نشان می دهد.



شکل ۴-۵-۳-C: فیلتر عبور دهنده جریانهای فرکانس بالا

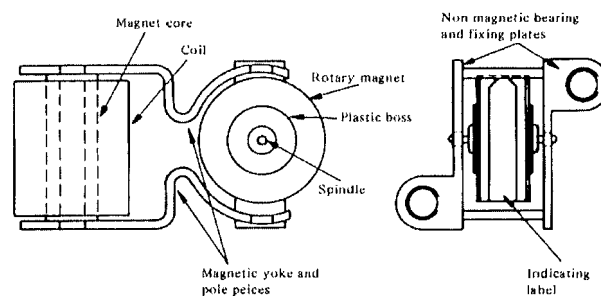
۴-۵-۴: مدارهای خروجی و آشکار ساز

سیستم خروجی رله های سریع باید سه نیاز زیر را برآورده کند:

- عملکرد سریع در کمتر از ۲ تا ۳ میلی ثانیه
- قابلیت قطع دادن مستقیم بریکر
- قابلیت عملکرد برای دفعات زیاد و نگهداری آسان

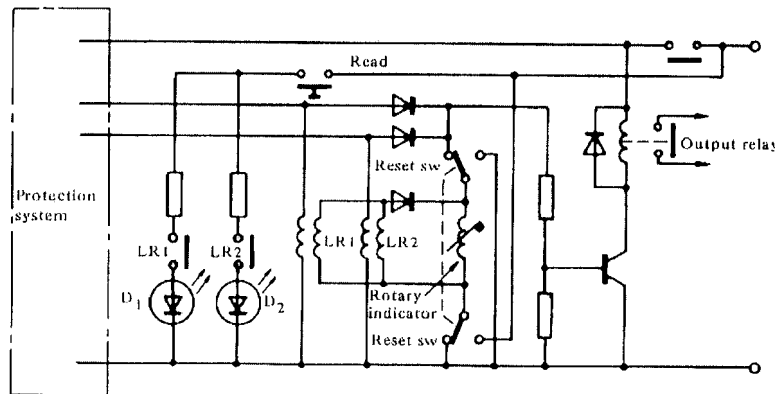
تریستورها برای برآورده کردن نیازهای فوق مناسبند اما برای عملکرد با قابلیت اعتماد بالای مدارهای تریستوری باید این مدارها را با مدارهای پیچیده ای پوشش داد. طرحهای مختلفی برای این منظور ساخته شده اند. رله های mercury-wetted-reed و dry reed از این دسته اند.

در شکل ۴-۵-۴-A آشکار ساز دورانی الکترومغناطیسی برای نشان دادن عملکرد رله های استاتیکی نشان داده شده است. در این آشکار ساز از یک مغناطیس دائم استوانه ای برای ایجاد میدان مغناطیسی استفاده میشود. این مغناطیس استوانه ای روی محوری قرار می گیرد و می تواند در هنگام برقرار شدن سیم پیچ حول محور خود دوران کند. برای Reset کردن این آشکار سازها میتوان سیم پیچ را با جریانی معکوس تغذیه کرد.

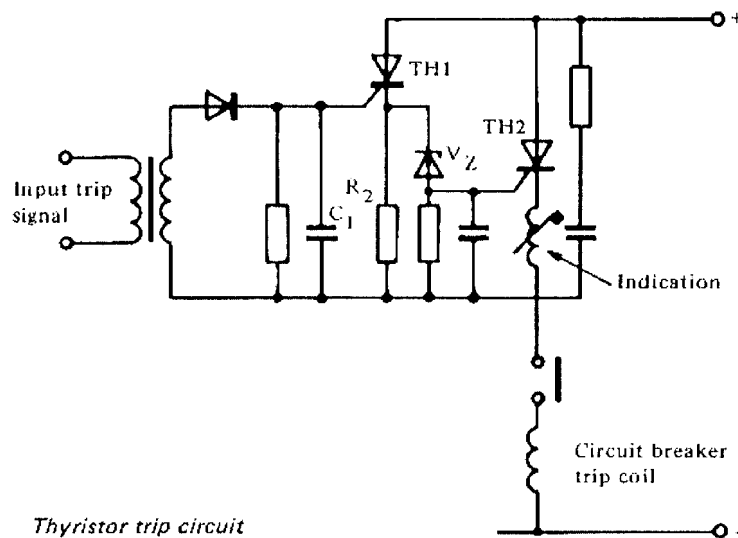


شکل ۴-۵-۴-A: آشکار ساز عملکرد

در طرحهایی که چنین المان حفاظتی در آنها شرکت دارند می توان برای آشکارسازی هر یک از المانها از دیودهای نورانی (LED) و یا ترکیبی از دیودهای نورانی و آشکارساز دورانی استفاده کرد. در شکل ۴-۵-۴-B مدار یک آشکارساز با دو ورودی از این نوع نشان داده شده است. در شکل ۴-۵-۴-E یک مدار خروجی ترستوری تک کاناله نشان داده شده است. پالس آتش ترستورها از طریق یک ترانسفورماتور ایزوله کننده اعمال میشود و CI مانع از پالسهای اضافی می شود.



شکل ۴-۵-۴-B: مدار خروجی آشکارساز با LED



شکل ۴-۵-۴-C: مدار قطع ترستوری

۶-۴: کاربردها و مشخصه ها

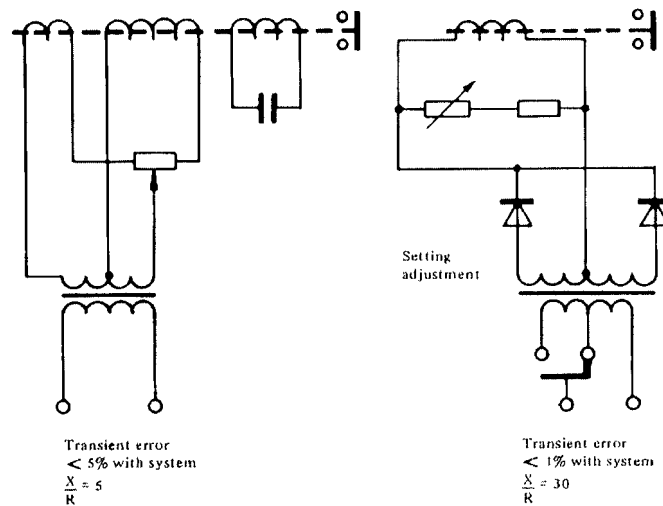
در این فصل تاکنون رله ها به عنوان تجهیزاتی ایزوله مورد بررسی قرار گرفت و در زمینه ای غیر از کاربردهای ضروریشان بحث نشد. میتوان از اجزاء مختلف رله برای ایجاد مشخصه های متنوع استفاده کرد. در این بخش به بحثی تخصصی در مورد مشخصه های رله ها می پردازیم. رله ها معمولاً گیتهایی از سیستم قدرتی که در آن قرار دارند را اندازه گیری کرده و در موقع لزوم عملکردی متناسب با آن از خود نشان می دهند. در برخی رله ها یک کمیت و در برخی دو کمیت یا بیشتر اندازه گیری میشوند. در برخی از رله ها نیز مقادیر اندازه گیری شده در محدوده ای از زمان با هم جمع می شوند.

در مواردی که رله بیش از یک کمیت را مورد اندازه گیری قرار می دهد. میتوان از حاصل جمع. یا تفریق. ضرب یا تقسیم کمیتها برای تعیین وضعیت عملکرد رله استفاده کرد. (همانند رله های دیستانس)

۴-۶-۱: رله های جریان و ولتاژ آنی (Instantaneous)

اندازه گیری یک کمیت در طرحهای حفاظتی جریان زیاد و ولتاژ پایین انجام میشود. برای پاسخ آنی معمولاً رله های آرمیچری مناسبند. در این رله ها می توان با استفاده از تپ یا فنرهای مقاوم با ضریب های مختلف setting های مختلفی ایجاد کرد. در حالتی که از تپ استفاده می شود. ولت آمپر مصرفی رله در تپ های مختلف ثابت است. اما در حالت فنر متغیر. بسته به setting های مختلف. این مقدار فرق می کند زیرا در مقاومت های بالاتر فنر. برای به حرکت در آوردن رله. انرژی بیشتری مورد نیاز است. گاهی در رله های ولتاژ. برای کاهش اثر تغییرات دما و ولتاژ و فرکانس بر امیدانس مدار عملگر. مقاومت بصورت سری با سیم پیچ قرار می گیرد. این رله ها بسته به مقاومت نصب شده BURDEN بزرگتری دارند. زمان عملکرد این رله ها در Setting سه برابر رله. حدود 0.01s است.

برای قطع سریع در برخی فیدر ها. از رله های آنی استفاده می شود. setting این رله ها معمولاً بالاست. همچنین بعلت وجود شرایط گذرا. باید setting رله متناسب با این شرایط در نظر گرفته شود. شکل ۱-۶-۴ مدار رله هایی که برای ایجاد ایمنی بسیار بالا در برابر شرایط گذرا مورد استفاده قرار می گیرند. نشان می دهد.



شکل ۴-۶-۱: رله های آنی مخصوص شرایط گذرا

۴-۶-۲: اندازه گیری دو کمیت

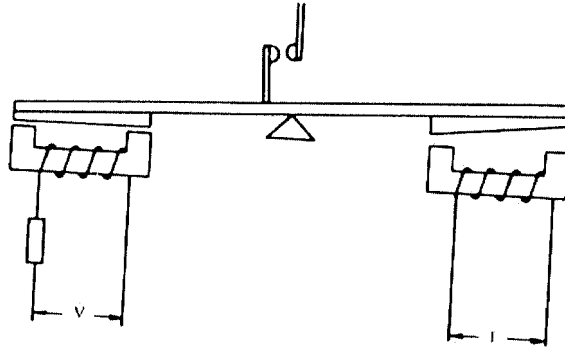
در ابزار های اندوکسیون. اندازه گیری حاصل ضرب کمتهای ورود بصورت می گیرد. برای مثال اگر با ولتاژ و جریان سیستم تغذیه شوند. پاسخی متناسب با $Vicos\Phi$ می دهند. رله نوع الاکلنگی که در شکل ۲-۶-۴ نشان داده شده است بر اساس اختلاف مقادیر اندازه گیری شده کار می کند چرا که در گشتاورهای ایجاد شده از هر یک. با یکدیگر مخالفت میکنند. هنگامی که نیروهای ایجاد شده از این دو کمیت با هم برابرند (در تعادل هستند) داریم:

$$K_1 I = K_2 V$$

یعنی

$$V/I = K_2/K_1$$

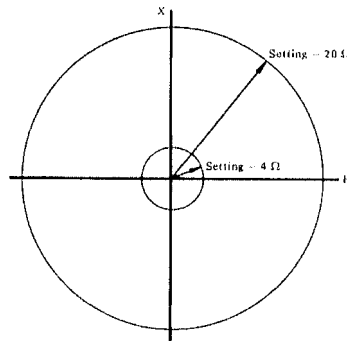
اگر المان متحرک حساسیت کافی را داشته باشد. در صورت وجود عدم تعادل بین دو کمیت. اهرم به یکی از جهات متمایل خواهد شد. در عمل. در رله های دیستانس ساختار فوق به گونه ای سازماندهی می شود که در صورتیکه نسبت از مقدار کالیبراسیون کمتر شود. رله عمل نماید. ولتاژ به سیم پیچ مقاوم و جریان به سیم پیچ عمل کننده اعمال می شود.



شکل ۲-۶-۴: اصول رله های الاکلنگی

۳-۶-۴: مشخصه های عملکرد

پاسخ هایی که بیش از دو متغیر ندارند را می توان بصورت دیاگرامهایی ترسیم کرد و در مواقعی بیش از دو متغیر وجود دارند ناچار به گزینش مهمترین فاکتورها هستیم. اغلب رله های دیستانس برای محاسبه نسبت ولتاژ به جریان مورد استفاده قرار می گیرند اما پاسخ آنها می تواند نسبت به ضریب توان و زاویه فاز حساس باشد. در این موارد میتوان نسبت ولتاژ به جریان را بصورت امیدانس در نظر گرفته و آن را متناسب با زاویه فاز نمایش داد. این کار را می توان با رسم دیاگرام Argand بطوری که محورهای حقیقی و موهومی به ترتیب محورهای مقاومت و راکتانس در نظر گرفته شوند. انجام داد. سطح حاصله " سطح مختلط " گفته می شود. شکل ۳-۶-۴ مشخصه یک رله امیدانسی را در سطح مختلط نشان می دهد. هر گونه اعوجاجی در این منحنی دایره ای ناشی از خطای مربوط به ضریب توان می باشد. رله هایی که عمل اندازه گیری ضرب یا تقسیم کمیت های ورودی را انجام میدهند. مقایسه گر (Comparator) نامیده می شوند. رله الاکلنگی نمونه ای از رله های مقایسه گر دامنه است. رله های اندوکسیونی از نوع مقایسه گر فاز می باشند.



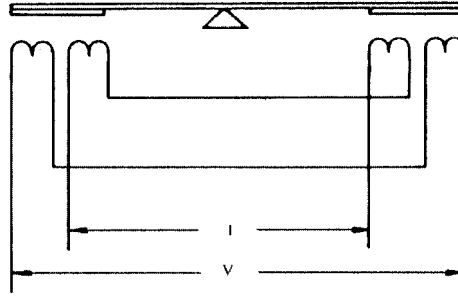
شکل ۳-۶-۴: منحنی مشخصه کار رله امیدانسی

۴-۶-۴: مقایسه گرهای چند ورودی

رله الاکلنگی (اهرم متعادل) را می توان طوری ساخت که بصورت یک مقایسه گر فاز عمل کند. شکل ۴-۶-۴ رله ای را نشان می دهد که در هر سمت آن دو سیم پیچ وجود داشته و با سیگنالهای مختلف تغذیه می شوند. شرایط تعادل هنگامی برقرار است که:

$$K_1 I_1 + K_2 I_2 = K_1 I_1 - K_2 I_2$$

تا زمانی که I_1 و V با پلاریته نشان داده شده باشند. سمت چپ رابطه فوق از سمت راست آن بزرگتر خواهد بود و رله بدون عملکرد باقی می ماند. در صورتیکه پلاریته نسبی جریان معکوس شود. سمت راست معادله بزرگتر شده و رله عمل می کند. به طریق مشابه با کمک تغذیه یک المان اندوکسیون با سیگنالهای مختلط. می توان یک مقایسه گر دامنه ساخت. حال به بررسی دقیق مقایسه گر دامنه با ورودیهای مختلط خواهیم پرداخت. در اینجا ولتاژ و جریان می تواند هر زاویه فازی داشته باشند.



شکل ۴-۶-۴: رله الاکتیگی مقایسه گر دامنه

مقایسه گر دامنه عمومی:

سیگنالهای مختلط جریان و ولتاژ به طرفین مقایسه گر دامنه اعمال شده و تا هنگامی که این سیگنالها معادلند اهرم در تعادل است. در این حالت داریم:

$$K_1I + K_2V = K_3I + K_4V$$

با تقسیم طرفین بر I و با توجه به رابطه $(R+JX)$ داریم:

$$V/I = Z =$$

$$K_1 + K_2(R+JX) = K_3 + K_4(R+JX)$$

$$(K_1 + K_2R) + JK_2X = (K_3 + K_4R) + JK_4X$$

$$(K_1 + K_2R)^2 + K_2^2 X^2 = (K_3 + K_4R)^2 + K_4^2 X^2$$

$$K_1^2 + K_2^2 R^2 + 2K_1 K_2 R - K_3^2 - K_4^2 R^2 - 2K_3 K_4 R + K_2^2 X^2 - K_4^2 X^2 = 0$$

$$(K_2^2 - K_4^2)R^2 + (K_2^2 - K_4^2)X^2 + 2(K_1 K_2 - K_3 K_4)R + (K_1^2 - K_3^2) = 0$$

می توان رابطه فوق را با معادله دایره بصورت:

$$X^2 + Y^2 = 2gx + 2hy + C^2 = 0$$

مقایسه کرد. جایی که $X=R, Y=X$

$$g = (k_1 k_2 - k_3 k_4) / (k_2^2 - k_4^2)$$

$$h = 0$$

$$C^2 = (K_1^2 - K_3^2) / (K_2^2 - K_4^2)$$

به این ترتیب منحنی مشخصه در صفحه RX بصورت دایره ای به مرکز $(-g, -h)$

$$(k_3 k_4 - k_1 k_2) / (k_2^2 - k_4^2), 0$$

و شعاع

$$\sqrt{(g+h-c)} = (k_1 k_4 - k_2 k_3) / (k_2^2 - k_4^2)$$

خواهد بود.

اگر $K_1 = K_3$ شعاع دایره برابر $-g$ خواهد بود و از مرکز می گذرد.اگر $K_1 = K_3$ شعاع دایره از مرکز عبور نخواهد کرد.اگر $k_1 = k_3$ و $K_2 = -K_4$ باشد خواهیم داشت:

$$-g = (k_3 k_4 - k_1 k_2) / (k_2^2 - k_4^2)$$

$$= k_1 (k_4 - k_2) / ((k_2 + k_4)(k_2 - k_4))$$

$$=-k_1/(k_2+k_4)=-k_1/0=\infty$$

و

$$\text{شعاع}=(k_1k_4-k_2k_3)/(k_2^2-k_4^2)$$

$$=k_1(k_4-k_2)/(k_2+k_4)(k_2-k_4)=\infty$$

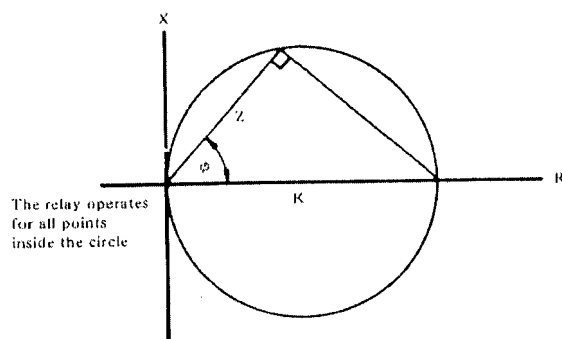
که در این حالت مشخصه خطی است و از مرکز عبور می کند. (مشخصه جهت دار است).

۴-۶-۵-۰ رله دیستانس

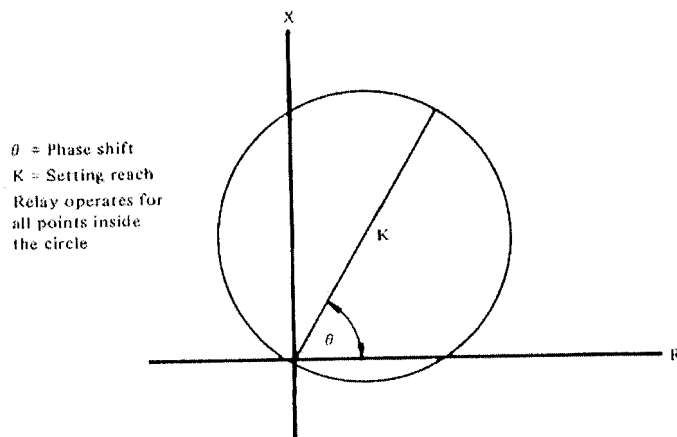
در بخش قبلی دیدیم که چگونه رله می تواند به امپدانس سیستم پاسخ دهد. رله امپدانس ساده مشخصه دایره ای و هم مرکز با مرکز مختصات دارد. (شکل ۴-۶-۳) رله mho که توسط Warrington اختراع شده است. از یک رله اندوکسیوننی همراه با یک مغناطیس عملکرد و اتمتر و یک الکترومغناطیس تغذیه شده ولتاژ تشکیل می شود. رله بر اساس رابطه زیر عمل می کند.

$$\text{Cos}\Phi = V/(KI) = Z/K \text{ و } KV \text{Icos}\Phi = V^2$$

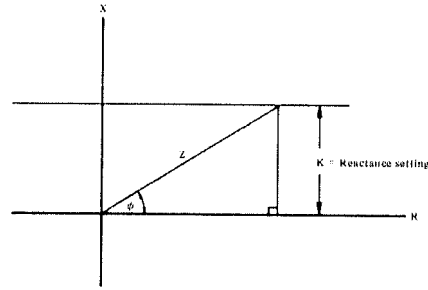
شکل ۴-۶-۵-۰ A نشان می دهد که بردار دو در صفحه مختلط دایره ای است با قطر K بر روی محور R با اعمال تأخیر فاز (انتقال فاز) بر مدار ولتاژ الکترومغناطیس عمل کننده می توان قطر دایره را دوران داده و طوری تنظیم کرد که نسبت به زاویه امپدانس سیستم پاسخ دهد (شکل ۴-۶-۵-۰ B) به طریقی مشابه قاعده عملکردی بصورت $\text{Sin}\Phi = K/Z$ و $V \text{Isin}\Phi = KI^2$ بیانگر خط راستی است موازی با محور R و با فاصله K از آن. این امر حاکی از راکتانس ثابت و یا Setting مستقل از مقدار مقاومت در امپدانس اندازه گیری شده است. (شکل ۴-۶-۵-۰ C) عبارت اخیر ایده آل گونه است که هر رله ای رنج عملکردی متناهی دارد.



شکل ۴-۶-۵-۰ A: مشخصه رله اولیه mho



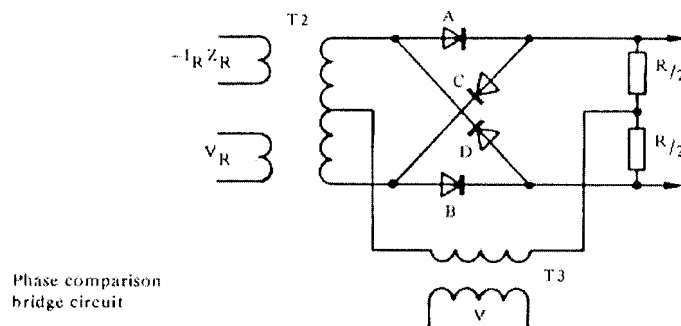
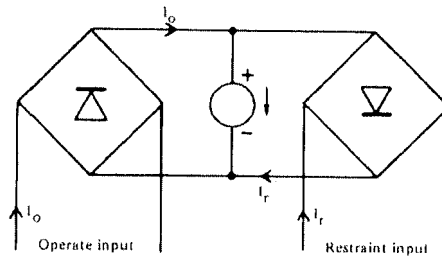
شکل ۴-۶-۵-۰ B: نمونه از مشخصه mho اقباس شده از شکل ۴-۶-۵-۰ A با استفاده از ایجاد انتقال فاز در زاویه طبیعی ولتاژ سیستم



شکل C-5-6-4: رله راکتانس

4-6-6: مقایسه گرهای پل یکسو ساز (Rectifier)

مقایسه گر دامنه بکمک شبکه های پل دو کمیت را با هم مقایسه میکنند. در شکل 4-6-6 مقایسه گر پل یکسو ساز نشان داده شده است. تا زمانی که جریانهای ورودی به دو طرف پل با هم برابرند خروجی های Rectifier سیرکوله شده و هیچ ولتاژی به آشکار ساز پلاریزه اعمال میشود. این آشکار ساز عبارت است از یک رله با سیم پیچ متحرک با آهنربای دائمی افزایش جریان در ورودی سمت چپ جریان رو به پایین در رله ایجاد می کند و در صورتیکه جریان ورودی سمت چپ افزایش یابد خروجی معکوس حالت قبل بوجود می آید. در صورتیکه حساسیت رله نسبت به کمیت های ورودی بالا باشد همزمان با افزایش هر یک از جریانهای ورودی این عدم تعادل آشکار می شود. تغذیه ترانسفورماتور ورودی با سیگنالهای مختلط با استفاده از سیم پیچهای اولیه دوپل میتوان منحنی مشخصهای از نوع mho ایجاد کرد.

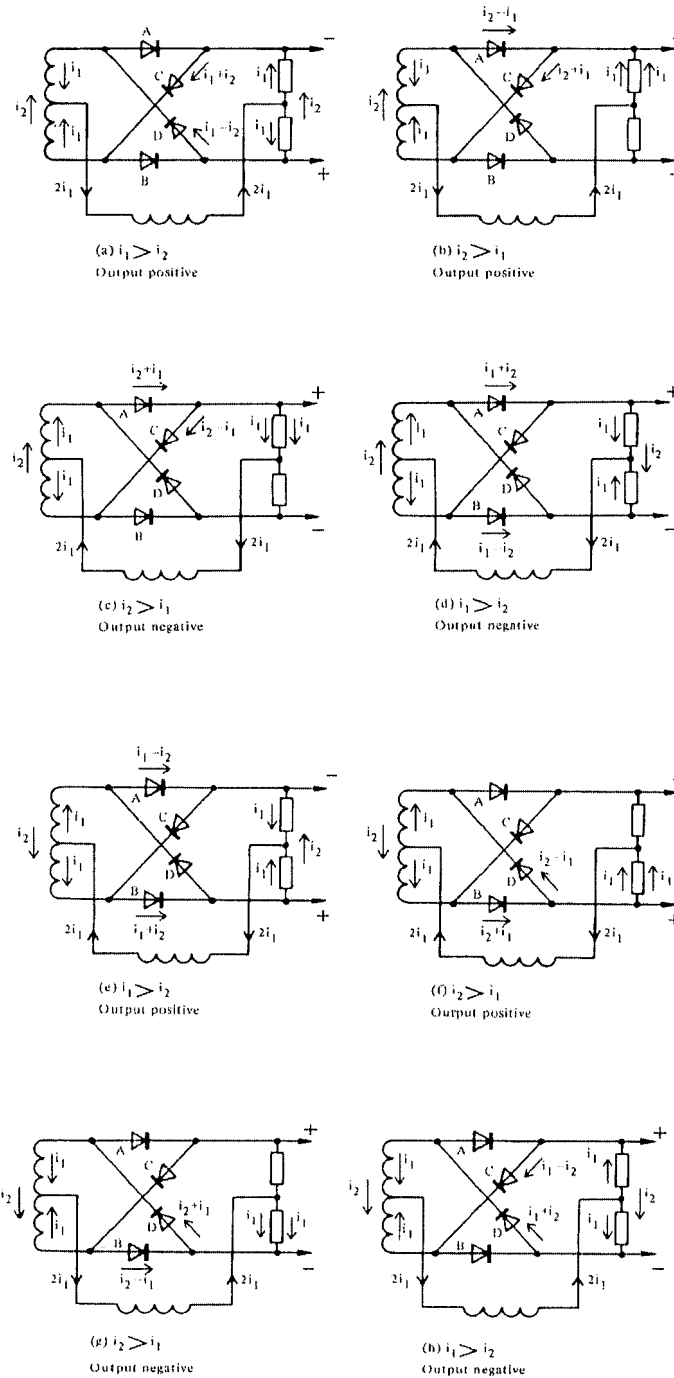


شکل 6-6-4: مقایسه گر پل یکسو ساز

4-6-7: پل مقایسه فاز

در شکل 4-6-7-A مدار یک پل مقایسه گر فاز نشان داده شده است. برای پی بردن به چگونگی عملکرد این سیستم مروری بر مشخصه ولتاژ و جریان دیود ضروری است (شکل 4-6-7-B). تغییر سریع مقاومت در نزدیکی جریان صفر برای یکسو سازی مناسب است. شکل 4-6-7-A دو ورودی I_1 و I_2 به پل را نشان می دهد. در دوره (a) I_1 از I_2 بزرگتر است چون I_1 منفی

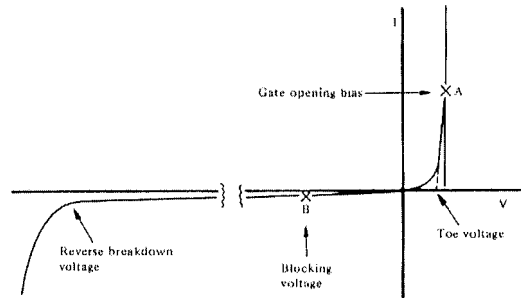
و I_2 مثبت است. در این حالت جریان $2i_1$ بطور مساوی در بین $R/2$ دیودهای C و D و سیم پیچهای ثانویه ترانس T_2 تقسیم شده و در نتیجه آمپر دوری تولید نمی شود. افت ولتاژ ناشی از I_1 در دیودهای C و D. در دیودهای A و D بصورت یک پتانسیل متضاد عمل کرده و مانع از عبور جریان I_2 از آنها می شود. به این ترتیب جریان I_2 از دیود D به سمت بالا رفته از مقاومت R و دیود C عبور کرده و بر R ولتاژ $I_2 R$ ایجاد می شود. در دوره (b) I_1 از I_2 بزرگتر می باشد. جریان I_2 از دیودهای A, C عبور کرده و باعث باز شدن آنها و بسته شدن دیودهای B, C می شود. به این ترتیب جریان $2I_1$ از نیمه بالایی مقاومت عبور کرده و ولتاژ خروجی برابر با $+I_1 R$ ایجاد می کند. دوره (c) مشابه دوره b بوده. تفاوت آن در I_1 است.



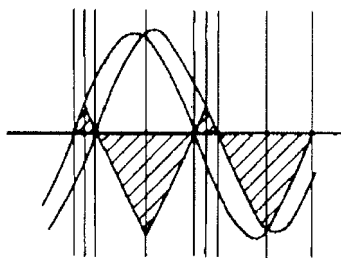
شکل A-7-6-4: اصول رله های مقایسه گر فاز

✓✓

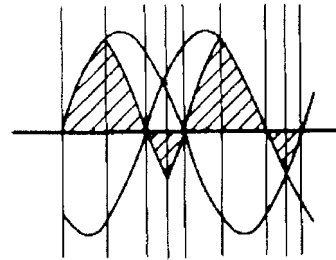
به این صورت که در این حالت جریان مثبت بوده و در خلاف جهت جاری می شود. ولتاژ خروجی برابر با $-I_1 I_2$ خواهد بود. در طی دوره d از I_1 از I_2 بزرگتر بوده و هر دو مثبت I_1 دیوهای a, b باز کرده و به I_2 اجازه جاری شدن به سمت پایین و از طریق مقاومت را می دهد و در نتیجه ولتاژ خروجی برابر با $I_2 R$ - خواهیم داشت. و خروجی مقایسه گر در شکل بصورت هاشور زده نمایش داده شده است.



شکل B-7-6-4: مشخصه یک دیود یکسو ساز

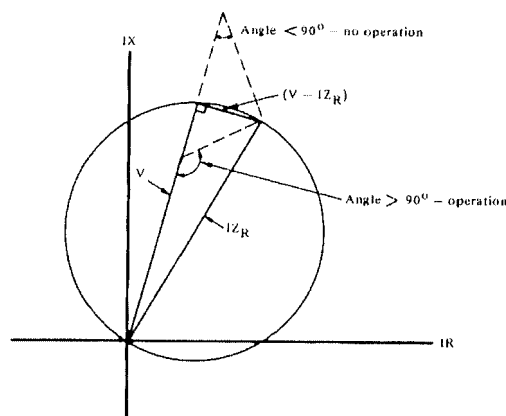


جابجایی فاز کمتر از 90 درجه



جابجایی فاز بیشتر از 90 درجه

شکل C-7-6-4: خروجی های کل مقایسه گر فاز برای جابجایی فاز کمتر و بیشتر از 90 درجه



شکل D-7-6-4: بر گرفته شده از مشخصات mho بل مقایسه گر

4-6-8: منحنی رنج

مشخصه های توضیح داده شده در بخش فوق بعنوان قانون تئوری رله ملاحظه گردد. این مشخصه نباید خارج از محدوده مقدار ورودی رله باشد. بعنوان مثال جریان عملی و ولتاژ باید به حداقل رسیده و همیشه مطابق امپدانس تنظیمی "setting" اما رله

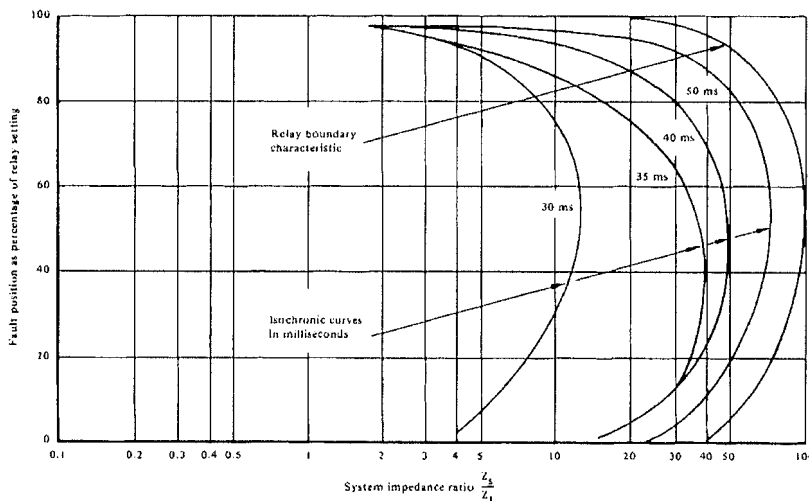
ممکن است نتواند این مقدار را به درستی اندازه گیری نماید. زیرا انرژی ورودی ممکن " خیلی کمتر از انرژی مورد نیاز برای حرکت باشد یا ولتاژ از مقدار عملکرد یکسو ساز کمتر باشد."

کاهش ولتاژ در تقاضای حفاظتی بسته به امیدانس منبع پشت نقطه حفاظتی رله اتفاق می افتد. امیدانس Z_S منبع و امیدانس حفاظت شده خط Z_L شامل یک پتانسیومتر و رله متصل به نقطه تپ می باشد. بنابراین ولتاژ رله برابر:

$$V_R = ESZ_L / (Z_S + Z_L)$$

که عبارت $(Z_S + Z_L) / Z_L$ ضریب رنج نامیده می شود. که عبارت است از ضریب تقسیم emf سیستم. در هنگام پایین بودن ظرفیت یا در شرایط غیر عادی این ضریب ممکن است نسبتاً بزرگ باشد.

در مقایسه عملکرد کلی رله های مختلف ممکن تشخیص میان رنج بالای ولتاژ که هر رله اندازه می گیرد با دقت مذکور ضروری به نظر می رسد. ولتاژ عملی داده شده به سیستم با شرح خطای واقعی باشد. دو عبارت باید تعیین شوند. ضریب $Z_L / (Z_S + Z_L)$ به عنوان نسبت امیدانس سیستم نامیده می شوند. معمولاً ضریب به صورت ساده شده Z_S / Z_L می باشد. (Z_S در مقایسه با Z_L در کلیه شرایط بحرانی بزرگتر است) عبارت فوق تعیین شده در (BS 395) سیستم محافظتی الکتریکی در حوزه a.c مقدار ماکزیمم "نسبت امیدانس سیستم" برای رله داده شده می تواند اندازه گیری شود و عمل می شود با دقت مشخص شده در " مشخصه نسبت امیدانس" اجرا با ملاحظه صحت و عمل در زمان فشرده بوسیله منحنی دستگاه رسم همزمان بصورت جمع از سیستم نسبت امیدانس و اختلاف فاصله از شکست فاصله تنظیمی می باشد. بعنوان مثال:



شکل ۸-۶-۴: منحنی رنج برای رله اندازه گیری mho

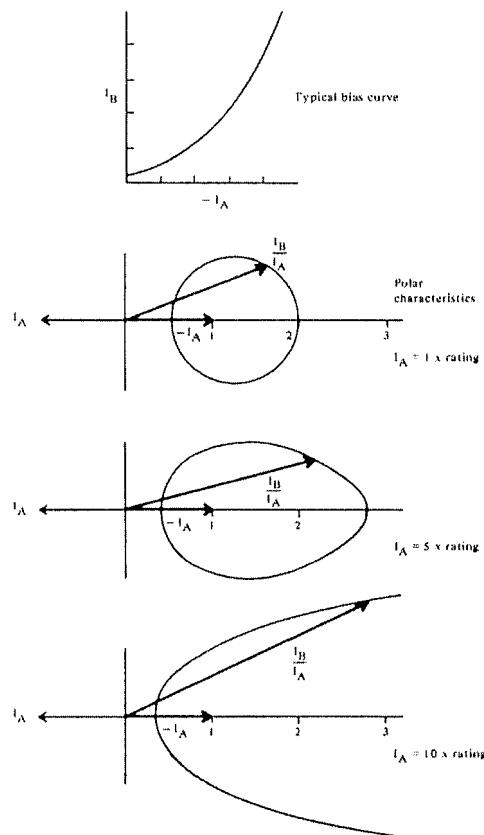
۹-۶-۴: رله های دیفرانسیلی

مقایسه جریان. برای حفاظت سیستم های واحد مانند ترانسفورماتورها و ژنراتورها و... مورد استفاده قرار می گیرد. طرحهای ابتدایی Merz Price را می توان به عنوان مقایسه گرهای دامنه موج دانست. مقادیر ثانویه ولتاژ یا جریان که از مقادیر اولیه جریان خطا نمونه برداری می شود از هم تفریق می شوند و حاصل تفریق آنها تعیین کننده عملکرد و یا عدم عملکرد رله می باشد. خطاهای ناشی از نمونه برداری از جریانهای اولیه باعث ایجاد عدم تعادل می شوند. این به آن معناست که دقت این طرح. تلورانس در محدوده جریان مقایسه شده دارد. هنگامی که از این رله ها در ناحیه حفاظتی مورد نظر استفاده می شود بعلت برابر بودن جریانهای ورودی و خروجی در شرایط عادی اختلاف جریانها صفر بوده و رله عمل نمیکند. اگر اختلاف جریانها به اندازه کافی زیاد باشند گشتاور ایجاد شده از گشتاور مقاوم بزرگتر شده در نتیجه رله عمل میکند.

در این رله ها بازای نسبت خاصی از گشتاور مقاوم به گشتاور عمل کننده رله عمل میکند. مثلاً اگر گفته شود رله ای در بایاس 20% قرار دارد یعنی. نسبت جریان عمل کننده به جریان مقاومت کننده 0.2 است.

۴-۶-۱۰: منحنی قطبی

اساس نسبت در اختلاف دامنه جریان ورودی است. جز، عمل کننده می تواند بوسیله هر فاز مخالف در میان ورودی بطور مساوی تولید شود. اطلاعات کامل فقط از منحنی قطبی استخراج می گردد. با یک ورودی از منبع و دستگاه. سایر ورودیها با وضعیت محدوده ای نسبت دارند. جهت مورد نظر در ناحیه هر ترمینال باید اختیار شود. بنابراین صحت خطای جریان با وضعیت دو ناحیه انتحایی مطابقت می کند. در رسم یک دیاگرام برای یک خط AB با سطح جریان مختلف. مناسب است که I_A مرجع انتخاب شود و نسبت I_B/I_A رسم گردد. I_B بصورت پریونیتی از I_A رسم می گردد (شکل ۴-۶-۱۰). برای کاهش جریان. هر منحنی قطبی بصورت دایره ای یا حلقوی هستند. جریان بزرگتر برای اینکه در رله بصورت غیر خطی است باعث افزایش اعوجاج در فرم دایره ای میشوند که ممکن است نهایتاً سهمی ایجاد شود. در این مرحله نسبت اسامی ممکن است ملاحظه گردد. بصورت بی نهایت و نامشخص. و رله به اپراتور حالت مقایسه فازها را بیان می کند.



شکل ۴-۶-۱۰: حفاظت دیفرانسیل نوع یک طرفه

۴-۶-۱۱: حفاظت تابعیت (ترادف) منفی

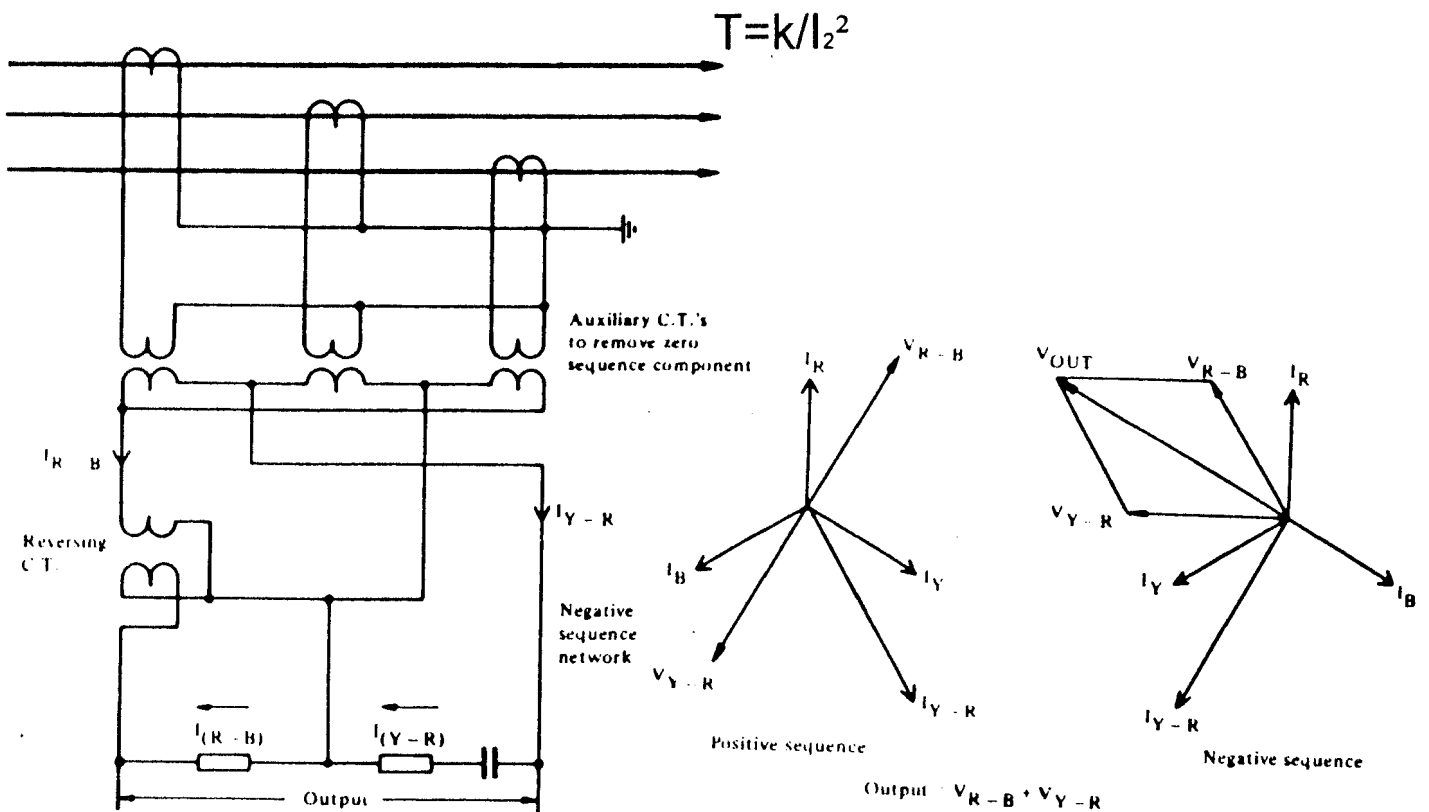
جریان نامتعادل در هر سیستم سه فاز می تواند بصورت هر سه ترادف مثبت و منفی و صفر باشد. این سیستم با سه ترادف فازی است. ممکن است اجزا، ترادف با موج تغییر شکل داده شده مقایسه شوند یا بصورت ریاضی و تئوری باشند اما در واقعیت و عمل بوسیله فیلترهایی جدا می شوند. ترتیب توالی مثبت در همه وضعیت ها چه میزان و چه غیر میزان اتفاق می افتد. تحت هر دو حالت خطا و عادی ممکن است بنا بر این فقط در دامنه اصلی ساخته می شود توالی منفی فقط در حالت غیر عادی اتفاق می افتد. بنابراین وسیله ای برای آشکار سازی در حالت بیشترین خطا حفاظت تنظیمی حساس نیز مجازند و محدود فقط برای هر درجه از عدم میزان در جریان بار ممکن است اتفاق بیافتد و قابل قبول باشد.

ترتیب توالی مثبت در همه وضعیت ها چه میزان و چه غیر میزان اتفاق می افتد. تحت هر دو حالت خطا و عادی ممکن است بنا بر این فقط در دامنه اصلی ساخته می شود توالی منفی فقط در حالت غیر عادی اتفاق می افتد. بنابراین وسیله ای برای آشکار سازی در حالت بیشترین خطا حفاظت تنظیمی حساس نیز مجازند و محدود فقط برای هر درجه از عدم میزان در جریان بار ممکن است اتفاق بیافتد و قابل قبول باشد.

ترتیب توالی صفر به صحت سیستم در حالت طبیعی بر می گردد در مورد سه فاز سی سیمه سه مداره اجزاء ترتیب توالی صفر فقط در حالت خطای زمین اتفاق می افتد.

بوسیله سیستم اتصال طبیعی و یا بوسیله یک اتصال منتهی گروهی که از CT های اتصالهای منتهی هستند. جریان ترتیب توالی صفر آشکار می شود. بنابراین در تغذیه رله های اندازه گیری جریان و گروهی از رله های مستقیم سیم پیچی پسماند استفاده میشوند. در طرحهای دیفرانسیلی پیچیده که مقدار خطای زمین را بطور حساس میدهند. جریان ترتیب منفی معمولاً در بهبود کمبود حفاظت تنظیمی که می تواند عملی باشند با آشکار سازی وضعیت غیر نرمال در شرایط مخصوص و خطرناک مثل عدم تقارن بار روی ژنراتور بکار می روند.

بعضی از شبکه ها بطوری تقسیم بندی شده اند که فقط در مقابل اجزاء ترتیب منفی جواب می دهند. عموماً اختیار اعمال 60 درجه اختلاف فاز پیش فاز به جریان فاز دیگر است و از شکل جریان دیگر کم می گردد. بعداً نیز نتیجه صفر نیز برای جریان مثبت انتخاب می گردد. یک نمونه شبکه ترتیبی در شکل ۱۱-۶-۴ نشان داده شده است. مطالعه در دیاگرام برداری نشان خواهد داد که ترتیب توالی مثبت جریان میزان بردار را تعیین می کند. بدون خروجی در رله فوق معکوس کردن تغییر ترتیب و زاویه بین دو ولتاژ که نامی هستند و خروجی عموماً به ایت ترتیب به رله نیرو می دهد نوع پانچ به مقدار المنت اندازه گیری شده رله بستگی دارد. رنج عمل کردن آنی (بدون تأخیر) به قانون مشخصه زمانی مربع معکوس وابسته است.



شکل ۱۱-۶-۴: شبکه توالی منفی

حفاظت جریان زیاد Overcurrent Protection

حفاظت جریان زیاد را می توان برای تجهیزاتی مانند ترانسفورماتور و مخصوصا خطوط توزیع بکار برد. ابزار جهت جفاظت جریان زیاد عبارتند از:

فیوز: عموما در شبکه های فشار ضعیف (و یا در شبکه های توزیع بکار می رود).
رله های جریان زیاد: در شبکه های توزیع - فوق توزیع و انتقال بکار می رود.

فیوزها

فیوزها مطلوب ترین ابزار برای حفاظت بخش هایی از شبکه با ولتاژ و جریان کمتر بوده زیرا مشخصات زمان جریان آنها شبیه مشخصات زمان - جریان مدارهایی است که محافظت می نمایند. استفاده از فیوزها سبب خواهد شد که تجهیزات در مواقع بروز خطا یا اضافه بار از مدار خارج گردیده و بدین ترتیب ایمنی آنها حفظ شده و از خسارات بعدی جلوگیری شود.
با این وجود فیوزها قادر به قطع جریانهای بزرگ در شبکه های فشار قوی نیستند. و دارای این عیب نیز بوده که بعد از نصب نمی توان آنها را نمی توان آزمایش نمود. معمولا در تأسیسات مهم آزمایشی تجهیزات حفاظتی پس از نصب آنها ضروری است. بدین ترتیب رله های با مشخصات زمان - جریان معکوس شبیه فیوز برای حفاظت جریان زیاد و اتصال زمین ساخته شدند. این رله ها که از ترانسفورماتورهای جریان تغذیه می شوند در هنگام ضرورت با برقرار کردن مدار سیم پیچی قطع کلیدهای قدرت موجب باز شدن آنها می گردند.

رله های جریان زیاد

رله های جریان زیاد با مشخصات زمان - جریان معکوس در حفاظت شبکه های قدرت تا هر سطح ولتاژی بکار می روند در طول سالها این گونه رله ها به تعداد بسیار زیاد در اکثر شبکه های دنیا به عنوان حفاظت اصلی و یا حفاظت ثانویه و پشتیبان در طرحهای پیچیده بکار رفته اند. جریان و زمان رله های جریان زیاد قابل تنظیم بوده و بدینوسیله می توانند برای تمایز صحیح در هنگام خطا و اضافه بار همانند فیوزها استفاده شوند. در بعضی موارد بهره گیری از طبقه بندی زمانی برای حفاظت مطلوب در تمامی حالات مقدور نبوده و برای بهبود عملکرد سیستمهای حفاظتی در اینگونه شرایط از جهت جریان یا به عبارت دیگر رله های جریان زیاد جهت دار و رله های اتصال زمین استفاده می کنند. مشخصه های جریان زیاد را می توان به چندین بخش تقسیم کرد:

- حفاظت جریان زیاد آنی

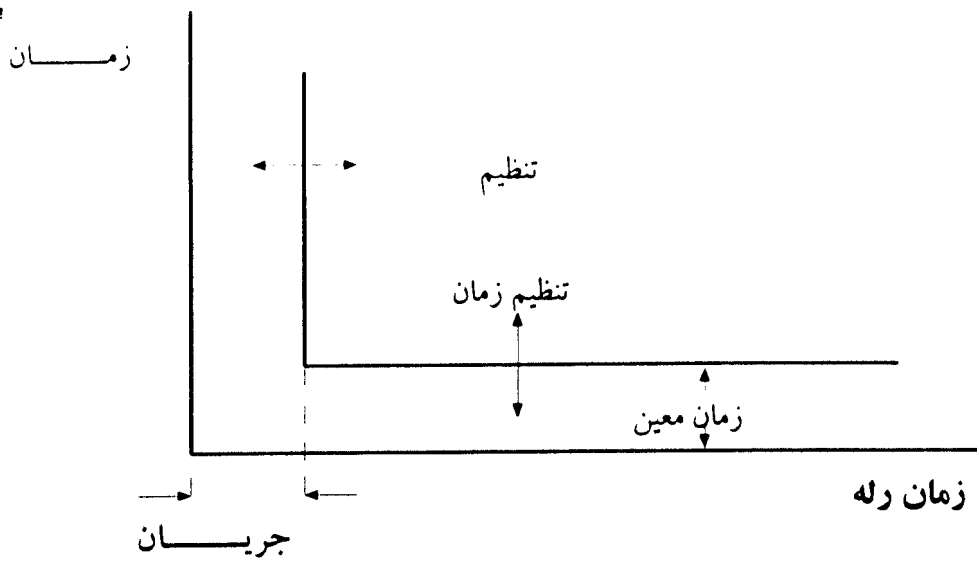
- حفاظت جریان زیاد با تأخیر معین

- حفاظت جریان زیاد با مشخصه معکوس

رله های القایی دیسکی برای حفاظت جریان زیاد با طبقه بندی زمانی به کار می روند. این رله ها دارای مشخصه زمان - جریان معکوس هستند و همچنین مجهز به ابزاری برای تنظیم زمان عملکرد و جریان عملکرد هستند.

۱-۵ رله های جریان زیاد زمان معین (DTC) Difinite Time Over Current

رله جریان زیاد با زمان معین رله ای با یک کمیت ورودی است جریان ورودی هر فاز از طریق CT سیم پیچی رله تغذیه می کند. خروجی رله بسته شدن کنتاکت آن بوده که در مسیر سیم پیچی قطع کلید قدرت قرار می گیرد. مشخصه زمان - جریان رله در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل (۱-۵): رله جریان زیاد زمان معین

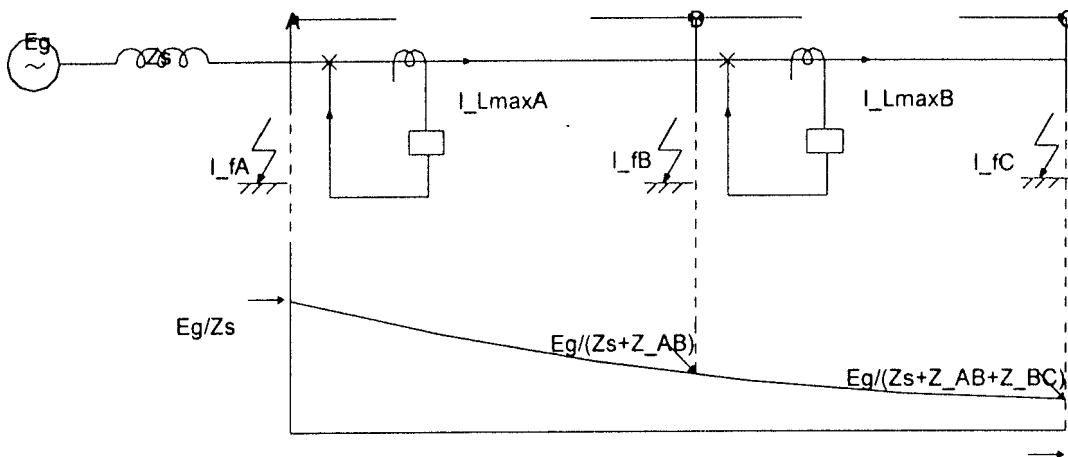
نحوه قرار گرفتن رله در شکل (۲-۵) ارائه گردیده است. E_g ولتاژ داخلی ژنراتور، Z_s امپدانس منبع و Z_{AB} و Z_{BC} به ترتیب امپدانس خطوط AB و BC هستند. E_g ولتاژ داخلی ژنراتور بر اثر تغییر تولید تغییر خواهد کرد. جریان خطا بر روی باسهای مختلف عبارتند از:

$$A \text{ باس روی خطا} = I_{FA} = \frac{E_g}{Z_s}$$

$$B \text{ باس روی خطا} = I_{FB} = \frac{E_g}{Z_s + Z_{AB}}$$

$$C \text{ باس روی خطا} = I_{FC} = \frac{E_g}{Z_s + Z_{AB} + Z_{BC}}$$

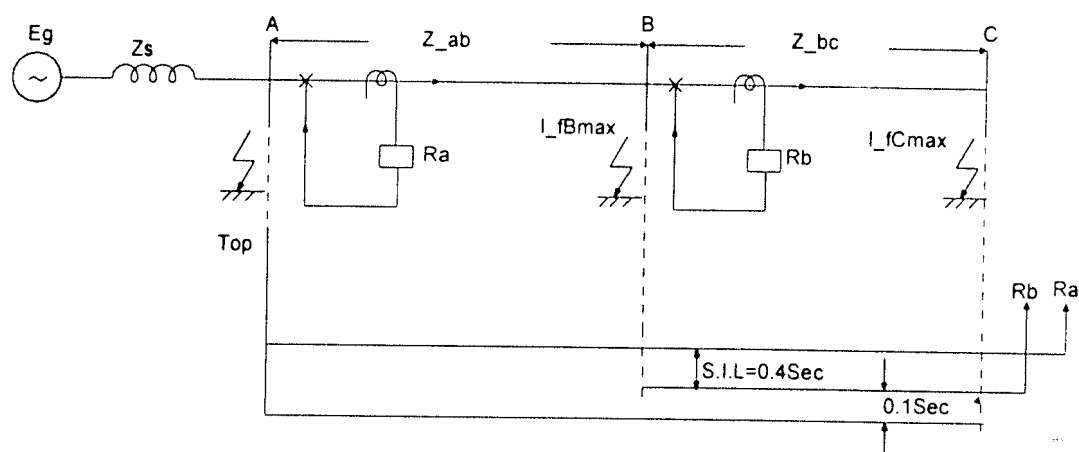
در شکل (۲-۵) همچنین جریان خطا بر حسب محل آن در طول خط نشان داده شده است. جریان قبل از خطا در خطوط در زمانهای مختلف متفاوت بوده و حداکثر آنها در محل رله ها با I_{LmaxA} و I_{LmaxB} مشخص شده اند.



شکل (۲-۵) نمودار تک خطی دو خط شعاعی

این رله های DTOC دارای دو تنظیم قابل تغییر هستند. یکی مقدار عملکرد بر حسب آمپر بوده که اگر جریان رله کمتر از تنظیم باشد رله فرمان قطع صادر نمی کند. به این مقدار تنظیم، مقدار عملکرد هم می گویند. تنظیم دیگر زمان ثابت یا معین عملکرد رله است. همانگونه که از مشخصه های عملکرد رله پیداست موقمی که جریان رله از مقدار عملکرد آن بیشتر می گردد. بعد از گذشت زمانی که به زمان عملکرد موسوم است فرمان قطع توسط رله صادر می شود. بنابراین اگر جریان عبوری از رله کمتر از جریان عملکرد باشد رله عملکردی ندارد و اگر جریان عبوری بیشتر از جریان عملکرد باشد آنگاه پس از گذشت زمان ثابت رله عمل می کند.

بعنوان مثال شبکه شکل (۳-۵) را در نظر بگیرید. برای سهولت فرض می شود که نسبت تبدیل CTها ۱:۱ باشد جریان خطا برای اتصالاتی های واقع بر روی باسهای A, B, C روی شکل نشان داده شده اند.



شکل (۳-۵) تنظیم رله های DTOC

رله های R_B حفاظت اصلی را بر عهده داشته و R_A حفاظت پشتیبان می باشد. به عبارت دیگر خطاهای روی خط BC باید به سرعت از طریق کلید B برطرف شود. خط BC در انتهای شبکه قرار داشته و لذا رله B سریعترین رله خواهد بود. و وظیفه پشتیبانی از رله دیگری را عهده دار نیست. بنابراین می توان رله B را از نوع آنی قرار داد. آنی به معنای آن است که تأخیر زمانی عمدی در رله وجود ندارد. معمولاً رله جریان زیاد آنی را ۰/۱ ثانیه قرار می دهند تا بدین ترتیب عملکرد اشتباه نیز در نظر گرفته شود.

زمان عملکرد رله B برابر ۰/۱ ثانیه در نظر گرفته می شود. اکنون باید مقدار عملکرد برای R_A تعیین شود. رله A باید خطاهای تا انتهای خط BC به عنوان پشتیبان عمل نماید. مقدار عملکرد رله A در رابطه زیر صدق می کند:

$$I_{L_{max}}^A < I_{pick-up}^A < I_{f \min}^{busC}$$

نامساوی سمت چپ ضامن عدم عملکرد رله در جریان بار حداکثر در محل رله بوده و نامساوی دوم تضمین کننده آن است که رله برای حداقل خطا در انتهای خط BC هم عمل کند و لذا حفاظت پشتیبان کافی برای کل خط مجاور یعنی BC را فراهم می سازد. اگر فرض شود که حفاظت اصلی خط BC به درستی عمل می کند آنگاه زمان رفع خطا برای اتصالاتی های روی خط BC برابر $T_{RB} + T_{CB}$ خواهد بود که در آن T_{RB} زمان عملکرد رله R_B و برابر ۰/۱ ثانیه واحد و T_{CB} زمان باز شدن کلید B و برابر ۰/۴ ثانیه خواهد بود. بنابراین زمان عملکرد رله R_A باید بزرگتر از ۰/۵ ثانیه باشد. با انتخاب این زمان تمایز مطلوب بین R_A و R_B به وجود می آید. بدین ترتیب تنظیمات نهایی برای R_A عبارتند از:

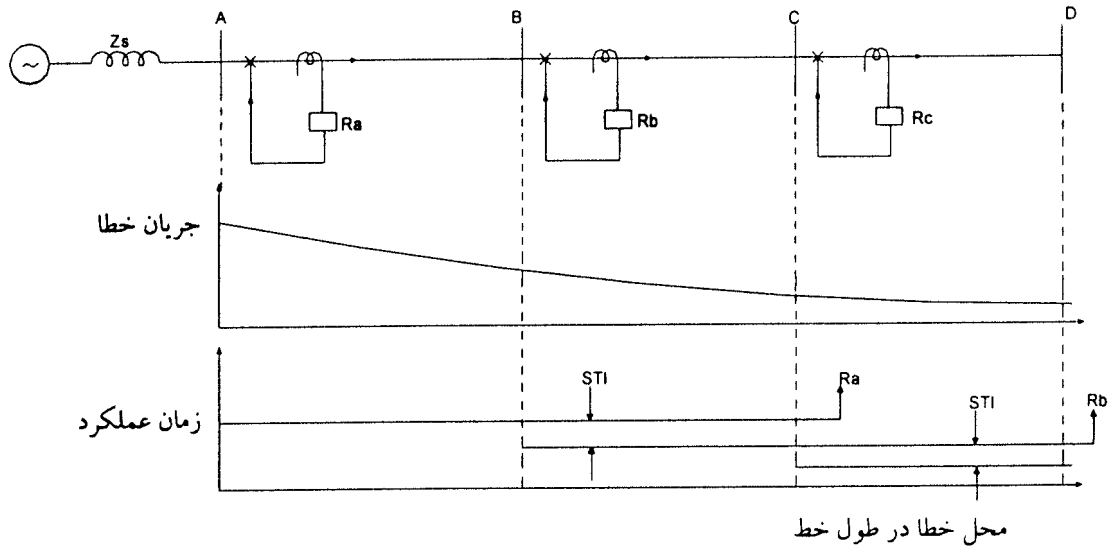
$$I_{L_{max}} A < I_{pick-up} A < I_{f \min} bus C$$

ب: ثانیه > 0.5 زمان عملکرد

۲-۵- رله های جریان زیاد IDMT

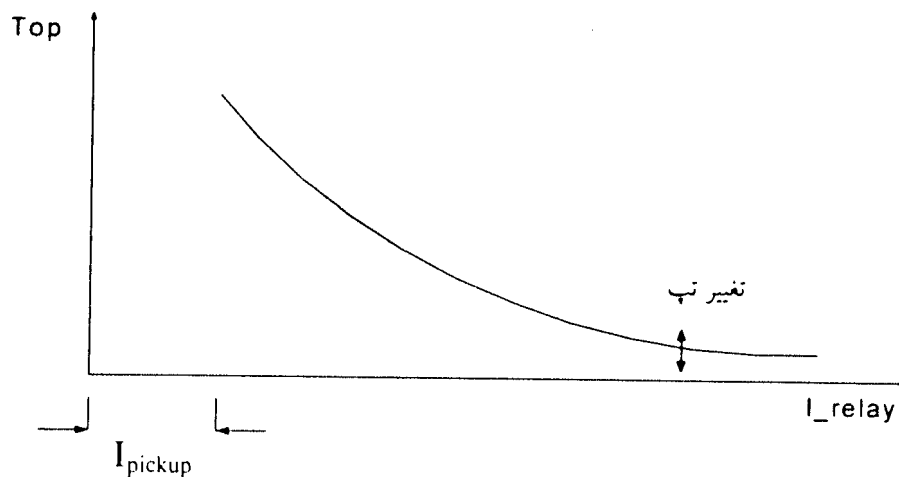
برای سالها رله های DTOC به طور گسترده ای جهت حفاظت خطوط کوتاه به کار رفته اند. در خطوط بلند رله های DTOC دارای این ضعف عمده هستند که با نزدیک شدن رله ها به منبع زمان عملکرد آنها طولانی میگردد. به عبارت دیگر در جایی که جریان خطا حداکثر است برای ایجاد تمایز باید رله ها در بالاترین زمان عمل می نمودند. برای درک بهتر رله های IDMT لازم است عیوب رله های DTOC تأکید شوند.

شکل (۴-۵) سه خط شعاعی AB، BC و CD را که از سمت A تغذیه می شوند همراه با تنظیم رله های DTOC نشان می دهد. در این شکل زمان عملکرد رله بر حسب محل خطا در طول خط با در نظر گرفتن فاصله زمانی تمایز (Selective Time Interval) ارائه گردیده است.



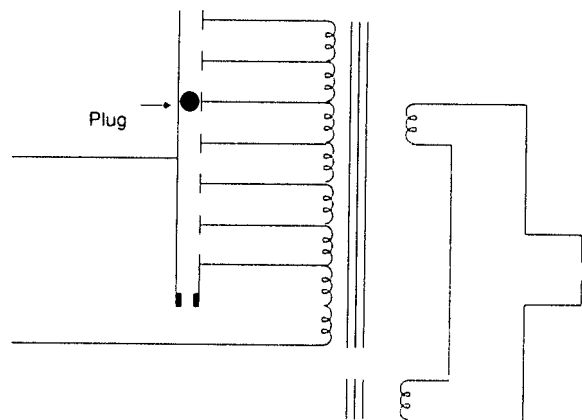
شکل (۴-۵): سه خط شعاعی با رله های DTOC (معایب)

همانگونه که از شکل پیدا است با حرکت محل خطا به سمت منبع جریان خطا افزایش یافته ولی زمان عملکرد رله هم زیاد می شود. این برخلاف اصول حفاظتی است چون تمایل بر آن است که شدیدترین خطاها در کوتاهترین زمان قطع شوند. این دلیل اصلی مطرح شدن رله های IDMT بوده است. در صورت استفاده از اینگونه رله ها با نزدیک شدن خطا به منبع زمان قطع کاهش چشمگیری می یابد. رله IDMT یک رله تک ورودی با مشخصه زمان - جریان معکوس مطابق شکل (۵-۵) است.



شکل (۵.۵): مشخصه زمان - جریان یک رله IDMT

به منظور تنظیم جریان، سیم پیچی رله دارای تپ های مختلف می باشد وقتی که Plug در مکان اول باشد تمامی سیم پیچی در مدار بوده و لذا بالاترین حساسیت را دارد. لذا شکل (۶.۵) رله جریان زیاد IDMT را نشان می دهد که در آن تپ های مختلف برای تنظیم جریان مشخص شده اند. در مکان هفتم فقط یک چهارم سیم پیچی در مدار بوده و لذا رله ۴ برابر بیشتر جریان برای ارائه همان پاسخ نیاز دارد. تپ اول معمولاً برای تنظیم ۵۰٪ مقدار نامی رله به کار می رود و از تپ هفتم در ۲۰۰٪ = ۴×۵۰ استفاده می گردد. مکانهای تنظیم به ترتیب ۵۰٪، ۷۵٪، ۱۰۰٪، ۱۲۵٪، ۱۵۰٪، ۱۷۵٪، ۲۰۰٪ می باشند.



شکل (۶.۵): تنظیم جریان در رله های جریان زیاد IDMT

اگر نسبت تبدیل CT برابر ۵۰۰/۱ باشد تپ ۵۰٪ برابر ۲۵۰ آمپر اولیه یا ۵۰٪ آمپر ثانویه به عنوان تنظیم خواهد بود. به همین ترتیب ۲۰۰٪ به معنای ۱۰۰۰ آمپر اولیه یا ۲ آمپر ثانویه است. هر تپ دارای مشخصه خاص خود بوده و اثر تغییر تپ در واقع تغییر منحنی کار رله است. شایان ذکر است هنگام برداشتن Plug مسیر جریان CT به طور خودکار در تپ ۲۰۰٪ بسته می شود و لذا مسیر جریان CT بسته می ماند. زمان روی منحنی عملکرد رله زمانی است که دیسک رله باید ۱۸۰ درجه را طی کند. به وسیله ضریب تنظیم زمان می توان موقعیت نگهدارنده دیسک را تنظیم نمود، به قسمی که دیسک زمان کمتری برای عملکرد نیاز داشته باشد به عنوان

مثال اگر جریان اعمال شده به رله را دو برابر مقدار تنظیم بوده و رله به ازای آن در ۱۰ ثانیه عمل کند آنگاه با تنظیم فاصله کنتاکت ثابت و متحرک می توان کاری کرد که دیسک نصف راه را ببیماید تا کنتاکت بسته شود و بدین ترتیب زمان عملکرد رله به ۵ ثانیه تقلیل می یابد. اگر فاصله ۳۰٪ فاصله کامل باشد آنگاه زمان عملکرد برابر $t = 3 \text{ sec} = 30\% \times 10 \text{ sec}$ خواهد شد. رله های استاندارد دارای مشخصه ای بصورت :

$$t = \frac{3}{\log(P.S.M)} \quad (1.5)$$

هستند. در این رابطه P.S.M ضریب تنظیم زمان است. این به معنای آن است که با ۲ برابر جریان نامی عملکرد $t = 10 \text{ sec}$ و با ۱۰ برابر جریان تنظیم زمان عملکرد $t = 3 \text{ sec}$ خواهد بود.

ضریب تنظیم زمان (TMS) از ۰/۰۵ تا ۱ می باشد. در رابطه (۱.۵) P.S.M. عبارتست از:

$$P.S.M. = \frac{I_{fault}}{I_{set}} \quad (2.5)$$

I_{fault} جریان خطای عبوری از رله و I_{set} جریان تنظیم رله می باشد.

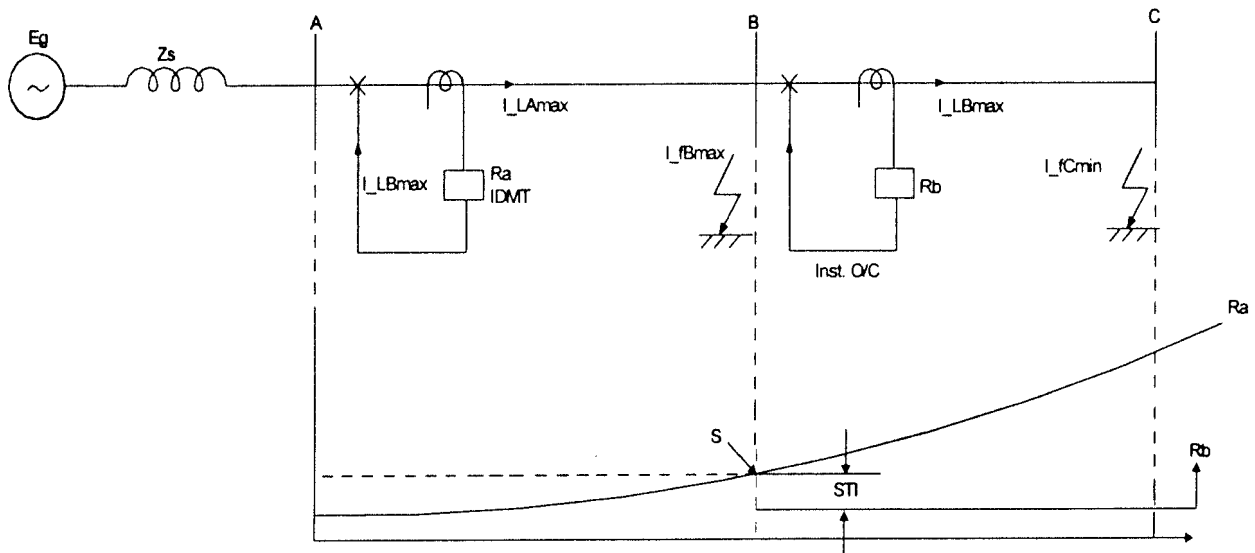
۳-۵- تنظیم رله های جریان زیاد:

شکل (۷.۵) دو خط شعاعی را که از یک منبع تغذیه می شوند را نشان می دهد. برای تنظیم رله IDMT باید توجه داشت که این رله علاوه بر حفاظت خط AB باید خط BC را هم پشتیبانی نماید. رله به کار رفته برای حفاظت خط BC جریان زیاد آنی است. برای رله IDMT، باید جریان عملکرد و ضریب تنظیم زمان را مشخص نمود. رله R_A باید نامساوی زیر را برآورده سازد.

$$I_{L_{max}A} < I_{pick-upA} < I_{f \min C}$$

زمان عملکرد رله R_A باید برابر زمان عملکرد رله R_B به علاوه فاصله زمانی تمایز (STI) باشد فاصله زمانی تمایز مساوی زمان عملکرد کلید قدرت B به علاوه زمان جهش (Over Shoot) برای رله R_A خواهد بود.

در شکل ۷.۵ زمان رله IDMT بر حسب محل خطا در طول خط همراه با تمایز حاصل شده بر اثر خطا روی باس B نشان داده شده است.



شکل (۷.۵): نحوه تنظیم رله های جریان زیاد

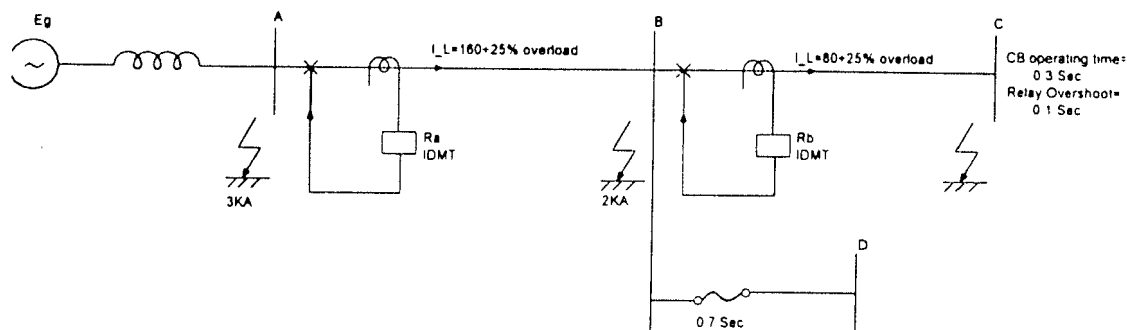
اگر رله R_A ، $DTOC$ بود زمان عملکرد آن مطابق نقطه چین می گردید. شایان ذکر است که هر دو مشخصه باید از نقطه S عبور کنند تا تمایز بین دو رله حفظ شود. نتایج زیر از این مورد حاصل می گردد:

الف) رله $IDMT$ حفاظت اصلی سریعتری نسبت به رله $DTOC$ برای خط فراهم می سازد.
 ب) رله R_A باید با R_B برای حداکثر جریان خطا روی باس B قدرت تمایز داشته باشد تا هماهنگی بین دو رله در حالات دیگر تضمین گردد.

ج) رله های ($IDMT$ یا $DTOC$) در نقطه A نباید به ازای جریان بار حداکثر عمل کنند تا بدین ترتیب در هنگام عبور جریان بار عملکرد غلط نداشته باشند.

د) رله های ($IDMT$ یا $DTOC$) باید در نقطه A به ازای حداقل جریان خطا روی باس C تحریک شوند تا بدین ترتیب پشتیبانی کافی وجود داشته باشد.

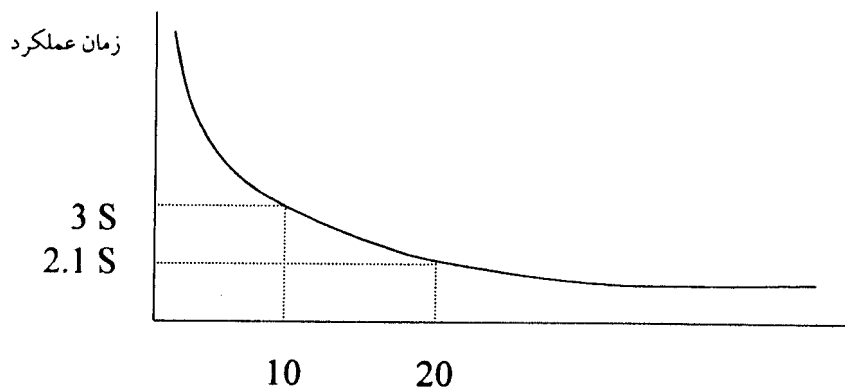
مثال: شبکه شکل (۸۵) را در نظر بگیرید



شکل (۸۵)

خط AB دارای جریان A با امکان ۱۶۰٪ اضافه بار می باشد. از باس B دو خط خروجی BC و BD وجود دارند. بار خط BC برابر ۸۰ آمپر با امکان ۲۵٪ اضافه بار است. خط CD توسط فیوز محافظت می گردد و زمان عملکرد آن برای خطای بلافاصله پس از آن ۰/۷ ثانیه می باشد. سطوح جریان خطای سه فاز در باس A برابر ۳۰۰۰ آمپر و در باس B برابر ۲۰۰۰ آمپر هستند. برای تمامی کلیدهای قدرت زمان عملکرد ۰/۳ ثانیه بوده و جهش منظور شده برای رله ها ۰/۱ ثانیه می باشد.

مشخصه عملکرد رله برای $T.M.S.=1$ در شکل زیر نشان داده شده است. $T.M.S.$ که در وقوع فاصله بین کنتاکت ثابت و متحرک را مشخص می نماید از ۰/۱ تا ۱ قابل تغییر می باشد. تنظیم جریان از طریق انتخاب تپ سیم پیچی صورت می گیرد بنابراین تنظیم جریان در مقادیر معینی و به شکل پله ای در مقادیر ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۱/۷۵، ۲ آمپر برای رله ۱ آمپری خواهد بود.



می توان فرض کرد که زمان عملکرد رله به طور مستقیم مناسب با T.M.S. است. رله ۱A در نظر گرفته می شود که به معنای آن است که رله می تواند به صورت دائمی بدون صدمه جریان ۱A را عبور دهد. به این جریان حد حرارتی سیم پیچی جریان رله نیز می گویند. سیم پیچی رله طوری طراحی می گردد که برای مدت کوتاهی بتواند ۲۰ برابر این جریان را عبور دهد که به آن حد جریان کوتاه مدت می گویند. برای این مثال نسبت تبدیل CTها، تنظیم جریان و زمان رله ها را پیدا کنید.

$$R_B \text{ برای CT تبدیل} = \frac{80 + 0.25 \times 80}{1} = \frac{100}{1}$$

$$R_A \text{ برای CT تبدیل} = \frac{160 + 0.25 \times 160}{1} = \frac{200}{1}$$

چون خطوط BC و BD باید توسط رله R_A حمایت شوند لذا باید جریان $2000A$ خطا روی باس B بین R_A و فیوز و نیز R_B هماهنگی وجود داشته باشد.

برای R_B تنظیم جریان ۱/۰ آمپر (Plugsetting) و $T.M.S. = 0.1$ در نظر گرفته می شود تنظیم زمان به دلیل آنکه R_B از رله دیگری پشتیبانی نمی کند سریعترین مقدار منظور گردیده و تنظیم جریان با توجه به بار انتخاب شده است.

زمان عملکرد R_B برای جریان $2000A$ برابر است با :

$$PSM = \frac{\text{نسبت تبدیل ct / جریان خطا}}{\text{جریان رله Plug Setting}} = \frac{\text{جریان خطا}}{\text{Plug Setting}}$$

بر اساس منحنی مشخصه عملکرد برای $PSM=20$ و $T.S.M=1$ برابر است با $2/1 \text{ sec}$. چون T.S.M. رله R_B برابر ۰/۱ خواهد بود. لذا زمان عملکرد $0.2/1 \text{ sec} = (0.1)(2/1 \text{ sec})$ خواهد شد.

زمان تداوم خطا برابر $0.2/1 \text{ sec}$ به اضافه 0.4 sec زمان باز شدن کلید قدرت یا $0.6/1 \text{ sec}$ می باشد. چون رله R_A و R_B باید با یکدیگر هماهنگ بوده و نیز R_B با فیوز هماهنگ باشد و از طرفی زمان عملکرد فیوز ۰/۷ ثانیه و بزرگتر از زمان R_B است بنابراین باید R_A با فیوز هماهنگ گردد. برای R_A تنظیم جریان $Plug Setting = 1$ انتخاب می شود. که با جریان بار مشکلی نخواهد داشت. زمان عملکرد باید از زمان عملکرد فیوز برای جریان خطای $2000A$ بزرگتر باشد.

$$P.S.M. = \frac{I_f}{CTR} = \frac{20000}{200} = 10$$

زمان عملکرد R_A در $PSM=10$ و $TMS=1$ برابر ۳ ثانیه است. بنابراین :

$$\frac{\text{زمان عملکرد TMS}}{TMS} = \frac{0.7}{3} = 0.233$$

به طور خلاصه تنظیم ها عبارتند از :

R_B : P.S.=1.0 , T.M.S.=0.10

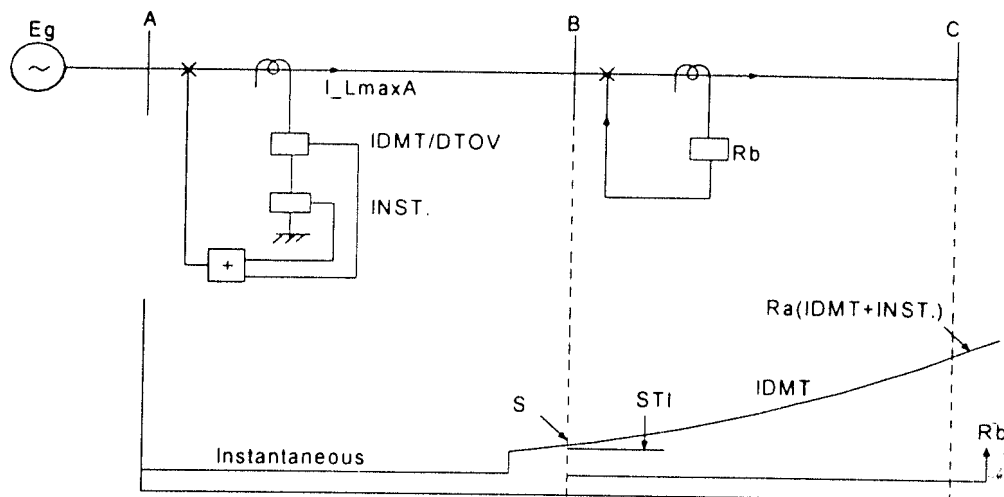
R_A : P.S.=1.0 , T.M.S.=0.233

۴-۵- ترکیب رله های جریان زیاد آنی و رله های DTOC/IDMT

همانگونه که دیدیم اگر رله DTOC با IDMT جایگزین گردد کاهش چشمگیری در زمان قطع صورت خواهد گرفت. این زمان را در صورت همراهی رله DTOC و IDMT با رله جریان زیاد آنی باز هم می توان تقلیل داد.

رله آنی همانگونه که از نامش پیداست در مواقعی که جریان ورودی آن از مقدار عملکرد یا تنظیم Plug فراتر رود فوراً (بدون تأخیر عمدی) عمل خواهد کرد.

بنابراین رله آنی تنها دارای یک تنظیم و آن مقدار عملکرد بر حسب Plug Setting می باشد. زمان عملکرد آن در حدود ۰/۱ ثانیه است. شکل ۸۵ در خط شعاعی AB و BC ترکیبی از یک طرف تغذیه می شوند نشان می دهد. رله های حفاظتی خط BC بصورت آنی بوده در حالیکه رله های خط AB ترکیبی از آنی و DTOC هستند سیم پیچی جریان دو رله به صورت سری بوده و کنتاکتهای قطع آنها موازی می باشند تا کلید A را در هنگام عملکرد باز نمایند. رله جریان زیاد آنی برای پوشش ۸۰ تا ۹۰٪ طول خط AB تنظیم می شود تا حفاظت اصلی سرعت زیاد را برقرار سازد. در پوشش ۹۰٪ خط به معنای آن است که مقدار عملکرد رله برابر جریان خطای If در ۹۰٪ طول خط AB می باشد. رله DTOC/IDMT باید طوری تنظیم شوند که از خط BC پشتیبانی کنند.



شکل (۸۵): نحوه تنظیم رله های جریان زیاد آنی

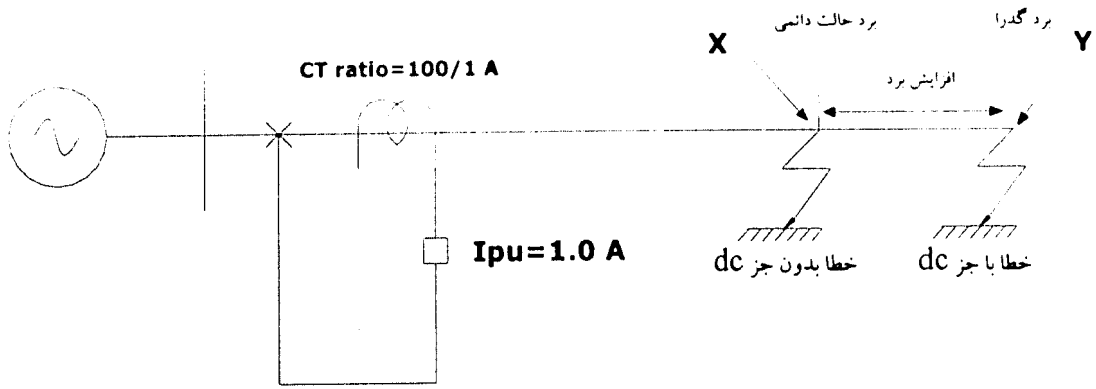
رله جریان زیاد آنی و نه رله DTOC/IDMT حفاظت اصلی ۸۰ تا ۹۰٪ طول خط AB را تامین می نمایند. ۱۰ تا ۲۰٪ باقیمانده و تمامی خط مجاور یعنی BC توسط DTOC/IDMT پشتیبانی می شوند. بنابراین موارد زیر قابل توجه است:

الف) رله جریان زیاد آنی حفاظت اصلی و با سرعت زیاد ۸۰ تا ۹۰٪ طول خط را عهده دار است. مقدار عملکرد آن بزرگتر از رله DTOC یا IDMT بوده و بنابراین به آن رله جریان زیاد آنی با تنظیم بالا گویند.

ب) رله DTOC/IDMT حفاظت پشتیبانی را بر عهده دارد. سوال یعدی آن است که چرا رله جریان زیاد آنی باید فقط در ۸۰ تا ۹۰٪ تنظیم شود. اساساً ۱۰ تا ۲۰٪ باقیمانده برای افزایش برد رله در حالت گذرا در رله آنی است. اگر رله افزایش برد یابد آنگاه در خطاهای گذرا مثلاً نقطه x هماهنگی حفاظتی از بین می رود.

۵-۴-۱- افزایش برد گذرا

شکل (۹-۵) یک خط را که از یک طرف تغذیه می شود نشان می دهد. فرض کنید این خط توسط یک رله جریان زیاد آنی حفاظت می شود. نسبت تبدیل CT برابر $100/A$ است. خطایی در نقطه X در هنگام حداکثر مقدار موج ولتاژ رخ می دهد. یعنی موج جریان سینوسی خالص بوده و در آن جزء dc موجود نیست مقدار عملکرد رله جریان برابر $1/A$ است. رله جریان زیاد تحت جریان خطای دائمی به نقطه X می رسد.



شکل (۹-۵): افزایش برد گذرا روی جریان خطا با جزء dc

اکنون نقطه خطا را در به نقطه Y تغییر دهید و فرض کنید خطا در ولتاژ صفر رخ می‌دهد جریان خطا دارای یک جزء dc سوار بر جزء سینوسی ac است جزء ماندگار ac از ۱۰۰A کوچکتر است. فرض کنید $I_{ac}=80A$ و $I_{dc}=60A$ بنابراین:

$$I_{RMS} = \sqrt{80^2 + 60^2} = 100A$$

$$I_{RMS} = \frac{100}{CT_{ratio}} = 1.0A \quad \text{در سمت رله}$$

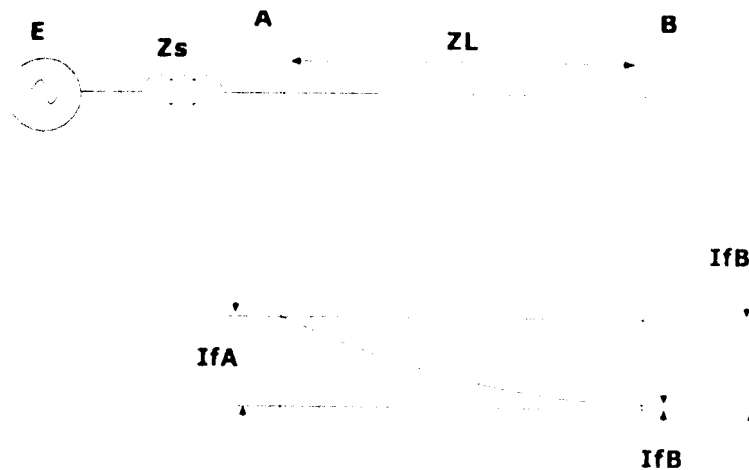
رله جریان زیاد اکنون عمل خواهد کرد. در این حالت گویند رله X به Y افزایش برد یافته است.

$$\% \text{ transient overreach} = \% \text{ افزایش برد گذرا} = \frac{(AY - AX)}{AX} \times 100$$

تمامی رله‌های با سرعت زیاد به وسیله جزء dc جریان خطا متأثر شده و عموماً تمایل به افزایش برد دارند. افزایش برد معمولاً در حد ۱۰٪ تا ۲۰٪ برد واقعی است. به این نکته در هنگام تنظیم رله باید توجه نمود تا هماهنگی با خط مجاور از میان نرود.

۵-۵. انتخاب بین رله IDMT و DTOC

اگر رله IDMT حفاظت سریعتری ایجاد می کند پس چرا از رله DTOC استفاده می گردد؟ به عنوان یک قاعده خطوط کوتاه به وسیله DTOC حفاظت می شوند و در خطوط بلند IDMT بر DTOC ارجحیت دارد. (شکل ۱۰-۵)



$$I_{fA} = E/Z_S$$

$$I_{fB} = E/(Z_S + Z_L)$$

$$S.I.R = Z_S/Z_L$$

شکل (۱۰-۵): انتخاب بین IDMT و DTOC

در شکل (۱۴-۵) جریانهای خطا برای خطای روی باس A (ابتدای خط) و برای خطای روی باس B (انتهای خط) عبارتند از:

$$I_{FA} = \frac{E}{Z_S} \quad \text{خطای روی باس A}$$

$$I_{FB} = \frac{E}{Z_S + Z_L} \quad \text{خطای روی باس B}$$

اکنون نسبت امپدانس شبکه (SIR) System Impedance Ratio را به صورت $Y = Z_S/Z_L$ تعریف می کنیم. در شکل جریانهای دو خطا بر حسب محل خطا در طول خط نشان داده شده اند. ملاحظه می شود که اگر Z_L در مقایسه با Z_S کوچک باشد تفاوت عمده ای بین دو خطا نخواهد بود. در حفاظت خطوط کوتاه و بلند توسط نسبت امپدانس شبکه تعریف می شوند. بنابراین در خطوط کوتاه که Z_S/Z_L بزرگ است تفاوت دو جریان خطا کوچک می باشد و کاهش عمده ای در زمان عملکرد رله با حرکت محل خطا از نقطه B به A رخ نمی دهد. مشخصه معکوس رله IDMT در این حالت مفید نخواهد بود. بنابراین برای خطوط کوتاه رله های ارزاتر DTOC ترجیح داده می شوند. در خطوط بلند (یعنی SIR کوچک) تفاوت در جریان خطا بزرگ بوده و لذا رله گرانتر IDMT ارجحیت دارد. مشخصه معکوس این رله به طور چشمگیری زمان عملکرد را با حرکت خطا از انتهای خط به طرف ابتدای آن تقلیل می دهد. به طور کلی روش متداول آن است که:

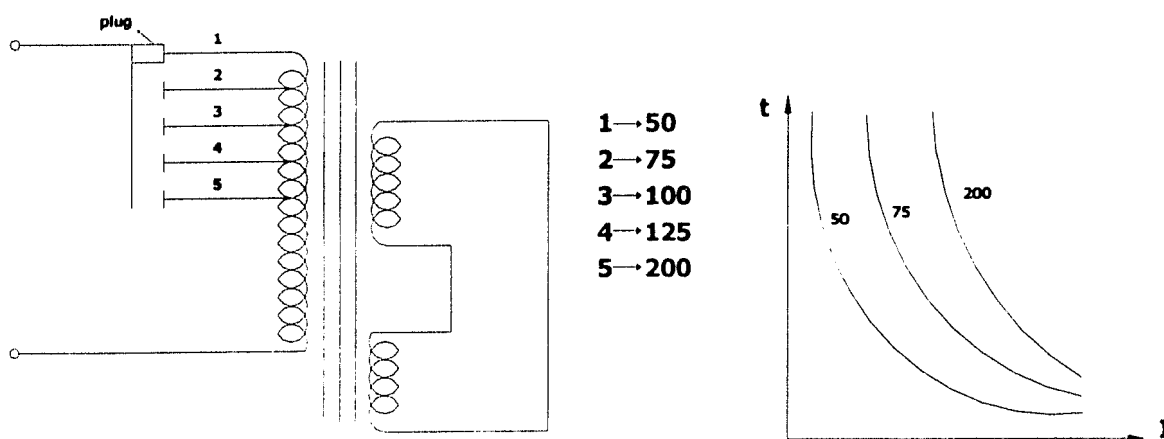
برای خطوط کوتاه (بزرگ $Z_S/Z_L = SIR$)، DTOC ترجیح داده می شود.

برای خطوط بلند (کوچک $Z_S/Z_L = SIR$)، IDMT ترجیح داده می شود.

در عمل برای $SIR < 2/10$ رله DTOC و برای $SIR > 2/10$ رله IDMT ارجح است.

در ادامه مطلب گفته شده ابتدا خلاصه ای از موارد ذکر شده پرداخته و در بعضی موارد مهم به بررسی مثالهای دیگری می پردازیم. برای تنظیم جریان سیم پیچی رله دارای تپ های مختلف می باشد وقتی plug در مکان اول باشد تمام سیم پیچی در مدار بوده و لذا بالاترین حساسیت را دارد در مکان هفتم فقط 1/4 سیم پیچ در مدار است و لذا رله ها 4 برابر جریان بیشتر برای ارائه همان پاسخ نیاز دارد. تپ اول برای تنظیمی 50% مقدار نامی رله بکار می رود و لذا تپ هفتم 200% = 4x50% خواهد بود. اگر نسبت C.T. برابر 500/1 باشد آنگاه تپ 50% برابر 250A اولیه و یا 0.5A ثانویه برای شروع عملکرد رله خواهد بود. به همین ترتیب تپ 200% به معنای 1000A اولیه یا 2A ثانویه برای شروع عملکرد رله خواهد بود.

جریان Pick-Up: حداقل جریان عبوری از رله که باعث حرکت دیسک می شود. توضیح: در مثال فوق این جریان در حالت اول 0.5A می باشد و به همین ترتیب در حالت تپ 200% برابر 1000A آمپر اولیه و 2A ثانویه برای شروع عملکرد می باشد. از آنجا که می توان موقعیت نگهدارنده کنتاکت ثابت دیسک را تنظیم کرد به طوریکه ریسک فاصله کمتری را طی می کند لذا ضریب تنظیم زمان Time Multiplier Setting T.M.S. مبین موقعیت نگهدارنده خواهد بود.



شکل (۱۵-۵)

تنظیم زمانی رله های جریان زیاد:

زمان ذکر شده روی منحنی های عملکرد رله معمولاً زمانی است که دیسک باید 180 درجه را طی کند. به عنوان مثال اگر هنگامی که دو برابر مقدار تنظیمی از رله جریان عبور کند و رله در 10 ثانیه عمل نماید با قراردادن ضریب تنظیم زمان در 50% زمان عملکرد 50 ثانیه کاهش خواهد یافت.

$$t = (T.M.S.) \times t_1$$

زمان عملکرد واقعی رله

t_1 : زمان طی مسافت 180 درجه توسط دیسک

$$t_1 = \frac{3}{\log M}$$

رله های استاندارد دارای مشخصه ای بصورت t_1 می باشند.

$$M \Rightarrow P.S.M. = \text{Plug Setting Multiplier} = \frac{I_f}{I_{set}}$$

I_f : جریان عبوری از رله هنگام خطا I_{set} : جریان تنظیمی رله $T.M.S. \rightarrow [0.1 \dots 1]$

نحوه تنظیم رله جریان زیاد :

زمان مورد نظر را با T.M.S. و جریان مورد نظر را بوسیله Plug Setting تنظیم می‌کنیم. طبق استاندارد BS142 رله جریان زیاد باید به طور قطع در 70٪ مقدار تنظیم شده reset شده و در 130٪ مقدار تنظیمی قطعاً عمل کند رله های جدید دارای X مقدار reset در 90٪ بوده و عملکرد قطعی آنها در 110٪ می باشد.
دو نکته :

- 1- لازم است در شرایط بار کامل رله در وضعیت reset باشد.
 - 2- در هنگام اضافه بار موقت نباید رله عمل کند به عبارت دیگر جریان اضافه بار نباید از 1/1 تنظیم تجاوز نماید. I_{over}
- $$I_{full-load} < 0.9 I_{set} \quad I_{load} < 1.1 I_{set}$$
- نکته : دو شرط فوق مربوط به تنظیم رله از دیدگاه جریان آن می باشند.

تنظیم زمان رله (T.M.S.) :

معمولاً بین عملکرد رله اصلی و پشتیبان حداقل زمانی حدود 0.4 ثانیه مورد نظر است. برای تمایز بین عملکرد دو رله 4 عامل مؤثر است:

- الف : معمولاً 0.1 ثانیه تخلف از منحنی های عملکرد رله ها مجاز است.
- ب : معمولاً 0.05 ثانیه برای Overshoot حرکت رله در نظر می گیرند.
- ج : معمولاً 0.1 ثانیه لازم است تا رله رو به جلو حرکت کند و آنگاه فرمان قطع صادر گردد.
- د : زمان باز شدن کلید قدرت را حدود 0.15 ثانیه در نظر می گیرند.

تمرین : فرض کنید نسبت تبدیل C.T. برابر 800/5 باشد. جریان حداکثر بار عادی $I_{full-load}$ 770 A باشد و حداکثر جریان خطای آن 1000 A باشد. جریان اضافه بار برابر 920 A است. $I_{full-load}$ فرض کنید می خواهیم جریان حداکثر خطا در 0.5 ثانیه قطع شود. تنظیم جریان و زمان رله جریان زیاد را بدست آورید؟

حل :

الف : تنظیم جریان رله :

$$I_{full-load} < 0.9 \times I_{set}$$

$$I_{set} = \frac{I_{full-load}}{0.9} \times 100\%$$

$$I_{over-load} < 1.1 \times I_{set}$$

$$\Rightarrow I_{set} = \frac{770}{0.9 \times 800} \times 100 = 107\% \quad * \quad I_{set} = \frac{I_{over-load}}{1.1 \times 800} \times 100\%$$

$$\Rightarrow I_{set} = \frac{920}{1.1 \times 800} \times 100 = 105\% \quad **$$

$$* \& ** \Rightarrow I_{set} = 125\% \quad I_{set} = 125\% \times 800 = 100A$$

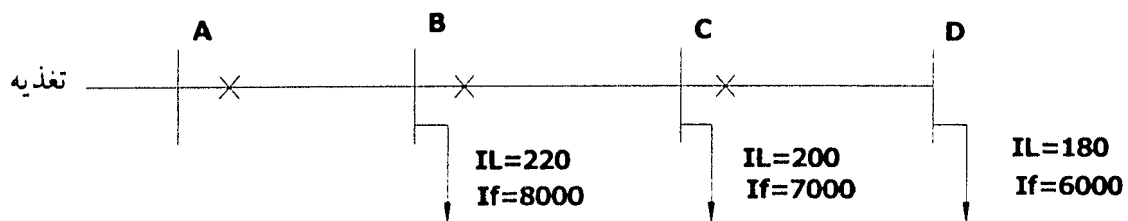
$$t = (T.M.S.) \times t_1 \quad t_1 = \frac{3}{\log M} \quad M = I \quad \text{ب : تنظیم زمانی رله :}$$

t زمان عملکرد t_1 : زمان عملکرد رله در صورت پیمودن 180 درجه توسط دیسک

$$I_f = 1000A \quad I_{set} = 1000A \quad M = \frac{10000}{1000} = 10 \quad t_1 = \frac{3}{\log 10} = 3 \text{ sec}$$

$$0.5 = (T.M.S.) \times 3 \quad (T.M.S.) = \frac{0.5}{3} = 0.17$$

تمرین: شکل زیر یک شبکه توزیع شعاعی را که از طریق ایستگاه A تغذیه می‌شود نشان می‌دهد. در ایستگاه D موتوری وجود دارد که ۱۵KW بوده و در هنگام راه‌اندازی به مدت ۵ ثانیه ۶ برابر جریان دائمی خود را که ۲۸A است از شبکه دریافت می‌نماید. رله های A, B, C را به طور هماهنگ تنظیم نمایید. برای آنکه فیوزهای موجود در ایستگاه D فرصت عمل داشته باشند لازم است در هنگام وجود خطا در ایستگاه D رله C این خطا را بعد از ۰/۳ ثانیه قطع کند؟



حل: تنظیم رله C: $I_L = 180A$ جریان بار کامل $CTRatio: 250/1$

$$I_{overload} = 180 + (6 \times 28) - 28 = 320A = I_T$$

نکته: علت کم کردن یک عدد ۲۸ در محاسبه جریان اضافه بار آن است که ۲۸A جریان معمولی در $180A$ لحاظ شده.

$$I_{set} = \frac{180}{0.9 \times 250} \times 100 = 80\%$$

$$I_{set} = 125\% = 250 \times 1.25 = 312.5A$$

$$I_{set} = \frac{320}{1.1 \times 250} \times 100 = 116\%$$

$$I_f = 6000 \quad M = \frac{6000}{312.5} = 19.2 \quad t_1 = \frac{3}{\log 19.2} = 2.32$$

نکته: 0.3 sec = زمان مورد نیاز برای تمایز با عملکرد فیوزها در ایستگاه D

تنظیم رله B: چون قرار است رله B از رله C پشتیبانی نماید لذا رله B را در I_{fmax} با رله C هماهنگ می‌نمائیم. $I_{fmax} = 7000A$ باید بینیم که این جریان را در چه زمانی قطع می‌کند.

$$M = \frac{7000}{312.5} = 22.4$$

$$t = 0.13 \times \frac{3}{\log 22.4} = 0.13 \times 0.22 = 0.29 \quad \text{زمان عملکرد رله C برای } I_{fmax}$$

$CT \text{ ration} = 500/1$

$$t_B = 0.29 + 0.4 = 0.69 \quad \text{زمان عملکرد رله B برای } I_{fmax}$$

$$I_L = 200 + 180 = 380A \quad I_T = 200 + 320 = 520A$$

$$I_{set} = \frac{380}{0.9 \times 500} \times 100 = 84\%$$

$$I_{set} = 100\% = 500A$$

$$I_{set} = \frac{520}{1.1 \times 500} \times 100 = 95\%$$

$$M = \frac{7000}{500} = 14 \quad t_1 = \frac{3}{\log 14} = 2.6 \text{ sec}$$

زمان عملکرد رله B برای I_{fmax} و حرکت کامل دیسک

$$(T.M.S.) = \frac{0.69}{2.6} = 0.27$$

تنظیم رله A :

$$CT.ratio = 800/1 \quad I_L = 380 + 220 = 600A \quad I_T = 520 + 220 = 740A$$

$$I_{set} = \frac{600}{0.9 \times 800} \times 100 = 83\% \quad I_{set} = \frac{740}{1.1 \times 800} \times 100 = 84\%$$

$$\Rightarrow I_{set} = 100\% = 800A \quad I_{fmax} = 800A$$

$$t = 0.27 \times \frac{3}{\log \frac{800}{500}} = 0.67 \text{ sec}$$

زمان عملکرد رله B برای I_{fmax}

$$t_A = 0.67 + 0.4 = 1.07 \text{ sec} \quad M = \frac{8000}{800} = 10 \quad t_1 = \frac{3}{\log 10} = 3 \text{ sec}$$

$$(T.M.S.)_A = \frac{1.07}{3} = 0.36$$

زمان عملکرد رله A به ازای I_{fmax} و حرکت کامل دیسک

T.M.S	I_{set}	نسبت تبدیل CT	رله
۰/۱۳	٪۱۲۵	۲۵۰/۱	C
۰/۲۷	٪۱۰۰	۵۰۰/۱	B
۰/۳۶	٪۱۰۰	۸۰۰/۱	A

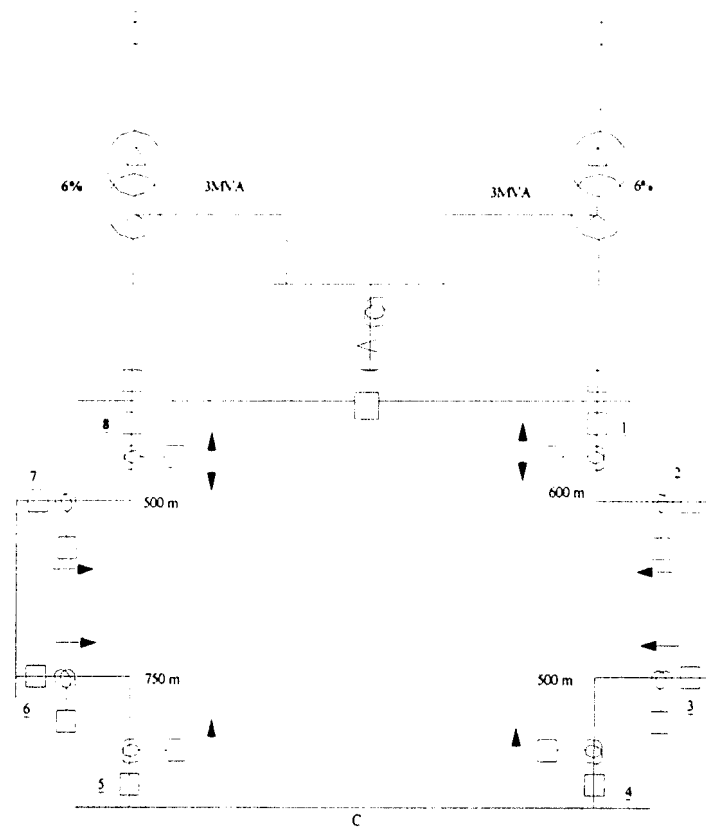
هماهنگی و تنظیم رله های جریان زیاد در شبکه ها حلقوی با یک منبع تولید:

در دو جهت این شبکه را بررسی می نمایم یک دفعه در جهت عقربه های ساعت و یک دفعه در خلاف جهت عقربه های ساعت و هر دفعه به شکل یک شبکه شعاعی آنرا بررسی می کنیم. در هر بار از یکی از نقاط a و a' شبکه را می گشاییم تا امکان بررسی آن به صورت شعاعی فراهم شود.

نکته: باید توجه داشت که هر کدام از رله ها که کشیده شده در حقیقت سه رله دیگر که مربوط به سه فاز را در بر می گیرد.

جزئیات مطلب را در قالب یک مثال بررسی می نمایم.

مثال: در شبکه زیر رله های جریان زیاد را بطور هماهنگ تنظیم کنید؟



حل: در این مثال موارد زیر باید بررسی شود:

الف - لزوم هماهنگی رله ها در شرایط باز بودن کلیدهای ۱ و ۸

ب - محاسبه جریان های اتصال کوتاه برای خطا در شین های B, C, D

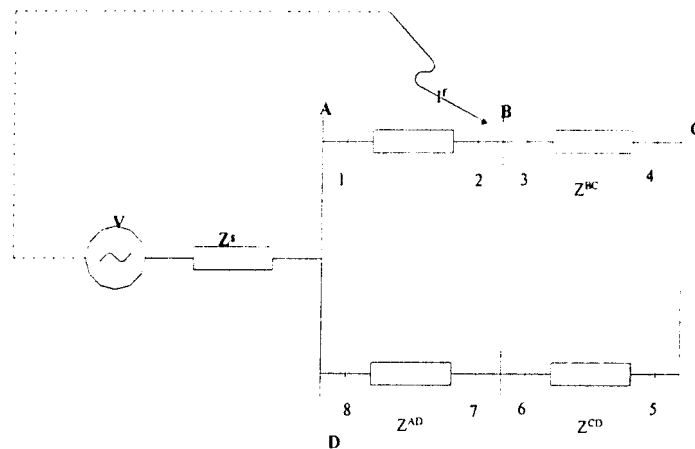
ج - هماهنگ نمودن رله های جریان زیاد

د - تکرار قسمتهای فوق برای رله های اتصال زمین.

الف) با توجه به اینکه رله ها باید به ازاء حداکثر جریانهای اتصال کوتاه هماهنگ شوند لذا بطور نمونه شبکه را برای خطا در شین

B با باز بودن و بسته بودن حلقه در نقطه ۱ بررسی می نماییم. جریان اتصال کوتاه در کدام حالت بیشتر است.

۱- شرایط بسته بودن



$$I_f = \frac{V}{Z_S + [Z_{AB} \parallel (Z_{BC} + Z_{CD} + Z_{AD})]}$$

فصل ششم

حفاظت ژنراتور

ژنراتور گرانترین و مهمترین دستگاه در شبکه قدرت است. بدلیل وجود تجهیزاتی چون گرداننده اصلی (توربین)، تنظیم کننده ولتاژ، سیستم خنک کن و نظایر آن، حفاظت الکتریکی کار پیچیده و دشواری خواهد بود. معمولاً واحدهای تولیدی مجهز به سیستم های حفاظتی زیر هستند.

الف) حفاظت استاتور:

- ۱- رله دیفرانسیلی درصدی
- ۲- حفاظت در مقابل خطای بین حلقه های سیم پیچی یک فاز
- ۳- حفاظت در مقابل گرم شدن استاتور

ب) حفاظت روتور

- ۱- حفاظت در برابر اتصال زمین میدان
- ۲- حفاظت در برابر قطع تحریک
- ۳- حفاظت در مقابل گرم شدن روتور بر اثر جریانهای نامتعادل سه فاز استاتور

ج) حفاظتهای جانبی

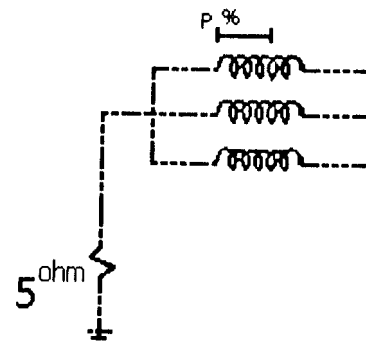
- ۱- حفاظت در برابر ولتاژ زیاد
- ۲- حفاظت در برابر سرعت زیاد
- ۳- حفاظت در برابر موتوری شدن
- ۴- حفاظت در برابر لرزش

مثال: یک ژنراتور ۱۰۰ MVA و ۱۱ KV توسط یک مقاومت ۵ اهمی زمین شده است. نسبت تبدیل CT برابر ۱۰۰۰/۵ است. رله طوری تنظیم شده است که اگر عدم تعادل جریان از ۱A بیشتر باشد رله عمل می کند. چند درصد سیم پیچی ژنراتور بوسیله رله دیفرانسیل محافظت خواهد شد. فرض کنید P٪ سیم پیچی از نقطه صفر بدون حفاظت باشد.

$$\left[\frac{P}{100} * \frac{11000}{\sqrt{3} * 5} \right] \text{جریان خطا}$$

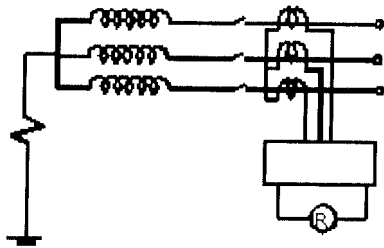
$$\left[\frac{P}{100} * \frac{11000}{\sqrt{3} * 5} \right] > 1 * \frac{1000}{5}$$

$$P > 15.75$$



۱۵٫۷۵٪ سیم پیچی از انتها بوسیله رله دیفرانسیل محافظت نخواهد شد.

مثال: یک ژنراتور ۱۱۰MVA، ۱۱KV، بوسیله رله دیفرانسیل حفاظت می شود. ۸۵٪ سیم پیچی در مقابل خطای فاز به زمین توسط این رله محافظت خواهد شد. رله طوری تنظیم شده است که در مقابل ۲۰٪ عدم تعادل جریان فعال می گردد. مقدار مقاومتی را که باید در نقطه صفر با زمین قرار دارد بدست آورد.



$I =$ جریان خطای اولیه که به ازای آن عمل می کند

$$\left[\left(100 \cdot 10^3 / \sqrt{3} \cdot 11 \right) \cdot \left(20 / 100 \right) \right] = 1049.75 A$$

$$P = 100 - 85 = 15\%$$

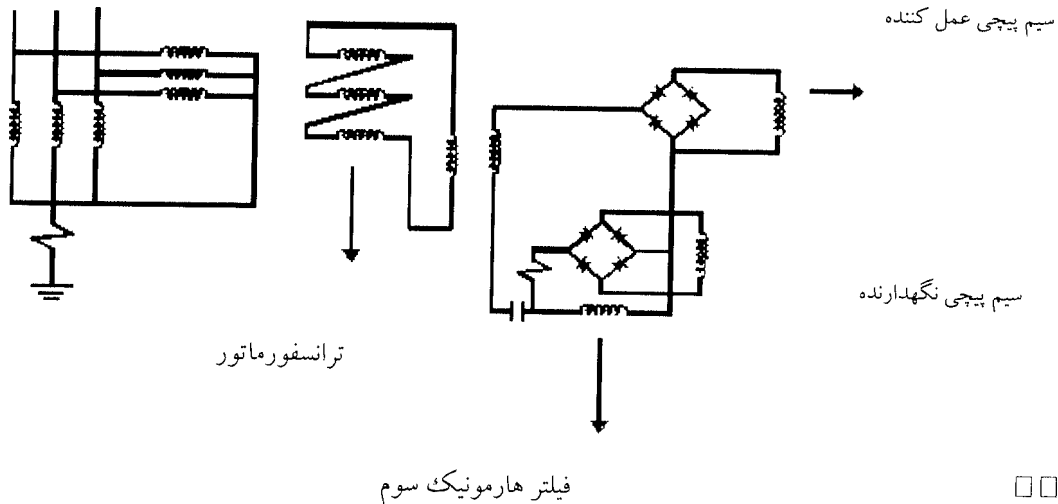
جریان خطا در هنگام اتصال کوتاه تکفاز

$$I = \left[\frac{P}{100} \cdot \frac{11 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot R_n} \right] = 1049.759$$

$$R_n = 9.1$$

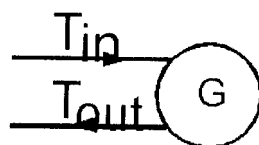
حفاظت در مقابل اتصال حلقه (inter turn)

علت قرار دادن فیلترها هارمونیک سوم آن است که در صورتی که در هر یک از فازهای ژنراتور اتصال فاز با زمین پیش آید و ولتاژ در ترانسها القا شود فیلتر مانع عملکرد رله شود.



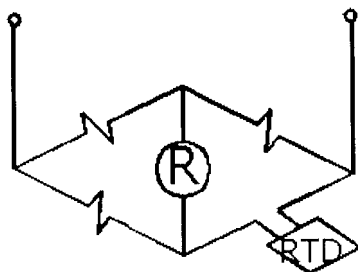
حفاظت در مقابل گرم شدن استاتور

گرم شدن استاتور می تواند ناشی از نقص سیستم خنک کن، بار زیاد یا خطاهای هسته بر اثر اتصال کوتاه شدن لایه ها





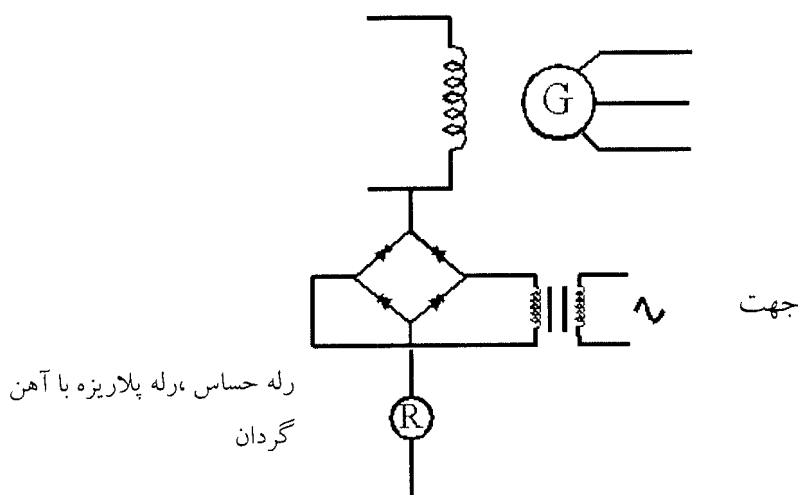
و یا نقص عایق سیم پیچ های هسته باشد. یک روش نظارت بر درجه حرارت ورودی و خروجی ماده خنک کننده می باشد. در روش دیگر حسگرهای درجه حرارت در کف شیارهای استاتور قرار داده می شود.



□

حفاظت روتور

□ چون سیم پیچی میدان مستقل از زمین است بنابراین اگر یک نقطه آن زمین شود عملکرد ژنراتور از آن متاثر نخواهد بود و صدمه ای بوجود نمی آید ولی اگر نقطه دیگری از سیم پیچی بعنوان دومین نقطه زمین شود بخشی از سیم پیچی میدان



اتصال کوتاه شده و لذا جریان عبوری از مابقی سیم پیچی افزایش می یابد. این موضوع سبب عدم تعادل در شارهای فاصله هوایی گردیده و لذا یک عدم تعادل در نیروهای مغناطیسی دو سر روتور ایجاد می شود. □ □ عدم تعادل در نیروهای مغناطیسی سبب می شود که محور روتور خارج از مرکز قرار گیرد و سبب لرزش شدید شود. و در این جا از رله زیر استفاده می شود:

حفاظت قطع تحریک

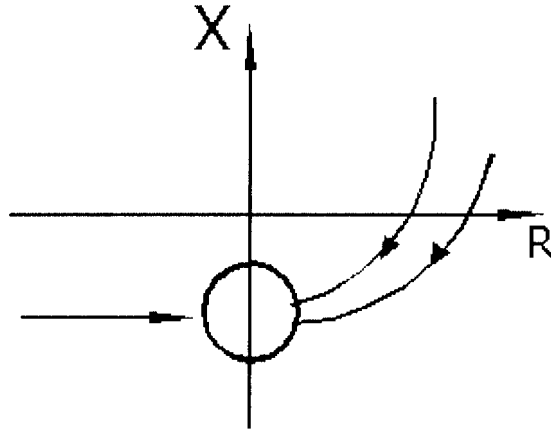
وقتی تحریک ژنراتور قطع میشود سرعت آن اندکی افزایش یافته و ژنراتور بصورت القایی کار می کند. ژنراتورهای قطب صاف به دلیل عدم داشتن سیم پیچی میرائی برای چنین کارکردی مناسب نیست. روتور سریعاً داغ می شود و جریانهای شدیدی در آهن آن القا میشود. روتور ژنراتورهای قطب برجسته بدلیل وجود سیم پیچهای میرائی که جریانهای القایی را عبور می دهند گرم نخواهد شد. ولی استاتور ژنراتورهای قطب صاف و برجسته به دلیل کشیدن جریان راکتیو شدید از شبکه گرم می شوند. گرم شدن استاتور به سرعت گرم شدن روتور نیست. طرح حفاظتی قطع تحریک مبنی بر استفاده از رله MHO-OFFSET و یا امپدانس جهت دار شبیه شکل زیر می باشد: وقتی تحریک ژنراتور قطع میشود، مکان امپدانس معادل ژنراتور از ربع اول تغییر مکان میدهد. چنین مسیری در شرایط دیگر طی نمی شود.



حفاظت روتور در مقابل گرم شدن ناشی از جریانهای نامتعادل استاتور

الف) مولفه ترتیب منفی جریانهای نامتعادل استاتور سبب القا جریانی با دو برابر فرکانس نامی در آهن روتور می گردد.

اگر این مولفه زیاد شود آنگاه گرمایش شدید روتور را در پی خواهد داشت. عدم تعادل جریانهای استاتور می تواند در اثر عوامل



زیر باشد:

الف) رخداد خطای نامتقارن در استاتور

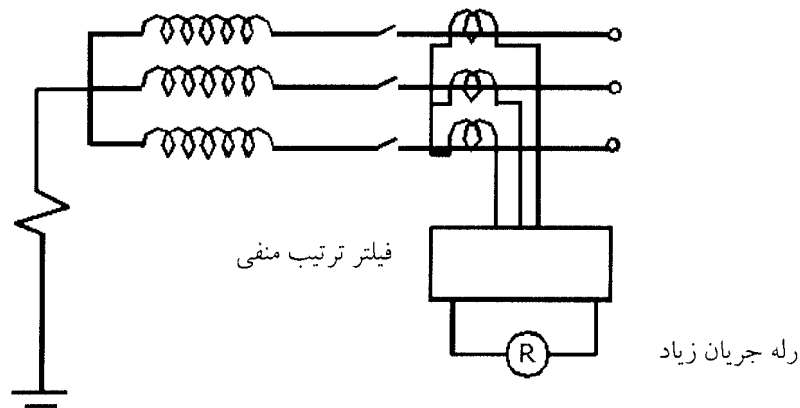
ب) رخداد خطای نامتقارن خارجی در شبکه که سریعاً پاک نشود.

ج) پارگی یک فاز.

د) نقص یکی از کنتاکتهای کلید قدرت.

زمانی که روتور قادر است این شرایط را تحمل کند از رابطه زیر بدست می آید:

برای ژنراتورهای قطب برجسته $k=60$ برای ژنراتورهای قطب صاف $k=7$



حفاظت های جانبی

الف) حفاظت ولتاژ زیاد

ولتاژ زیاد می تواند ناشی از نقص تنظیم کننده ولتاژ یا برداشت ناگهانی بار ژنراتور باشد. هنگامی که بار برداشته شود

سرعت ماشین افزایش می یابد و لذا ولتاژ نیز افزایش می یابد. در واحدهای بخاری می توان بخار را قبل از رسیدن سرعت به مرزی



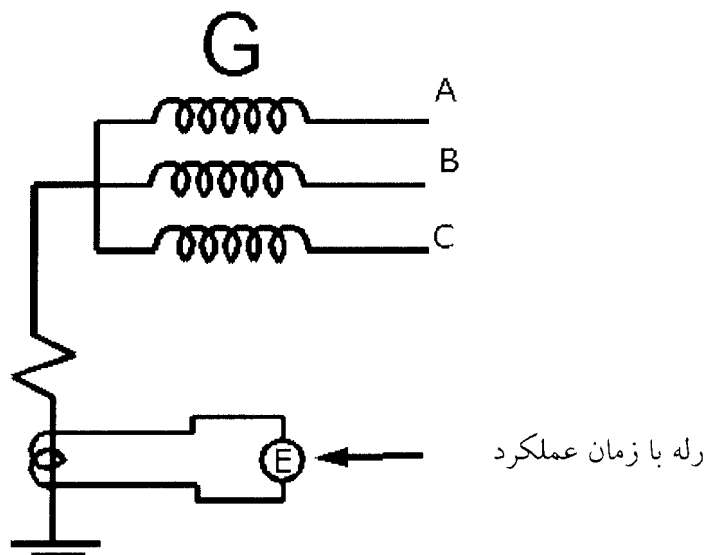
که ولتاژ زیاد خطرناک تولید شود میان بر (BY-PASS) نمود. در واحدهای بخاری تنظیم کننده خود کار ولتاژ قادر است ولتاژ زیاد متناسب با سرعت زیاد را کنترل نماید. در واحدهای آبی نمی توان جریان آب را سریعاً متوقف و یا منحرف نمود و لذا سرعت زیاد رخ خواهد داد. بنابراین در واحدهای آبی از رله های ولتاژ زیاد استفاده می گردد. در واحدهای توربین گاز نیز استفاده از رله ولتاژی متداول می باشد.

ب) حفاظت در مقابل موتوری شدن

وقتی که تغذیه بخار توربین قطع می شود، ژنراتور به صورت موتور در می آید. توربین بخار به دلیل عدم عبور بخار کافی از لایه پره های آن گرم می شود. بنابراین از یک رله حفاظتی برای محافظت از توربین در چنین شرایطی استفاده می شود. معمولاً رله در هنگامی که توان خروجی کمتر از ۳٪ می گردد عمل می کند. در واحدهای آبی نیز رله حفاظتی توان معکوس راروی ۲٪ تنظیم می کند. در واحدهای دیزلی و توربینهای گازی تنظیم رله به ترتیب ۲۵٪ و ۵۰٪ می باشد.

ج) حفاظت پشتیبان

معمولاً از رله های جریان زیاد بعنوان پشتیبان استفاده میشود ولی در ژنراتورهای واحدهای بخاری امپدانس سنکرون بیشتر از ۱۰۰ درصد بوده و لذا جریان خطا کمتر از جریان نامی بار میشود. بنابراین، رله های استاندارد جریان زیاد نمیتوانند بعنوان پشتیبان بکار روند. رله جریان زیاد با کنترل ولتاژ برای چنین مقصودی مناسب است. گزینه بهتر استفاده از رله های دیستانس راکتانسی یا امپدانسی میباشد. حفاظت پشتیبان دیگری که استفاده میشود استفاده از یک رله اتصال زمین با زمان عملکرد زیاد است. چون چه خطا در داخل ژنراتور و چه بیرون باشد عمل میکند:







فصل هفتم: حفاظت ترانسفورماتور

طرحهای حفاظتی به ظرفیت ترانسها بستگی دارند ترانسفورماتورهایی که در سیستمهای توزیع و انتقال به کار میروند از چندصد KVA تا چندصد MVA هستند. برای ترانسفورماتورهای کوچک معمولاً از تجهیزات حفاظتی ساده همانند فیوز استفاده میشود. برای حفاظت ترانسفورماتورهای متوسط از رله جریان زیاد استفاده میکنند و برای ترانسفورماتورهای بزرگ از رله دیفرانسیل استفاده میشود.

خطاهای ترانسفورماتور

الف) خطاهای خارجی

ب) خطاهای داخلی

- **خطاهای خارجی:** در هنگام خطاهای خارجی اگر تجهیزات حفاظتی دیگر عمل نکنند باید بعد از گذشت زمان معینی ترانسفورماتور را از شبکه جدا کرد. برای خطاهای خارجی از رله های جریان زیاد با درجه بندی زمانی بصورت حفاظت پشتیبان استفاده می گردد. برای حفاظت ترانسفورماتور در مقابل اضافه بار از رله های حرارتی استفاده می شود.
- **خطاهای داخلی:** حفاظت اصلی ترانس برای خطاهای داخلی می باشد و به دسته عمده تقسیم می گردد:

۱- خطاهای اتصال کوتاه

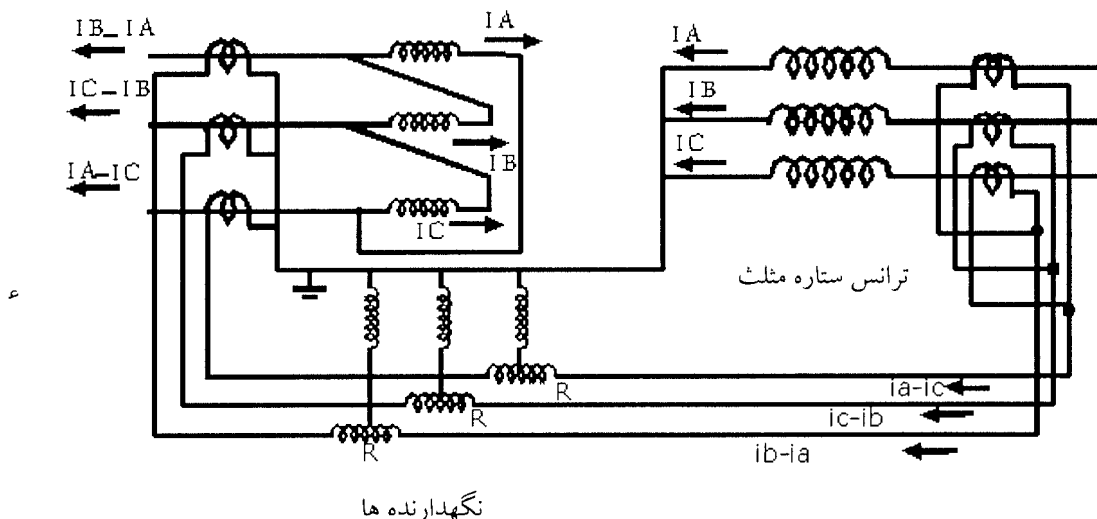
این نوع خطاها بسیار شدید بوده و سبب خسارات آنی می شود. تشخیص این خطاها از طریق افزایش جریانها و عدم تعادل ولتاژها صورت میگیرد این نوع خطاها شامل اتصال کوتاه فاز با زمین، فاز به فاز و اتصال حلقه هستند.

۲- خطاهای جزئی

این نوع خطاها گرچه جزئی هستند ولی در دراز مدت باعث آسیب ترانس می شوند. چنین خطاهایی از طریق ولتاژ و جریانها در خروجی ترانس قابل تشخیص نیستند بنابراین تجهیزات حفاظتی مورد استفاده برای حفاظت ترانسفورماتور در مقابل اتصال کوتاه برای این خطاها مناسب نیستند چنین خطاهایی شامل اتصالات سست الکتریکی، خطاهای هسته، نقص سیستم خنک کن، خطاهای تنظیم کننده ولتاژ می باشد.

حفاظت دیفرانسیل درصدی

از رله دیفرانسیل برای حفاظت ترانسفورماتورهای بزرگتر از ۵ MVA استفاده می شود



• • •
• • •
• • •

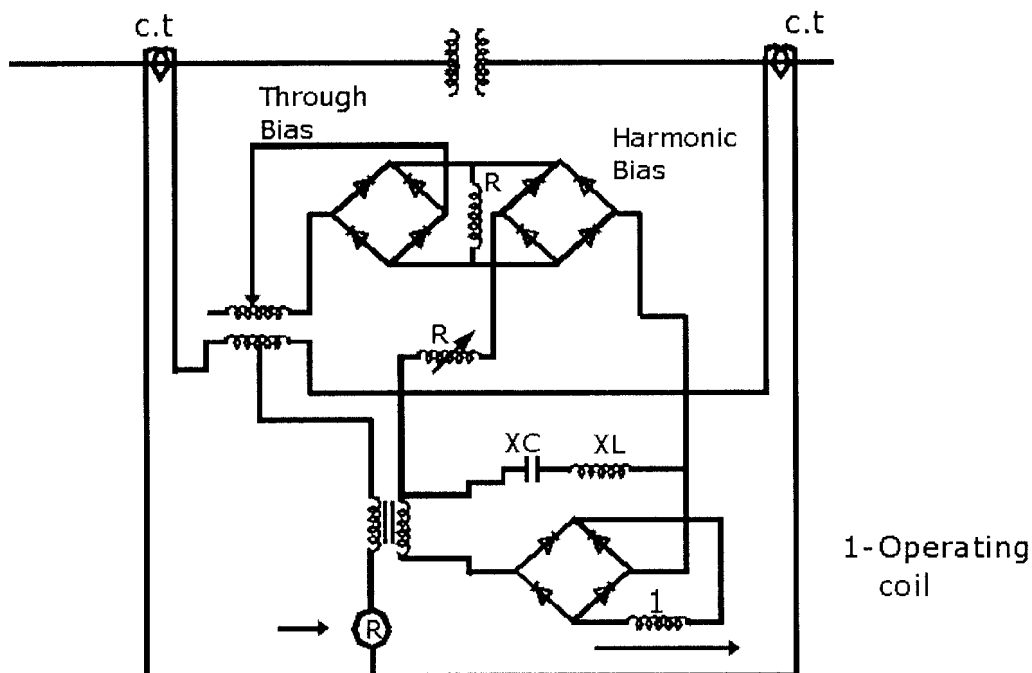
CT های متناظر با اتصال ستاره ترانسفور ماتور قدرت به صورت مثلث و CT های متناظر با اتصال مثلث ترانسفور ماتورها به صورت ستاره بسته می شود تنظیم رله دیفرانسیل برای حفاظت ترانس بالاتر از ژنراتور قرار داده می شود. در ژنراتور معمولاً برای سیم پیچ عمل کننده ۱۰٪ و برای نگهدارنده ۵٪ در نظر گرفته می شود. در حالی که مقادیر متناظر در ترانسفور ماتور به ترتیب عبارتند از ۴۰٪ و ۱۰٪ هستند. دلایل این امر عبارتند از :

الف) ترانسفور ماتورها معمولاً مجهز به تپ چنجر زیر بار هستند. نسبت تبدیل CT ها را نمی توان با تغییر تپ ترانسفور ماتور تغییر داد. بنابراین در تپ های غیر از تپ نامی جریان عدم تعادل از سیم پیچی عمل کننده رله هنگام شرایط عادی و اتصال کوتاه خارجی عمل می کند

ب) وقتی که ترانسفور ماتور بی بار است، جریان بی باری از رله نمی گذرد. بنابراین تنظیم آن باید از جریان بی باری بالاتر باشد.

حفاظت در مقابل جریان هجومی

وقتی که ترانسفور ماتور برقدار می شود، جریان مغناطیس کنندگی بزرگی که ممکن است چند برابر جریان نامی ترانس باشد از شبکه دریافت می دارد. به این جریان مغناطیس کنندگی اولیه، جریان هجومی گفته میشود. چون جریان هجومی فقط در سیم پیچی اولیه جاری می شود لذا رله دیفرانسیل آنرا به عنوان خطای داخلی می بیند. محتوای هارمونیک جریان هجومی با اتصال کوتاه تفاوت دارد. جزء DC آن بین ۴۰ تا ۶۰ درصد، هارمونیک دوم ۳۰ تا ۷۰ درصد و هارمونیک سوم ۱۰ تا ۳۰ درصد هستند. هارمونیک های دیگر به نسبت کاهش می یابند. با این حال هارمونیک و مضارب آن در خروجی آنها ظاهر نمیشوند. چون آنها در سیم پیچی مثلث ترانس و CT های بسته شده بصورت مثلث متناظر با سمت ستاره ترانس گردش مینماید. چون هارمونیک دوم در جریان هجومی بزرگتر از جریان خطا میباشد لذا از این ویژگی برای تمایز جریان هجومی از جریان اتصال کوتاه استفاده می کنند.

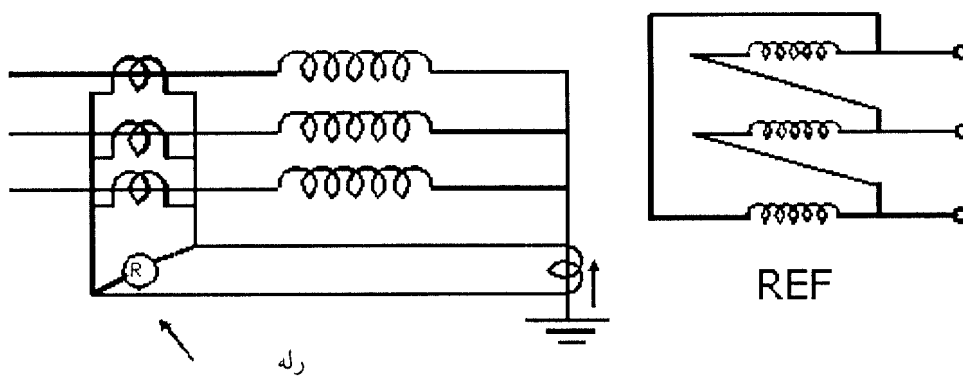




XI و XC بصورت یک فیلتر هارمونیک دوم عمل میکنند که از جریان جزء هارمونیک را بیرون کشیده و آن را به نگهدارنده اضافه کرده اند. یعنی وقتی هارمونیک دوم داریم آن را به سیم پیچ نگهدارنده اضافه کرده و لذا به عمل نکردن رله هنگام داشتن هارمونیک کمک کرده ایم. این فیلتر یک فیلتر میان گذر مثلا 100 hz است. علت آنکه رله جریان زیاد آبی به کار برده ایم آن است که امکان دارد در داخل ترانس اتصالی رخ دهد و فیلتر نگذارد رله عمل کند.

حفاظت اتصال زمین محدود (RESTRICTED EARTH FAULT(REF))

استفاده از رله جریان زیاد و اتصال زمین ساده حفاظت خوبی خصوصا در مواردی که نقطه صفر بوسیله یک امپدانس زمین شده باشد ارائه نمی نماید. حفاظت REF برای این منظور استفاده میشود



جهت جریان $2I_0$ همواره به صورت لایتغیر میماند.

اگر خط بیرون ترانس باشد جریان وارده به نقطه A بدون

ورود به رله R ادامه مسیر میدهد.

حفاظت REF

حفاظت فلوی زیاد

با افزایش ولتاژ شار مغناطیسی افزایش می یابد. این موضوع منجر به افزایش تلفات آهن و جریان مغناطیس کنندگی میگردد. هسته و سیم پیچهای هسته گرم شده و عایق بین ورقها نیز تاثیر میپذیرند. در محل هایی که امکان رخداد ولتاژ زیاد ماندگار وجود دارد از حفاظت فلوی زیاد استفاده می گردد. کاهش فرکانس نیز سبب افزایش چگالی شار شده و در نتیجه تاثیری شبیه افزایش ولتاژ دارد.

بنابراین برای کنترل شار به نسبت E/F کنترل میشود. اگر E/F از یک پریونیت بیشتر شود باید آن را آشکار نمود. معمولا

تا 10 درصد فلوی زیاد مجاز بوده ولی اگر E/F از 1,1 بیشتر شود باید رله عمل کند.



می دهند و چنین بیان می شود: مقدار زاویه ای که جریان اعمال شده به رله باید نسبت به ولتاژ اعمال شده به آن پیش افتد تا حداکثر گشتاور عاید شود.

۳-۸ اتصالات رله های جهت دار

اگر مسئله تنها خطاهای سه فاز بود، دو نوع اتصال رله های جهت دار که می توانست تحت زاویه مشخص، حداکثر گشتاور لازم را ایجاد نماید قابل قبول می گردید اما برای اینکه درجه بندی جهت دار در تمام شرایط اتصال کوتاه تامین شود باید به اتصالات صحیح رله ای، که این منظور را برآورده می سازد فکر نمود. به طور کلی سه نوع استاندارد برای اتصالات این رله ها موجود می باشد که به اتصالات ۳۰ درجه و ۶۰ درجه و ۹۰ درجه معروف می باشند و هر کدام بیانگر روابط خازنی موجود بین ولتاژ پلاریزه و جریان تزریق شده به رله در ضریب توان واحد هستند:

۱- اتصال ۳۰ درجه ($AMT=0^\circ$)

تغذیه رله ها:

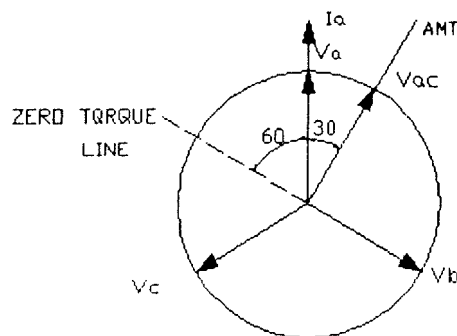
$$\Phi_A : (I_a, V_{ac}) \quad \Phi_B : (I_b, V_{ba}) \quad \Phi_C : (I_c, V_{cb})$$

حداکثر گشتاور: هنگامیکه جریان نسبت به ولتاژ فاز به نول، ۳۰ درجه پس فاز باشد.

زاویه عملکرد: زوایای جریان از ۶۰ درجه پیش فاز تا ۱۲۰ درجه پس فاز.

استفاده:

این نوع از اتصال، با استفاده از سه رله، یعنی در هر فاز یک رله، باید همواره در فیدرها بکار گرفته شود، زیرا دو عنصر فازی و یک عنصر زمین ممکن است به عملکرد نادرست منجر شود. آرایش واحد سه فاز نیز نباید در مولدهای ترانسفورماتوری مورد استفاده قرار گیرد. زیرا در این مدارها، رخداد خطاها ممکن است باعث عبور جریان در جهت معکوس در یک یا دو فاز شود و به عملکرد نادرست رله بینجامد.



نمودار برداری برای اتصال ۳۰ درجه ($AMT=0$)

۲- اتصال ۶۰ درجه ($AMT=0$)

تغذیه رله ها:

$$\Phi_A : (I_{ab}, V_{ac}) \quad \Phi_B : (I_{bc}, V_{ba}) \quad \Phi_C : (I_{ca}, V_{cb})$$

فصل هشتم

رله جهت دار

در صنعت حفاظت، رله جهت دار برای تعیین محل اتصال کوتاه و یا محل اتصال زمین در کنار رله جریان زیاد نصب می شود. با این که رله جهت یاب در هر دو حالت (اتصال کوتاه و یا اتصال زمین) جهت جریان یا جهت توان را سنجیده و مشخص می کند، ولی شرایط کار رله برای این دو حالت به طور کلی با هم متفاوت است. زیرا در محل اتصال کوتاه ولتاژ صفر و جریان بسیار زیاد است لذا نزدیکترین رله به محل اتصال کوتاه دارای ولتاژ کم و جریان زیاد می باشد. در صورتی که بر عکس در موقع اتصال به زمین شدن شبکه، رله دارای ولتاژی بیشتر از ولتاژ نامی شبکه (ولتاژ جابجاشده) و جریانی معادل مجموع جریان شبکه می باشد. به طوری که به خصوص در شبکه غربالی و تار عنکبوتی اگر مرکز ستاره شبکه توسط سلف زمین شده باشد، این جریان خیلی کوچک خواهد شد. در این صورت نزدیکترین رله به محل اتصال زمین، دارای جریان کم و ولتاژ زیاد می باشد. عملاً رله واتمتری یک فاز، برای تشخیص جهت وات یا جهت توان کافی است و به صورت رله ثانویه بر روی ترانسفورماتور جریان و ولتاژ بسته می شود.

۸-۱ رله جهت یاب برای مشخص کردن محل اتصال کوتاه

از آنجا که در موقع اتصال کوتاه، ولتاژ شبکه کم و بیش صفر می شود، اگر رله جهت دار همیشه با ولتاژ موجود در شبکه تغذیه شود، با وجود شدت جریان خیلی زیاد، ممان بسیار کوچکی تولید خواهد شد که ممکن است کافی برای به حرکت انداختن رله نباشد. از این جهت باید اقدام بخصوصی جهت بالا بردن ممان گردشی و در نتیجه بالا بردن حساسیت و دقت رله در موقعی که ولتاژ اتصال کوتاه کم است بعمل آورد. مثلاً با بزرگ انتخاب کردن سیم پیچی ولتاژ و حتی اگر لازم باشد با سری کردن یک مقاومت تابع ولتاژ با سیم پیچی بوبین ولتاژ، می توان ممان گردشی را بطور محسوسی بالا برد.

در نانی اگر سیم پیچی ولتاژ رله در لحظه اتصال، به کمک یک رله تحریک کننده دیگری به ولتاژ معینی بسته شود، رله برای مدت کوتاهی اضافه ولتاژ گرفته و ممان گردش آن بطور قابل ملاحظه ای بالا می رود. از طرف دیگر چون برای مشخص کردن محل اتصال کوتاه، فقط جهت توان لازم و کافی است و به هیچ وجه سنجش حقیقی توان لازم نمی باشد، لذا می توان در موقع اتصال دو فاز، از اختلاف سطح بین دو فازی که در اثر اتصال کوتاه شدن شبکه خیلی کوچک نشده است برای رله استفاده کرد تا ممان ایجاد شده به حد کافی بزرگ باشد. در موقع اتصال دو فاز مثلاً ما بین R و T ولتاژی که باعث عبور جریان اتصال کوتاه I می شود خیلی کوچک است، در صورتی که ولتاژ دو فاز دیگر خیلی کم تغییر کرده است. انتخاب ولتاژ صحیح و زیاد در موقع اتصال دو فاز مختلف برای رله جهت دار توسط یک رله جریان زیاد بخصوصی انجام می گیرد. اگر بلافاصله قبل از رله جهت یاب، شبکه اتصال کوتاه سه فاز شود، فقط رله بسیار دقیق و حساس می تواند حتی در این حالت نیز بکار افتد و ممان گردش لازم را تولید کند. در ضمن باید در نظر گرفت که مقاومت مدار اتصال کوتاه از مجموعه ای از مقاومت اهمی و سلفی تشکیل شده و اغلب مقاومت سلفی مدار به مراتب بزرگتر از مقاومت اهمی آن می باشد به این جهت اختلاف فاز بزرگی که بین جریان ولتاژ در موقع اتصال دو فاز بوجود می آید، کار رله جهت دار را به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. از این جهت باید تغذیه رله به طریقی باشد که همیشه ولتاژ مناسبی که اختلاف فاز آن با جریان اتصال کوتاه کوچک است برای رله تامین شود.

۸-۲ مشخصه های عمل رله های جهت دار:

در هر رله جهت دار، کمیتی که سبب بوجود آمدن یکی از فلوها می شود، به کمیت قطبی کننده (پلاریزه کننده) نام گذاری می گردد. کمیت پلاریزه کننده بعنوان مرجع انتخاب می شود، که می تواند جریان یا ولتاژ باشد. زاویه حداکثر گشتاور را با ATM نشان

۴- اتصال ۹۰ درجه (AMT= ۴۵°)

تغذیه رله ها:

$$\Phi_A : (I_a, V_{bc+45}) \quad \Phi_B : (I_b, V_{ca+45}) \quad \Phi_C : (I_c, V_{ab+45})$$

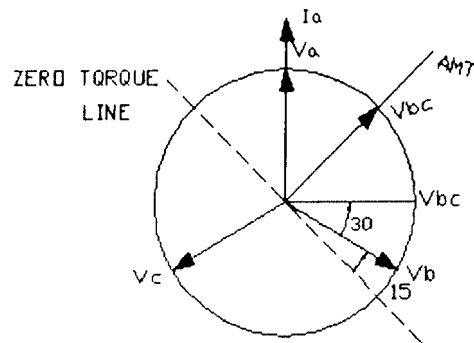
حداکثر گشتاور: هنگامی که جریان نسبت به ولتاژ فاز به نول، ۴۵ درجه پس فاز است.

زاویه عملکرد: زوایای جریان از ۴۵ درجه پیش فاز تا ۱۳۵ درجه پس فاز.

استفاده: این آرایش در حفاظت از ترانسفورماتورها یا فیدرهایی توصیه می شود که در آنها منبع مولفه متوالی صفر پس از رله قرار دارد.

این نوع از اتصال در حالت‌های بهره گیری از ترانسفورماتورهای موازی، یا فیدرهای ترانسفورماتور و مخصوصاً برای تضمین عملکرد

درست رله ها به هنگام رخ دادن خطا در پشت ترانسفورماتورهای Yd ضروری است.

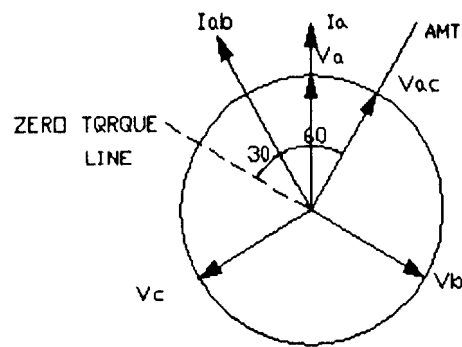


نمودار برداری برای اتصال ۹۰ درجه (AMT=45)

گشتاور حداکثر: هنگامی که جریان نسبت به ولتاژ فاز به نول ۶۰ درجه پس فاز باشد، I_{ab} ، ۶۰ درجه نسبت به V_{ac} پس فاز است. I_a نیز در ضریب توان واحد، ۶۰ درجه نسبت به V_a پس فاز خواهد بود.

زاویه عملکرد: جریان I_{ab} از ۳۰ درجه پیش فاز تا ۱۵۰ درجه پس فاز، یا در ضریب توان واحد، I_a از ۳۰ درجه پیش فاز تا ۱۵۰ درجه پس فاز.

استفاده: توصیه می شود که از این نوع اتصال، به ندرت در فیدرها استفاده شود. چرا که در این نوع اتصال CTها باید به شکل مثلث وصل شوند. به همین دلیل و از آنجا که این نوع اتصال نسبت به نوع پیشین از مزیت خاصی برخوردار نیست، این روش به ندرت مورد استفاده قرار می گیرد.



نودار برداری برای اتصال ۶۰ درجه ($AMT=0$)

۳- اتصال ۹۰ درجه ($AMT=30^\circ$)

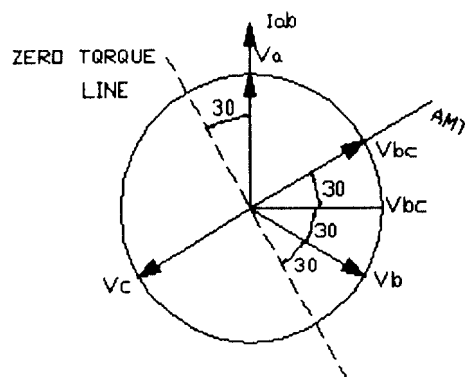
تغذیه رله ها:

$$\Phi_A = (I_a, V_{bc+30}) \quad \Phi_B = (I_b, V_{ca+30}) \quad \Phi_C = (I_c, V_{ab+30})$$

حداکثر گشتاور: هنگامی که جریان نسبت به ولتاژ فاز به نول ۶۰ درجه پس فاز است.

زاویه عملکرد: زوایای جریان از ۳۰ درجه پیش فاز تا ۱۵۰ درجه پس فاز.

استفاده: در فیدرهایی که در آنها، منبع مولفه های توالی صفر در پشت نقطه اتصال رله وجود دارد.



نمودار برداری برای اتصال ۹۰ درجه ($AMT=30$)

مقدار امپدانس Z برای خطا در F_1 برابر Z_{AF_1} ، و برابر $(Z_{AB} + Z_{BF_1})$ برای خطا در نقطه F_2 است.

مزیت عمده استفاده از رله دیستانس آن است که ناحیه حفاظتی آن بستگی به امپدانس خط تحت حفاظت دارد، که مقداری ثابت و ظاهراً مستقل از دامنه ولتاژ و جریان می باشد. بنابراین، رله دیستانس دارای برد ثابتی بوده و این برخلاف رله جریان زیاد است که برد آن با شرایط شبکه تغییر می نماید.

۱-۹- انواع رله های دیستانس

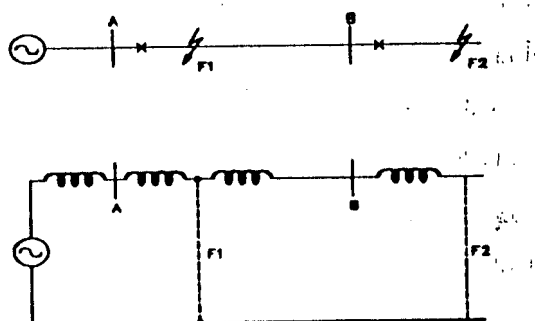
رله های دیستانس براساس مشخصات آنها در صفحه $R-X$ ، تعداد سیگنالهای ورودی و روش مقایسه سیگنالهای ورودی دسته بندی می شوند. در متداول ترین نوع دامنه یا فاز دو سیگنال ورودی به منظور بدست آوردن مشخصات کارکرد رله مقایسه گردد. مشخصات کارکرد در صفحه $R-X$ بصورت خطوط مستقیم و یا دایره می باشند. هر نوع مشخصه ای که از طریق یک نوع خاص مقایسه گر (دامنه یا فاز) بدست آید می تواند با نوع دیگر نیز حاصل گردد، هر چند مقادیر مورد مقایسه در هر حالت متفاوت خواهد بود.

اگر Z_R امپدانس تنظیم رله دیستانس باشد، آنگاه رله هنگامی که $Z_R \geq V/I$ یا هنگامی که $I Z_R \geq V$ گردد، بایستی عمل نماید. همانگونه که از شکل ۲-۹ پیداست، این شرط را می توان بوسیله یک مقایسه گر دامنه بدست آورد. هنگامی که آمپر دور مدار جریان بزرگتر از آمپر دور مدار ولتاژ باشد، رله عمل می کند. با این وجود، تأمین یک مقایسه گر دامنه که تحت شرایط

حفاظت دیستانس

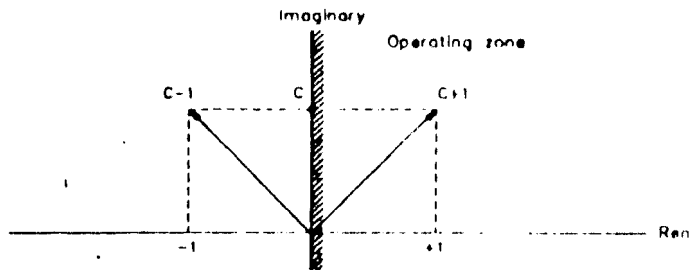
یکی از اصول مهم در حفاظت شبکه‌های قدرت برطرف کردن خطاب ا حداکثر سرعت ممکن است، در غیر اینصورت خطاها می‌توانند منجر به قطع مشترکان، از دست رفتن پایداری شبکه و خسارت به تجهیزات شوند. حفاظت دیستانس از نظر قابلیت اطمینان و سرعت لازم برای حفاظت شبکه از قابلیت کافی برخوردار بوده و به همین دلایل کاربرد وسیعی دارد.

حفاظت دیستانس از نوع حفاظت غیرواحد بوده و دارای این توانمندی است که بین خطاهای رخ داده در بخشهای مختلف شبکه تفاوت قائل گردد. این حفاظت براساس سنجش امپدانس کار می‌کند. بطورکلی، رله دیستانس جریان خطا را با ولتاژ محل نصب رله برای تعیین امپدانس بین رله و خطا مقایسه می‌نماید. بعنوان مثال در شکل ۹-۱، رله نصب شده در A از جریان خط و ولتاژ خط برای ارزیابی امپدانس $Z=V/I$ استفاده می‌کند.



شکل ۹-۱- خطاهای رخ داده در بخشهای مختلف شبکه

صفحه سمت راست برقرار می شود. این نیم صفحه شامل تمام نقاطی است که در آن θ در رابطه $-90^\circ \leq \theta \leq +90^\circ$ صدق می کند.



شکل ۹-۳- مقایسه فازها در صفحه مختلط: $C = \frac{S_1}{S_2}$

چون $C = |C| \angle \theta = (S_1 \angle \alpha) / (S_2 \angle \beta)$ ، آنگاه رابطه ۹-۴ هنگامی برقرار است که

داشته باشیم:

$$-90^\circ \leq \alpha - \beta \leq +90^\circ \quad (9-5)$$

رابطه بالا نشان می دهد که دو سیگنالی که در مقایسه گر دامنه بکار می روند را می توان

برای استفاده در مقایسه گر فاز تبدیل نمود.

۹-۱-۱- رله امپدانسی

رله امپدانسی زاویه فاز بین ولتاژ و جریان اعمالی به رله را در نظر نمی گیرد و، به همین

دلیل، مشخصه عملکرد آن در صفحه R-X بصورت یک دایره با مرکز مبدأ مختصات و شعاعی

برابر امپدانس تنظیمی بر حسب اهم است. رله برای تمامی مقادیر امپدانس کمتر از تنظیم یا به

عبارت دیگر تمامی نقاط داخل دایره عمل می کند. بنابراین، اگر Z_R امپدانس تنظیم باشد، لازم

خطا بخوبی عمل کند دشوار است. زیرا در هنگام خطا اختلاف فاز بین V و I به سمت 90° میل نموده و همچنین امواج گذرا وجود دارند، بدین ترتیب مقادیر موثر V و I برای سنجش $I Z_R \geq V$ صحیح نخواهند بود. به همین دلایل، استفاده از مقایسه گرهای دامنه محدود بوده و بهتر است که از مقایسه فازهای دو سیگنال ورودی به جای مقایسه دامنه آنها استفاده شود.

تحلیل زیر نشان می‌دهد که برای دو سیگنال S_o و S_r که قرار است از نظر دامنه مقایسه شوند، دو سیگنال دیگر S_i و S_r وجود دارند که می‌توان آنها را از نظر فاز مقایسه نمود. رابطه بین سیگنالها عبارتست از:

$$S_o = S_i + S_r$$

$$S_r = S_i - S_r \quad (9-1)$$

از معادله (9-1) داریم

$$S_i = \frac{S_o + S_r}{2}$$

$$S_r = \frac{S_o - S_r}{2} \quad (9-2)$$

مقایسه دامنه‌ها بصورت زیر خواهد بود:

$$|S_o| \geq |S_r|$$

$$|S_i + S_r| \geq |S_i - S_r| \quad (9-3)$$

با تعریف $S_i / S_r = C = |C| < \theta$ رابطه (9-3) بصورت زیر درمی‌آید:

$$|C+1| \geq |C-1| \quad (9-4)$$

با رسم C در صفحه $R-X$ مطابق شکل 9-3، مشاهده می‌گردد که شرط 9-4 در نیم

است رله هنگامی که $Z_R \geq V/I$ ، یا $I Z_R \geq V$ عمل نماید. برای آنکه رله امپدانسی بصورت یک مقایسه گر فاز عمل کند، بایستی سیگنالهای زیر به S_o و S_r اختصاص یابند:

$$S_o = I Z_R$$

$$S_r = K V \quad (9-6)$$

ثابت K نسبت تبدیل CT و VT ها را ملحوظ می دارد. سیگنالهای متناظر برای مقایسه گر فاز عبارتند از:

$$S_1 = K V + I Z_R$$

$$S_r = -K V + I Z_R \quad (9-7)$$

اگر رابطه 9-7 را بر KI تقسیم گردد، آنگاه

$$S_1 = Z + Z_R / K$$

$$S_r = -Z + Z_R / K \quad (9-8)$$

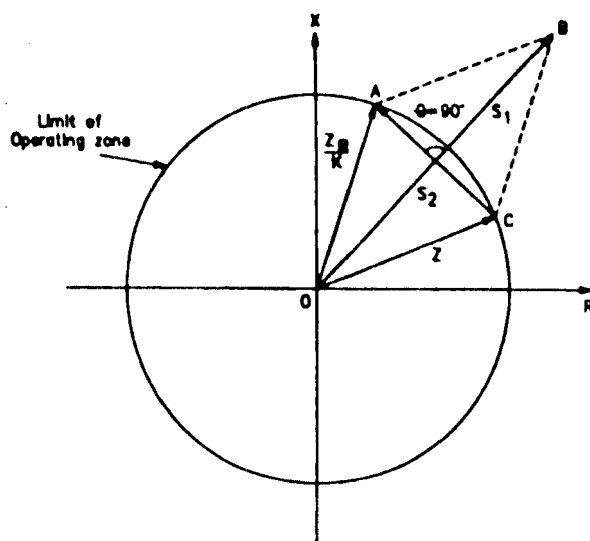
که در آن $Z = V/I$ می باشد.

شایان ذکر است که مقادیر سیگنالهای S_1 و S_r پس از تقسیم بر KI تغییر نموده اند. با این وجود، این موضوع اهمیتی ندارد چون مقصود اصلی حفظ اختلاف فاز بین آنهاست. باید توجه داشت که رسم S_1 و S_r در مقیاسهای مختلف تاثیری در ارتباط فازی بین دو سیگنال ندارد.

با رسم Z_R/K و معادله 9-8 در صفحه $R-X$ ، مشخصه کاری رله بوسیله مکان Z معین

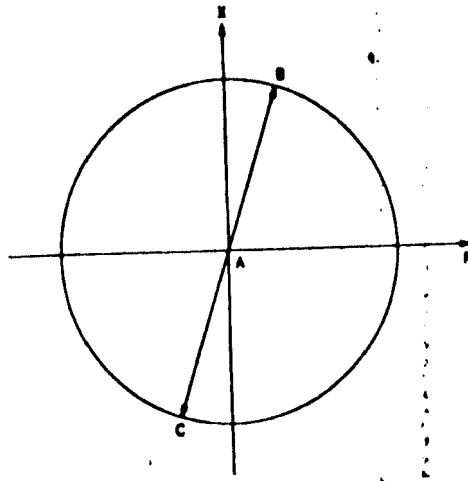
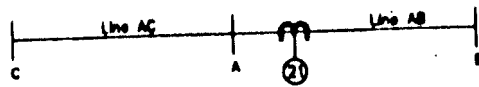
می شود به قسمی که θ ، زاویه فاز بین S_1 و S_r در رابطه $90^\circ \leq \theta \leq -90^\circ$ صدق می نماید. این

موضوع در شکل ۹-۴ نشان داده شده است. معادله ۹-۸ مبدأ لوزی OABC را که دارای قطرهای S_1 و S_2 بوده ارائه می‌دهد. براساس خواص rhomboid، زاویه بین S_1 و S_2 اگر $|Z| = |Z_R|/K$ باشد برابر 90° خواهد بود. بنابراین، نقطه C حد ناحیه بهره‌برداری است، و مکان نقطه C برای مقادیر مختلف Z دایره‌ای با شعاع Z_R/K می‌باشد.



شکل ۹-۴- مشخصات کاری یک رله امپدانسی بدست آمده با مقایسه‌گر فاز

اگر $Z < Z_R/K$ ، شرایط مطابق شکل ۹-۵ حاصل می‌شود. در اینصورت θ کمتر از 90° بوده و در نتیجه بردار Z در داخل ناحیه عملکرد رله قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، اگر $Z > Z_R/K$ ، آنگاه مطابق شکل ۹-۶ زاویه θ بزرگتر 90° بوده و Z خارج از ناحیه عملکرد رله قرار می‌گیرد و لذا رله عمل نخواهد کرد. رله امپدانسی جهت‌دار نبوده و برای تمامی خطاها در طول بردار $AB \downarrow$ (مطابق شکل ۹-۷) عمل نموده و همچنین برای تمامی خطاهای پشت‌سر باسبار یعنی در طول بردار AC نیز عمل خواهد کرد. بردار AB نمایشگر امپدانس مقابل رله

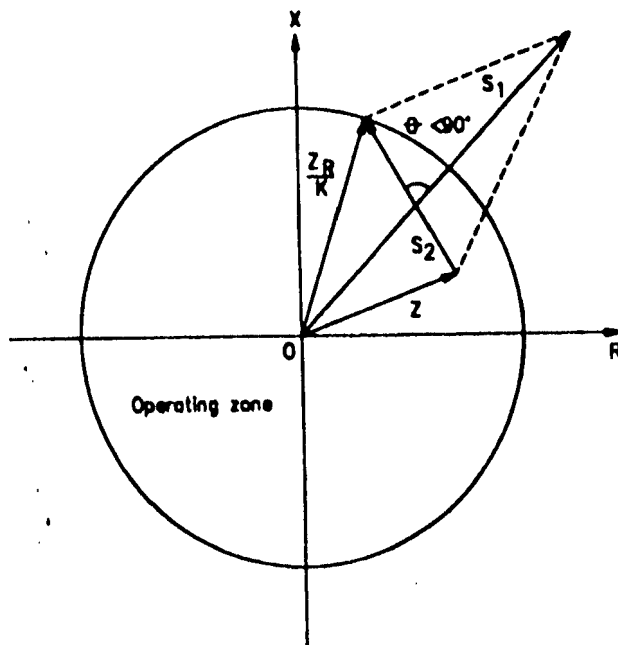


شکل ۷-۹- مشخصات رله امپدانسی در صفحه مختلط

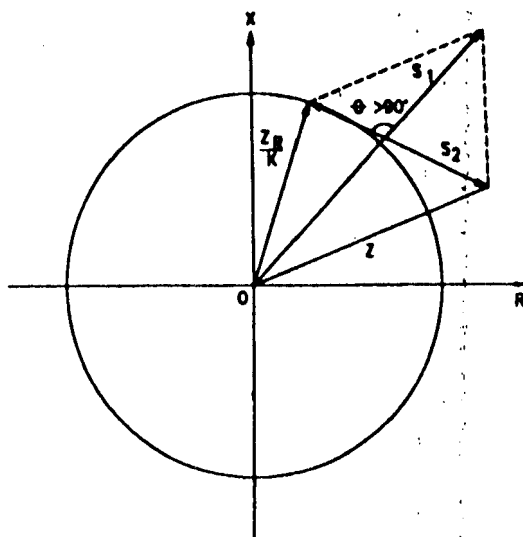
رله امپدانسی دارای سه عیب عمده است :

- (۱) جهت دار نیست؛ خطاهای مقابل و پشت سر خود را می بیند و لذا نیاز به عنصر جهت دار برای تشخیص درست است. این مورد با اضافه کردن یک رله جهت دار مستقل برای جلوگیری از عملکرد رله دیستانس در هنگامی که جهت توان به سمت خارج از ناحیه تحت حفاظت در موقع بروز خطا حاصل می گردد.
- (۲) رله امپدانسی از مقاومت قوس متأثر می گردد.
- (۳) این نوع رله شدیداً به نوسانات شبکه حساس بوده و دلیل آن پوشش بخش وسیعی از صفحه توسط مشخصه دایروی آن است.

بین محل نصب آن در A و بطرف انتهای خط AB است، و بردار AC نمایشگر امپدانس خط پشت سر رله می باشد.



شکل ۵-۹- امپدانس Z داخل ناحیه عملکرد رله امپدانس قرار دارد.



شکل ۶-۹- امپدانس Z خارج از ناحیه عملکرد رله امپدانس قرار دارد.

۳-۱-۹- رله راکتانی

رله راکتانی برای اندازه‌گیری صرفاً جزء راکتیو امپدانس خط طراحی می‌شود؛ در نتیجه، تنظیم آن با استفاده از مقداری که با راکتانس X_R مشخص می‌گردد حاصل خواهد شد. در اینصورت معادلات S_1 و S_2 بصورت زیر درمی‌آید:

$$S_1 = -KV + X_R I$$

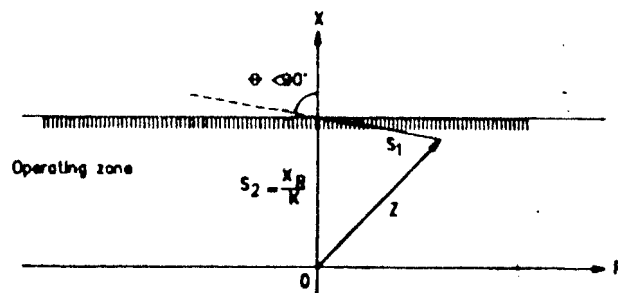
$$S_2 = X_R I \quad (9-11)$$

و با تقسیم بر KI روابط بصورت زیر درمی‌آیند:

$$S_1 = -Z + X_R / K$$

$$S_2 = X_R / K \quad (9-12)$$

مشخصه بهره‌برداری با رسم معادله (۹-۱۲) در صفحه مختلط و تعیین مقادیری از Z که برای آن θ کمتر از 90° باشد بدست می‌آید.



شکل ۹-۹- ناحیه عملکرد رله راکتانی

نحوه ساختن مشخصه در شکل ۹-۹ نشان داده شده است؛ در اینجا، حد ناحیه عملکرد

۹-۱-۲- رله جهت دار

رله‌های جهت دار تجهیزاتی هستند که در صورت قرار داشتن امپدانس اندازه‌گیری شده در نیم صفحه R-X فرمان قطع صادر می‌نمایند. این رله‌ها مشترکاً با رله‌های امپدانس به منظور محدود کردن ناحیه عملکرد به نیم صفحه بکار می‌روند.

مشخصه کارکرد آنها از مقایسه فاز سیگنالهای زیر بدست می‌آید:

$$S_1 = KV$$

$$S_2 = Z_R I \quad (9-9)$$

با تقسیم روابط بر KI، و تعریف $Z=V/I$ ، نتیجه زیر حاصل می‌شود:

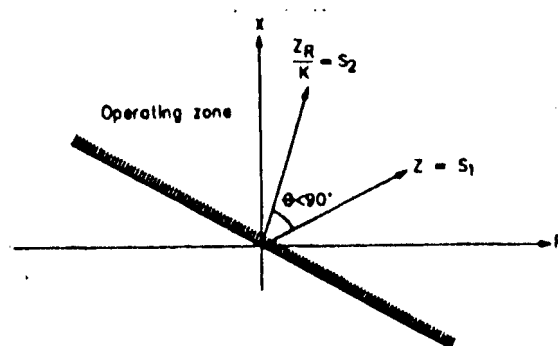
$$S_1 = Z$$

$$S_2 = Z_R / K \quad (9-10)$$

ناحیه کارکرد رله جهت دار توسط مقادیر Z و Z_R ، که در واقع از اختلاف فاز کمتر از

90° بین S_2 و S_1 ناشی می‌شود، تعریف می‌گردد. مشخصه در شکل ۹-۸ که در آن S_2 و S_1

نیز رسم شده‌اند، نشان داده شده است.



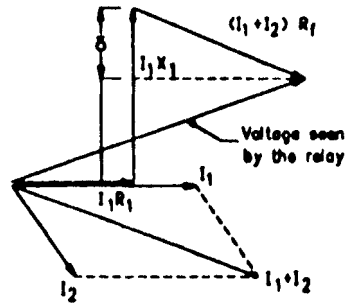
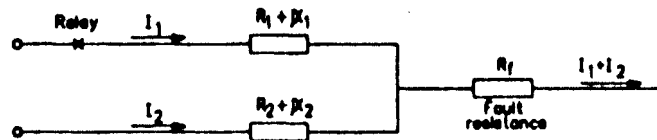
شکل ۹-۸- ناحیه کارکرد رله جهت دار

یک خط راست موازی با محور مقاومت بوده، که برای تنظیم راکتانس X_R/K رسم گردیده است.

چون امپدانس خط تقریباً همواره مقاومتی است، ممکن است بنظر برسد که مقاومت خط هیچ تاثیری بر رله راکتانس نداشته باشد. در یک شبکه شعاعی این بطور کلی واقعیت دارد، ولی لزوماً اگر خط از دو یا چند نقطه تغذیه گردد اینگونه نخواهد بود چون افت ولتاژ در مقاومت خط به افت در خط اضافه شده و ولتاژ رله را متأثر می‌سازد. اگر جریان رله دقیقاً هم فاز با جریان خط نباشد، افت ولتاژ در مقاومت خط سبب مولفه‌ای با 90° اختلاف فاز با جریان رله می‌شود، و تاثیری شبیه راکتانس خط خواهد داشت. این راکتانس ظاهری می‌تواند مثبت یا منفی بوده و به امپدانس اندازه‌گیری شده توسط رله اضافه و یا کم شده و بر عملکرد رله تاثیر گذارد.

اگر مقاومت خط در مقایسه با راکتانس خط بزرگ باشد، آنگاه تاثیر آن جدی بوده و لذا از این نوع رله نباید استفاده شود.

شکل ۹-۱۰ ولتاژ دیده شده توسط رله در صورت وجود خط با مقاومت قوس و تغذیه از دوسو را نشان می‌دهد. از این نمودار ملاحظه می‌شود که رله مقداری کوچکتر از راکتانس واقعی بین نقطه محل نصب رله و خط را اندازه‌گیری خواهد نمود.



b: Error due to the fault resistance

شکل ۱۰-۹- ولتاژ دیده شده توسط رله را کتانسی در صورت وجود خطا با مقاومت قوس و تغذیه از دوسو

a: مدار شماتیک

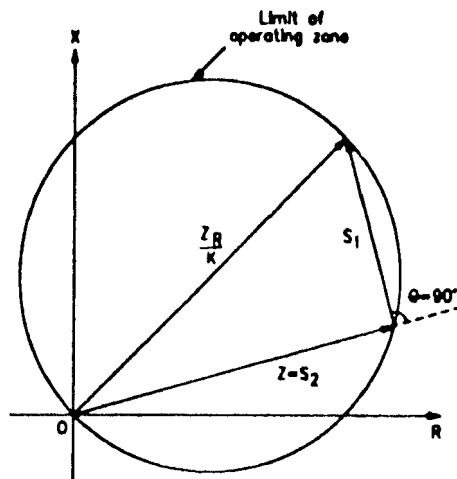
b: نمودار برداری

۴-۱-۹- رله Mho

رله mho خصوصیات رله امیدانسی و رله جهت دار را ترکیب می نماید. مشخصه آن ذاتاً جهت دار بوده و رله فقط برای خطاهای مقابل رله عمل می کند؛ بعلاوه، دارای این مزیت است که برد رله با زاویه خطا تغییر می نماید. مشخصه در صفحه R-X دایره ای است که از مبدأ مختصات می گذرد و از طریق اختصاص سیگنالهایی با مقادیر زیر بدست می آید:

۲۴۴

۱۳۲



شکل ۹-۱۲- امیدانس Z (نقطه کار) داخل ناحیه عملکرد رله mho

۵-۱-۹- رله mho پولاریزه کامل

یکی از معایب رله mho با پولاریزه خودکار (کاملاً جهت دار) آن است که هنگام بکاربردن آن در خطوط بلند و وقتی که برد رله به اندازه کافی طول محور R را پوشش نمی‌دهد، قادر به آشکار نمودن خطاهای با مقاومت قوس زیاد نخواهد بود. این مسئله در خطوط کوتاه شدت بیشتری می‌یابد چون اندازه تنظیم کم بوده و مقداری از محور R که توسط دایره mho پوشش داده می‌شود در مقایسه با مقادیر مقاومت قوس مورد انتظار کوچک می‌باشد.

یک جواب عملی به این مسئله بکاربردن یک رله mho کاملاً پولاریزه که مشخصه دایره‌ای آن در طول محور R برای تمامی خطاهای نامتقارن گسترش یافته باشد، مطابق شکل ۹-۱۳، خواهد بود.

$$S_1 = -KV + Z_R I$$

$$S_r = KV$$

که از آن :

$$S_1 = -Z + Z_R / K$$

$$S_r = Z$$

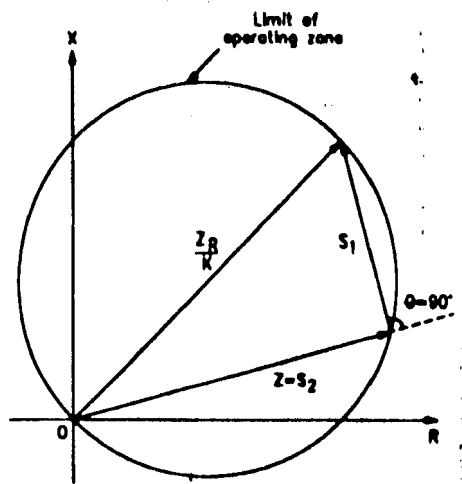
با رسم Z_R/K و معادله ۹-۱۴ در صفحه $R-X$ ، مشخصه رله از طریق مکان مقادیری از

Z که برای آنها θ کمتر از 90° می باشد بدست خواهد آمد.

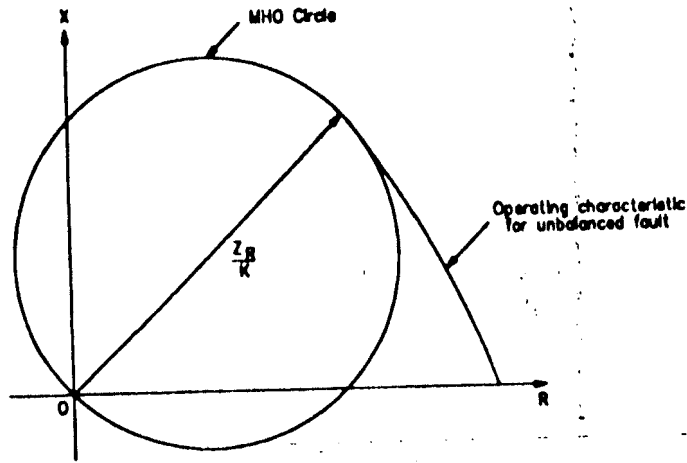
در اینصورت حد ناحیه عملکرد ($\theta=90^\circ$) مطابق شکل ۹-۱۱ توسط دایره‌ای با قطر

Z_R/K و محیطی که از مبدأ مختصات می گذرد، تعیین خواهد شد. برای مقادیری از Z که داخل

محیط دایره باشند، θ کمتر از 90° ، طبق شکل ۹-۱۲ بوده، و این سبب عملکرد رله می گردد.



شکل ۹-۱۱- مشخصه عملکرد رله mho



شکل ۹-۱۳- مشخصه عملکرد یک رله mho کاملاً پولاریزه

این مشخصه را می توان توسط یک مقایسه گر فاز که توسط سیگنالهای زیر تغذیه می شود بدست آورد:

$$S_1 = V_{pol}$$

$$S_2 = V - IZ_R \quad (9-15)$$

که :

V = ولتاژ در محل نصب رله؛ روی فاز یا فازهای خطا دار

V_{pol} = ولتاژ پولاریزه گرفته شده از فاز یا فازهای غیرمرتبط با خطا

I = جریان خطا

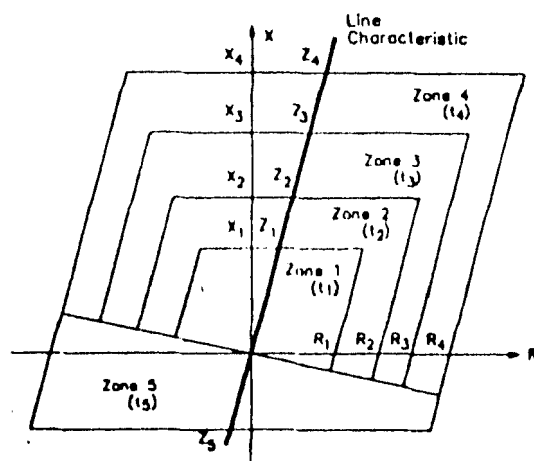
Z_R = تنظیم رله دیستانس

۹-۱-۶- رله‌های با مشخصه عدسی

رله‌های دیستانس با مشخصات عدسی برای حفاظت خطوط امپدانس بالا که دارای توان انتقالی زیاد هستند، بسیار مفید خواهند بود. تحت این شرایط مقادیر امپدانس خط، که برابر $\frac{V'}{S'}$ هستند، کوچک شده و به مشخصات امپدانسی رله، خصوصاً در ناحیه ۳، نزدیک می‌گردد. این مشخصه عدسی offset، که قابل تنظیم برای مشخصه دایره‌ای mho طبق شکل ۹-۱۴ است در بعضی از رله‌ها بکار می‌رود.

۹-۱-۷- رله‌های با مشخصه چند ضلعی (Polygonal)

رله‌های با مشخصات چند ضلعی برد رله را به منظور پوشش مقاومت خط، خصوصاً در خطوط کوتاه گسترش می‌دهد، چون محل مقاومت خط را در مشخصه عملکرد می‌توان تنظیم کرد (خط ۲ در شکل ۹-۱۵ که مشخصه عملکرد یک چند ضلعی نمونه را نشان می‌دهد ملاحظه نمایند).

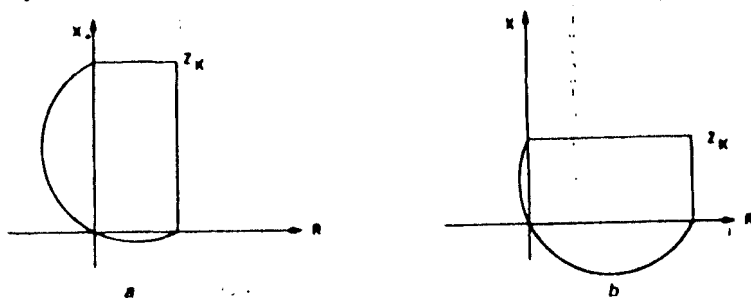


شکل ۹-۱۵- مشخصه عملکرد رله چند ضلعی

مشخصه عملکرد چند ضلعی از طریق سه پارامتر اندازه گیری مستقل بدست می آید: راکتانس، مقاومت و جهت. به منظور دستیابی به این مشخصه، پارامترهای اندازه گیری بطور مناسبی ترکیب می شوند. رله فقط هنگامی که هر سه پارامتر عمل کرده باشند فرمان قطع صادر خواهد نمود؛ بدین ترتیب مشخصه چند ضلعی حاصل می شود.

۸-۱-۹- رله های با مشخصات ترکیبی

یک مشخصه عملکرد ترکیبی نمونه در صفحه امپدانس توسط رسم خطوط موازی با محورهای مقاومت و راکتانس که یکدیگر را در نقطه Z_K ، مطابق شکل ۱۶-۹ قطع می نمایند، بدست می آید. به منظور دستیابی به جهت مورد نیاز، یک رله دایره ای mho که از Z_K عبور می کند، استفاده می شود. در رله هایی با این مشخصات برد در جهتهای مقاومتی و راکتansı دارای محدوده تنظیم یکسانی بوده و مستقل از یکدیگر می توانند تنظیم گردند.



شکل ۱۶-۹- مشخصات عملکرد ترکیبی رله

$$(a) \text{ نسبت } \Delta = R/X$$

$$(b) \text{ نسبت } Z_K = R/X$$

۹-۲- تنظیم برد و زمان عملکرد رله‌های دیستانس

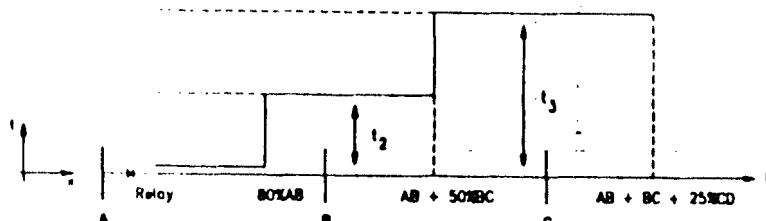
رله‌های دیستانس براساس امپدانس ترتیب مثبت از محل نصب رله تا نقطه‌ای روی خط که قرار است حفاظت گردد، تنظیم می‌شود. امپدانس خطوط متناسب با طول آنها بوده و از همین خاصیت برای تعیین فاصله خط تا محل نصب رله استفاده می‌نمایند. با این وجود، این مقدار از طریق ولتاژها و جریانهای ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری که برای تغذیه رله بکار می‌روند، بدست می‌آید. بنابراین، برای تبدیل امپدانس اولیه به مقدار ثانویه که برای تنظیم رله دیستانس استفاده می‌شود، رابطه زیر بکار می‌رود:

$$\frac{V_{prim}}{I_{prim}} = Z_{prim} = \frac{V_{sec} \times VTR}{I_{sec} \times CTR} \quad (9-16)$$

پنابراین،

$$Z_{sec} = Z_{prim} \times (CTR / VTR) \quad (9-17)$$

که در آن CTR و VTR به ترتیب نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان و ولتاژ می‌باشد. معمولاً، سه ناحیه حفاظتی در جهت خطا به منظور پوشش بخشی از خط و تأمین حفاظت پشتیبان برای بخشهای دورتر استفاده می‌گردد. به شکل ۹-۱۷ مراجعه شود.



شکل ۹-۱۷- نواحی حفاظتی رله دیستانس در یک شبکه شعاعی

بعضی از رله‌ها دارای یک یا دو ناحیه اضافی در جهت خطا بعلاوه یک ناحیه دیگر در جهت مخالف بوده، که این ناحیه اخیر بعنوان پشتیبان برای حفاظت باسبارها بکار می‌رود. در اغلب موارد تنظیم برد سه ناحیه اصلی رله براساس معیارهای زیر صورت می‌گیرد:

• ناحیه اول: این ناحیه طوری تنظیم می‌شود که بین ۸۰٪ تا ۸۵٪ طول خط تحت حفاظت را پوشش دهد؛

• ناحیه دوم: این ناحیه طوری تنظیم می‌گردد که تمامی خط تحت حفاظت بعلاوه ۵۰٪ کوتاهترین خط بعدی را بپوشاند؛

• ناحیه سوم: این ناحیه طوری تنظیم می‌شود که تمامی خط تحت حفاظت بعلاوه ۱۰۰٪ طولانی‌ترین خط بعدی، بعلاوه ۲۵٪ کوتاهترین خط بعد از آن را پوشش دهد.

علاوه بر واحدی که برای تنظیم برد هر ناحیه وجود دارد، زمان عملکرد هر ناحیه هم قابل تنظیم می‌باشد. زمان عملکرد ناحیه اول، ۱، معمولاً توسط سازنده طوری تنظیم می‌شود که فوراً فرمان قطع را صادر نماید زیرا هر خطایی که در خط تحت حفاظت توسط واحد ناحیه اول آشکار شود باید فوراً بدون نیاز به انتظار برای عملکرد تجهیزات دیگر برطرف گردد. زمان عملکرد ناحیه دوم معمولاً بین ۰/۲۵ تا ۰/۴ ثانیه بوده، و ناحیه سوم بین ۰/۶ تا ۱ ثانیه می‌باشد. هنگامی که ترانسفورماتورهای قدرت در ایستگاههای مجاور وجود دارد بایستی زمان ناحیه دوم حاشیه اطمینانی برابر ۰/۲ ثانیه بیشتر از زمان عملکرد هرگونه حفاظت جریان و زیاد مرتبط با ترانسفورماتور داشته باشد. در مورد ناحیه سوم، هنگامی که تنظیمهای رله‌ها با یکدیگر در محل‌های مختلف همپوشانی دارند، آنگاه زمان ناحیه سوم دورترین رله باید حداقل

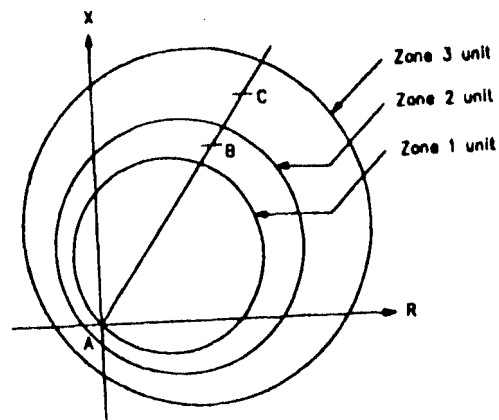
۰/۲ ثانیه به منظور جلوگیری از عدم هماهنگی افزایش یابد. با این وجود، زمان عملکرد واحدهای ناحیه سوم باید در مقداری که پایداری سیستم را حفظ کند تنظیم شوند و لذا، ضرورت دارد، ملاحظاتی صورت گیرد تا در چنین شرایطی زمان عملکرد ناحیه سوم کاهش یابد.

چون فرمان قطعی که توسط ناحیه اول صادر می شود آنی است لذا نباید به باس بار انتهای خط اول برسد و تنها لازم است ۸۰ تا ۸۵٪ خط را پوشش دهد. مقدار ۲۰ تا ۱۵٪ باقیمانده عامل اطمینان بخشی خواهد بود که با عدم دقتهای حاصل از اندازه گیری توسط ترانسفورماتورها و محاسبات امیدانس در رله مقابله می نماید. مقدار ۲۰ تا ۱۵٪ انتهای خط توسط ناحیه دوم حفاظت می گردد که زمان عملکرد آن ۲ ثانیه خواهد بود. ناحیه سوم بصورت پشتیبان و با تاخیر زمانی ۲ ثانیه عمل می کند. چون برد و همچنین زمان عملکرد رله های دیستانس ثابت است، بنابراین هماهنگی آنها نسبت به رله های جریان زیاد به مراتب ساده تر است.

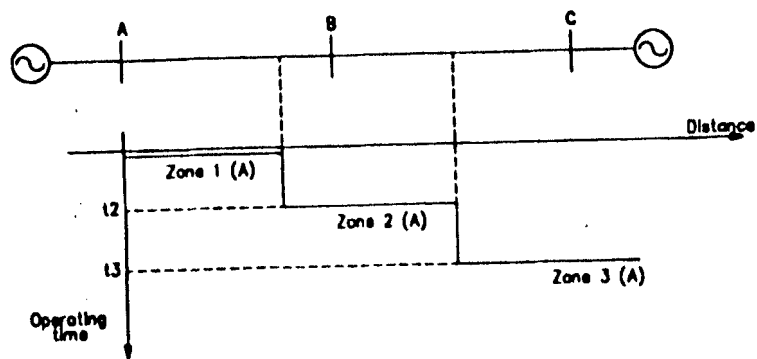
برای بیان فلسفه هماهنگی ذکر شده، شبکه شکل ۱۸-۹ را در نظر بگیرید. در این شبکه قرار است خطوط AB و BC حفاظت شوند. برای این منظور، سه ناحیه رله در A باید تنظیم گردند. تمامی سه واحد حفاظت نواحی باید خطای واقع در ناحیه اول را حس نمایند. برای خطا روی خط BC و در محدوده ناحیه دوم رله A هر دو واحد حفاظتی و نواحی دوم و سوم باید فعال شوند. چون در ایستگاه B هم رله دیستانس وجود دارد، رله A باید به کلید B فرصت پاک کردن خطا را بدهد؛ و به همین دلیل است که به واحدهای نواحی دوم و سوم

تاخیر داده می‌شود تا بدین ترتیب تمایز بین خط‌های روی خطوط AB و BC ایجاد گردد.

نمودار زمانهای عملکرد در شکل ۹-۱۹ ارائه شده است.



شکل ۹-۱۸ - مشخصه عملکرد رله دیستانس واقع در A



شکل ۹-۱۹ - زمانهای عملکرد برای رله دیستانس A

بعضی از روشها برای تنظیم رله‌های دیستانس از معیارهای دیگری استفاده می‌نمایند و

تفاوت عمده آنها در برد نواحی دوم و سوم است. بخصوص، در روش دیگری که متداول‌تر از

بقیه است توصیه می‌گردد که برد ناحیه دوم باید ۱۲۰٪ امیدانس خط تحت حفاظت بوده، و

برد ناحیه سوم باید ۱۲۰٪ مجموع امیدانسه‌های خط تحت حفاظت و طولانی‌ترین خط مجاور آن باشد. در اینصورت، زمان نواحی دوم و سوم نباید مقدار ثابتی داشته باشند، و بستگی به زمان باز شدن کلیدها و برد رله‌ها داشته و طوری تنظیم شوند که اطمینان حاصل گردد هیچگونه همپوشانی در نواحی همسان توسط رله‌های همجوار پیش نمی‌آید. چون فلسفه مورد استفاده برای هر دو روش فوق یکسان است، لذا توصیه خاصی برای استفاده از یکی یا دیگری بعمل نمی‌آید، معمولاً انتخاب روش بستگی به شبکه مورد نظر دارد.

رله‌های دیستانس جدید، خصوصاً نوع دیجیتالی، دارای نواحی ۴ و ۵ نیز هستند تا عملکرد پشتیبان را مطابق شکل ۱۵-۹ تقویت نمایند. در این موارد، نواحی سوم و چهارم صرفاً در جهت مقابل را پوشش داده و ناحیه ۵ درخلاف جهت خواهد بود؛ تنظیم سه ناحیه اول مطابق آنچه که قبلاً گفته شد صورت می‌گیرد، ولی تنظیم نواحی ۴ و ۵ از شرکت به شرکتی دیگر تفاوت می‌نماید.

بعضی معیارهای پذیرفته شده پیشنهاد می‌نمایند که تنظیم ناحیه ۴ برابر ۱۲۰٪ ناحیه سوم و ناحیه ۵ برابر ۲۰٪ ناحیه اول باشد. تاخیر زمانی نواحی ۴ و ۵ معمولاً برابر ناحیه سوم ولی با افزایش حاشیه ایمنی مثلاً ۴۰۰ میلی‌ثانیه خواهد بود. باید توجه گردد که نواحی ۳ و ۴ سطوح ولتاژی مختلف را از طریق ترانسفورماتورهای افزایشده یا کاهشده، یا مقادیر امیدانس بار روی یکدیگر پوشش ندهند.

۹-۳- تاثیر تزریق تغذیه‌های میانی (in feed) روی رله‌های دیستانس

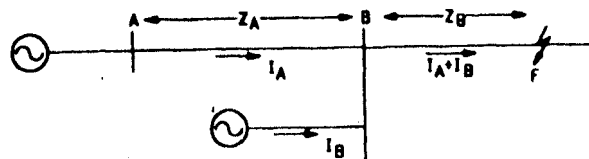
هنگامی که یک یا چند منبع تولیدی در محدوده حفاظتی رله دیستانس موجود بوده که بتوانند بر جریان خطا اثر گذارند بدون آنکه توسط رله دیستانس دیده شوند، لازم است که اثر این تزریق‌های میانی در نظر گرفته شود.

در شکل ۹-۲۰ ملاحظه می‌گردد که امپدانس دیده شده توسط رله در A برای خطایی دورتر از باسبار B بزرگتر از مقدار واقعی خواهد بود. در واقع، اگر یک خطای اتصال زمین در F رخ دهد، ولتاژ رله در A برابر می‌شود با

$$V_A = I_A Z_A + (I_A + I_B) Z_B \quad (9-18)$$

که از آن رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{V_A}{I_A} = Z_A + \left[1 + \frac{I_B}{I_A} \right] Z_B \quad (9-19)$$



شکل ۹-۲۰- تاثیر تغذیه میانی روی رله دیستانس

بدین ترتیب رله امپدانس KZ_B بیشتر از امپدانس خط را خواهد دید. K ثابت تغذیه میانی بوده و برابر $\frac{I_B}{I_A}$ است. تنظیم نواحی ۲ و ۳ برای رله A به شکل زیر درمی‌آید:

$$Z_{relay} = Z_A + (1 + K) Z_B \quad (9-20)$$

که در آن K برابر است با

$$K = \frac{I_{\text{total in feed}}}{I_{\text{relay}}} \quad (9-21)$$

بدین ترتیب برد رله کاهش می‌یابد. بعنوان مثال اگر نقطه F مرز عملکرد نواحی دوم و سوم رله باشد، چون رله امپدانس بیشتر از واقعیت را می‌بیند، بنابراین علیرغم وجود خطا در ناحیه دوم آن را در ناحیه سوم تشخیص خواهد داد، به عبارت دیگر برد ناحیه دوم کاهش یافته است.

باید به این واقعیت توجه داشت که اگر منابعی که عهده‌دار تغذیه میانی هستند قطع شوند آنگاه رله افزایش برد خواهد یافت. بنابراین ضروری است در چنین شرایطی برای حصول اطمینان از عدم همپوشانی با ناحیه ۲ رله‌های مجاور بررسیهای لازم را بعمل آورد. برای شبکه‌هایی که در آنها نواحی ۲ و ۳ خطوطی را پوشش می‌دهند که بخشی از یک حلقه نیستند، مقدار K ثابت بوده و مستقل از محل خطا خواهد بود. برای درک بهتر این موضوع، شبکه شکل ۹-۲۱ الف را در نظر بگیرید. شکل ۹-۲۱ ب امپدانس دیده شده توسط رله دیستانس توسط رله واقع در ایستگاه C را نشان می‌دهد. برای خطایی بین B و D، مقدار K برابر خطاهایی در ایستگاه B یا D، یا نقاط دیگر بین B و D خواهد بود. اگر محل خطا از B به D حرکت کند، دامنه جریان کاهش می‌یابد ولی نسبت کل جریان به جریانی که رله می‌بیند ثابت می‌ماند.

چون مقدار ثابت تغذیه میانی بستگی به ناحیه تحت مطالعه دارد، چندین ثابت تغذیه میانی یعنی K_1 ، K_2 و K_3 را باید محاسبه نمود. K_1 برای تغذیه میانی ناحیه دوم بکار می‌رود.

K_r و K_r برای ناحیه سوم استفاده می‌گردد، K_r تغذیه میانی خط مجاور را دربرداشته و K_r خط دورتر را در نظر خواهد گرفت. براساس معیارهای ذکر شده در بخش ۲-۹، و در نظر گرفتن تغذیه میانی براساس مطالب بیان شده، روابط لازم برای محاسبه برد نواحی سه‌گانه رله واقع در باسبار C بصورت زیر درمی‌آید:

$$Z_1 = (0.18 \text{ تا } 0.185) \times Z_{AB}$$

$$Z_r = Z_{CB} + 0.15(1 + K_r) Z_{BD}$$

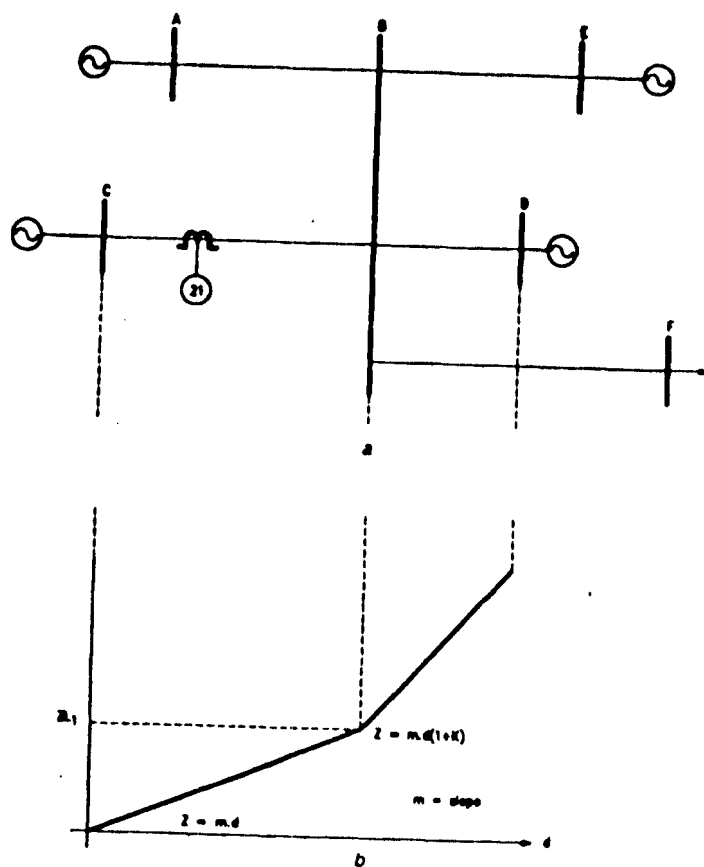
$$Z_r = Z_{CB} + (1 + K_r) Z_{BF} + 0.25(1 + K_r) Z_{FH}$$

که در آن :

$$K_1 = \frac{I_A + I_E + I_F}{I_C}$$

$$K_r = \frac{I_A + I_D + I_E}{I_C}$$

$$K_r = \frac{I_A + I_D + I_E + I_G}{I_C}$$



شکل ۲۱-۹- حفاظت دیستانس با مقدار ثابت K

(a) شبکه نمونه برای تحلیل تغذیه میانی ثابت

(b) امپدانس دیده شده توسط رله در C

چون پوشش خط دور خیلی بحرانی نیست، K_2 را می توان برابر K_2 فرض کرد و بدین ترتیب برد ناحیه ۳ کاهش خواهد یافت. با این وجود، این تفاوت معمولاً قابل صرف نظر بوده، و لذا فرض فوق قابل قبول است.

در رسم نمودار امپدانس برحسب فاصله، طبق شکل ۲۱b-۹، می توان مشاهده کرد که

شیب خط CB همانگونه که انتظار می‌رود ثابت است.

با این وجود، علیرغم شیبی متفاوت با CB به دلیل وجود K در بخش BD هنوز هم شیب ثابت می‌ماند. نکته مهم آن است که امپدانس دیده شده توسط رله در C برای خط‌های موجود در بخش BD مستقیماً متناسب با محل خطا، همانند خط‌های بخش CB هستند. هنگامی که نواحی ۲ و ۳ بخشی از خطوط دو مداره، یا رینگ را پوشش می‌دهند، مقدار K بستگی به محل خطا یا باسبار تحت مطالعه دارد، این موضوع از دو طرح شماتیک شمل ۹-۲۲ آشکار است. در هر دو مورد امپدانس دیده شده توسط رله برای خط‌های مسیر خط BC یک منحنی با شیب متغیر می‌باشد.

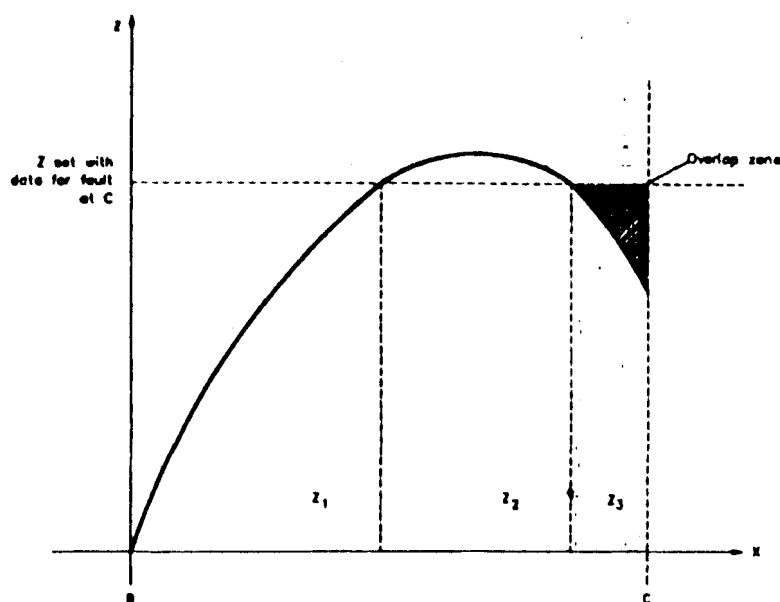
اگر معادله تغذیه میانی شکسته شود، آنگاه امپدانسی که رله برای خطا در بخش BC در دو طرح شکل ۹-۲۲ می‌بیند بصورت زیر درمی‌آید:

$$Z_{\text{relay}} = Z_{\text{line}} + \left[1 + \frac{I_D + I_C}{I_A} \right] Z_{BF}$$

در این حالت، نسبت $\frac{I_D}{I_A}$ برای خطا روی خط BC ثابت است چون بستگی به محل خطا ندارد، با این وجود نسبت $\frac{I_C}{I_A}$ متغیر بوده و حتی ممکن است برای خط‌های نزدیک ایستگاه C در هنگامی که جریان I_C تغییر جهت می‌دهد، منفی گردد.

با در نظر گرفتن نکات قبلی، انتظار می‌رود که در صورت شروع از باسبار B، Z با حرکت محل خطا به طرف C تا وقتی که به یک مقدار حداکثر برسد افزایش یافته و پس از آن مقدار Z شروع به کاهش نماید. برای تنظیم محاسبه شده برای Z با مقدار K ثابت، خط در یک ناحیه معین از باسبار B می‌تواند با اعمال معادله تغذیه میانی حفاظت شده و بعد از آن در

ناحیه دیگر در مقابل باسبار C حفاظت گردد و این بخاطر کاهش امپدانس است. اگر تنظیمات با استفاده از مقادیر جریان برای خطاهای روی باسبار C محاسبه شوند، احتمال دارد که اعمال معادله تغذیه میانی را در ناحیه ۲ تا ۵۰٪ مورد نیاز حفاظت نکند. اگر مقادیر برای خطا روی باسبار B منظور شوند، ممکن است پوشش در بخشهایی فراتر از ۵۰٪ بوده، و حتی فراتر از ۸۰٪ گردد که در اینصورت با ناحیه ۲ رله B مطابق شکل ۹-۲۳ همپوشانی داشته باشد.

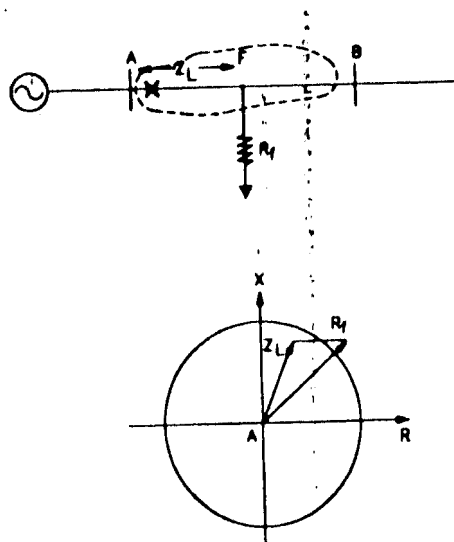


شکل ۹-۲۳ - همپوشانی در یک رینگ

در این شرایط، بنابراین، توصیه می‌شود که مقادیر اتصال کوتاه برای خطاهای مجاور باسبار (در این مورد باسبار B) استفاده گردد ولی تغذیه میانی از طریق مدار موازی، در اینحالت I_C در نظر گرفته نشود.

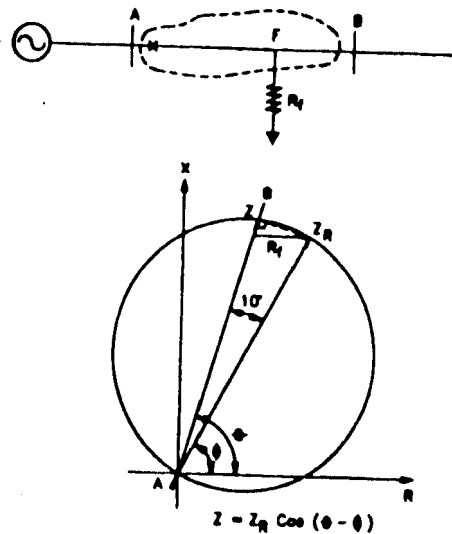
۹-۴- تاثیر مقاومت قوس روی حفاظت دیستانس

برای خطایی که مستقیماً زمین شده باشد، امپدانس اندازه‌گیری شده توسط رله برابر امپدانس تا نقطه خطا می‌باشد. با این وجود، خطا ممکن است مستقیماً صورت نگرفته و یا به عبارت دیگر در مسیر آن قوس الکتریکی یا امپدانسی وجود داشته باشد. در مواردی که خطای همراه با قوس موجود باشد، دریافته‌اند که افت ولتاژ در خطا و جریان برآیند هم فاز هستند که این دلالت بر مقاومت خالص بودن امپدانس می‌نماید. هنگام بروز اتصال زمین، خطای زمین شامل مقاومت قوس و مقاومت زمین می‌شود. خطاهای با مقاومت قوس در هنگامی که نزدیک به حدود نواحی حفاظتی باشند، بحرانی می‌گردند، چون علیرغم وجود امپدانس خط در داخل مشخصه‌کاری، مقاومت قوس سبب خواهد شد که مقاومت کل دیده شده توسط رله در خارج از مشخصه واقع گردید، و سبب شود که رله کاهش برد یابد. این وضعیت برای یک رله امپدانس در هنگامی که تاثیر مقاومت قوس بحرانی باشد در شکل ۹-۲۴ ارائه گردیده است.



شکل ۹-۲۴- کاهش برد رله امپدانسی بر اثر وجود مقاومت قوس

از شکل ۹-۲۵ می‌توان ملاحظه کرد که اگر زاویه مشخصه رله، ϕ طوری تنظیم شود که برابر زاویه مشخصه خط θ شود آنگاه تحت شرایط خطا و با وجود مقاومت قوس، رله کاهش برد خواهد یافت. برای این منظور روش معمول آن است که ϕ قدری کمتر از θ (تقریباً ۱۰ درجه) برای توانا ساختن رله جهت پذیرش مقداری مقاومت قوس بدون ایجاد کاهش برد تنظیم گردد.



شکل ۹-۲۵ - تنظیم رله h_o برای خطاهای با قوس

از شکل ۹-۲۵، و توجه به این واقعیت که زاویه محاط در داخل دایره قائمه است، رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$Z = (Z_R / K) \cos(\theta - \phi) \quad (9-23)$$

اگر زاویه خط تحت حفاظت برابر زاویه رله باشد، تنظیمات صحیح هستند. با این

وجود، اگر زاویه خط از زاویه رله به اندازه ده درجه فراتر رود، آنگاه مشخصه رله $98/5$ برد خود را پوشش می‌دهد، که در مواردی که پوشش بیشتری در طول محور افقی در نظر گرفته شود مجاز خواهد بود، زیرا مقاومت بزرگتری پوشش داده می‌شود.

۵-۹- جبران سازی توسط جریان باقیمانده

واحدهای حفاظت اتصال زمین توسط ولتاژ فاز به زمین و ترکیبی از جریانهای فاز و جریانهای باقیمانده که بستگی به امپدانسهای ترتیب مثبت و صفر خط دارند تغذیه می‌شوند. اگر یک خطای فاز به زمین، مثلاً در R-E، رخ دهد، مدارهای ترتیبی با یکدیگر سری شده و بنابراین ولتاژ اعمال شده به رله به شکل زیر درمی‌آید:

$$V_R = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_0} = I_{R_1} (Z_{L_1} + Z_{L_2} + Z_{L_0}) \quad (9-24)$$

و با توجه به آنکه امپدانسهای ترتیب مثبت و منفی خط را برابر می‌توان در نظر گرفت، رابطه فوق بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$V_R = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_0} = I_{R_1} (2Z_{L_1} + Z_{L_0}) \quad (9-25)$$

چون خطا فاز به زمین است، لذا $I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_0}$ و $I_R = 3I_{R_1}$ می‌گردد. نسبت

V_R/I_R بدین ترتیب $(2Z_{L_1} + Z_{L_0})/3$ خواهد شد، که برابر امپدانس ترتیب مثبت Z_{L_1} نمی‌باشد.

مقدار جریان باقیمانده که باید تزریق گردد تا رله‌ای که برای امپدانس ترتیب مثبت خط تنظیم شده بطور صحیح کار کند محاسبه می‌شود. بنابراین، با اعمال جریانهای خط و باقیمانده

به رله داریم:

$$I_R + \tau KI_{R_0} = I_R (1 + K) \quad (9-26)$$

$$\frac{V_R}{I_R(1+K)} = Z_{L_1} \quad \text{و (9-27)}$$

با جایگزینی V_R/I_R داریم:

$$\frac{\tau Z_{L_1} + Z_{L_0}}{\tau} = Z_{L_1} (1 + K)$$

که از آن

$$K = \frac{Z_{L_0} - Z_{L_1}}{\tau Z_{L_1}}$$

6-9- امپدانس دیده شده توسط رله‌های دیستانس

رله‌های دیستانس برای حفاظت شبکه‌های قدرت در مقابل چهار نوع خطای پایه طراحی می‌شوند - خطاهای سه فاز، فاز به فاز، فاز به زمین و تکفاز. به منظور آشکار ساختن هر کدام از این خطاها، هریک از نواحی رله‌های دیستانس نیاز به شش واحد دارند: سه واحد برای آشکار ساختن خطاهای بین فازها (T-R, S-T, R-S) و سه واحد برای آشکار نمودن خطاهای فاز به زمین (T-E, S-E, R-E). یک طرح حفاظتی کامل دارای یک مجموعه از این شش واحد برای هر ناحیه می‌باشد. در طرح‌های مبتنی بر کلیدزنی از یک مجموعه از این واحدها برای یک یا چند ناحیه استفاده می‌نمایند. تنظیم رله‌های دیستانس همواره براساس امپدانس ترتیب مثبت صورت می‌گیرد. از آنجا که انتخاب دقیق ولتاژها و جریانهای صحیح برای پوشش تمامی انواع خطاها، مقدور نیست، لذا هر واحد به منظور دستیابی به عملکرد

مورد نیاز رله تغذیه خود را مستقل از واحدهای دیگر دریافت می‌دراد.

۹-۶-۱- واحدهای تشخیص اتصالی فاز به فاز

واحدهای فازی بصورت مثلث بسته شده و در نتیجه ولتاژهای فاز به فاز و تفاضل جریانهای خط را دریافت می‌دارند. امپدانسهایی که اندازه‌گیری می‌نمایند نسبتی از ولتاژ و جریانهای زیر است:

$$Z_{RS} = \frac{V_{RS}}{I_R - I_S}$$

$$Z_{ST} = \frac{V_{ST}}{I_S - I_T}$$

$$Z_{TR} = \frac{V_{TR}}{I_T - I_R}$$

(۹-۳۰)

۹-۶-۲- واحدهای اتصال زمین

همانگونه که در بخش ۹-۵ ذکر گردید، واحدهای اتصال زمین توسط ولتاژهای فاز به زمین و ترکیبی از جریانهای فاز و باقیمانده تغذیه می‌شوند. از محاسبات قبلی، امپدانسهای اندازه‌گیری شده توسط واحدهای اتصال زمین رله‌های دیستانس برای سه فاز بصورت زیر می‌باشد:

$$Z_R = \frac{V_R}{I_R \left[1 + \frac{Z_0 - Z_1}{3 Z_1} \right]} = \frac{V_R}{I_R + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0}$$

$$Z_S = \frac{V_S}{I_S \left[1 + \frac{Z_0 - Z_1}{3 Z_1} \right]} = \frac{V_S}{I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0}$$

(۹-۳۱)

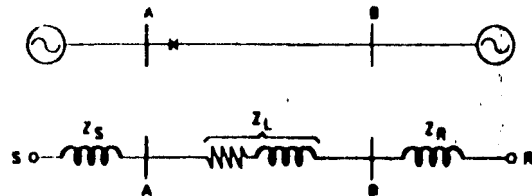
$$Z_T = \frac{V_T}{I_T \left[1 + \frac{Z_o - Z_1}{2 Z_1} \right]} = \frac{V_T}{I_T + \frac{Z_o - Z_1}{Z_1} I_o}$$

۷-۹- نوسانات سیستم قدرت

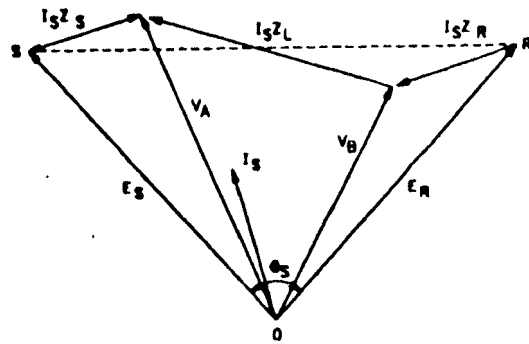
نوسانات سیستم قدرت می‌توانند، بعنوان مثال، بعد از برداشتن یک اتصال کوتاه در شبکه، یا هنگام عملیات کلیدزنی که سبب قطع یا وصل بارهای بزرگ گردند، رخ دهند. در هنگام این پدیده ولتاژ و جریانی که رله را تغذیه می‌نماید با زمان تغییر نموده و، در نتیجه آن، رله نیز آمپدانسی را که با زمان تغییر می‌نماید خواهد دید که این ممکن است سبب عملکرد اشتباه رله شود.

برای نشان دادن وضعیتی که رله دیستانس در مواجهه با اینگونه نوسانات باشد، مدار معادل شبکه قدرت مطابق شکل ۲۶-۹ را در نظر بگیرید. فرض کنید که انتقال توان از منبع تغذیه S به دورترین مصرف‌کننده R صورت گیرد. جریان، I_s ، که از S به سمت R عبور می‌نماید سبب افت ولتاژ در عناصر شبکه مطابق نموداربرداری شکل ۲۷-۹ می‌شود.

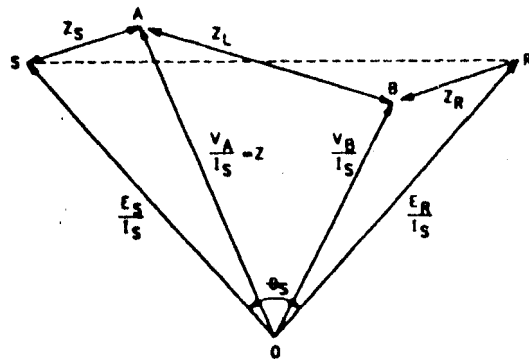
مقدار θ_s ، اختلاف فاز بین E_s و E_R ، با افزایش بار انتقالی افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۲۶-۹- مدار معادل برای تحلیل نوسانات سیستم قدرت



شکل ۹-۲۷- نمودار برداری شرایط نوسانات سیستم قدرت



شکل ۹-۲۸- نمودار برای شبکه برای شکل ۹-۲۶

امپدانس اندازه‌گیری شده توسط رله دیستانس واقع در A برابر $Z = V_A / I_S$ می‌باشد؛ رابطه

این امپدانس را می‌توان با شروع از ولتاژ، V_A ، که رله را تغذیه می‌نماید بدست آورد:

$$V_A = I_S Z_L + I_S Z_R + E_R$$

$$V_A / I_S = Z_L + Z_R + E_R / I_S \quad (9-32)$$

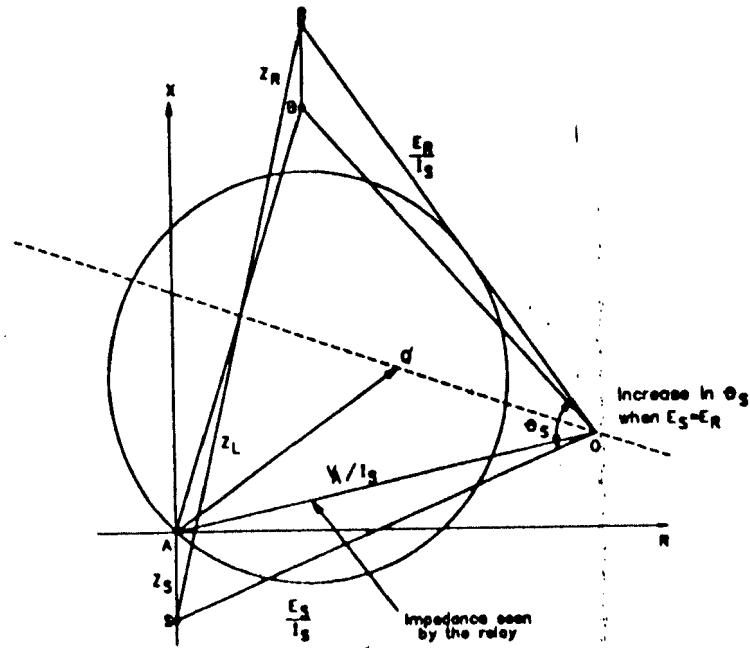
معادله اخیر را می‌توان به سادگی با تقسیم بردارهای در شکل ۹-۲۷ بر جریان نوسان I_S

رسم نمود. به این طریق نمودار امپدانس های شبکه، که در شکل ۹-۲۸ نشان داده شده است، بدست می آید که در آن تمامی پارامترها را می توان بجز I_s و θ_s ثابت فرض کرد. I_s و θ_s متغیر بوده و بستگی به توان انتقالی دارند.

نمو بار انتقالی سبب افزایش I_s و θ_s می گردد. این منجر به کاهش اندازه بردار V_A/I_s (به شکل ۹-۲۸ مراجعه نمائید) و، اگر نمو بار به اندازه کافی بزرگ باشد، امپدانس دیده شده توسط رله (V_s/I_s) را می تواند به مناطق عملکرد رله، طبق شکل ۹-۲۹ جابجا نماید.

شکل ۹-۲۹ از قرار دادن صفحه R-X روی مکان رله A، و سپس رسم مشخصه کاری رله روی آن و سپس رسم نمودار امپدانسهای سیستم بدست می آید.

رله دائماً امپدانس نشان داده شده با AO را اندازه گیری می نماید. این امپدانس در واقع در هنگام اتصال کوتاه مستقیم B با زمین برابر Z_L می باشد. اگر نوسان شدیدی رخ دهد، آنگاه زاویه بار، θ_s ، افزایش یافته و امپدانس اندازه گیری شده توسط رله به مقدار AQ' ، که می تواند داخل مشخصه کاری رله باشد تقلیل یابد.



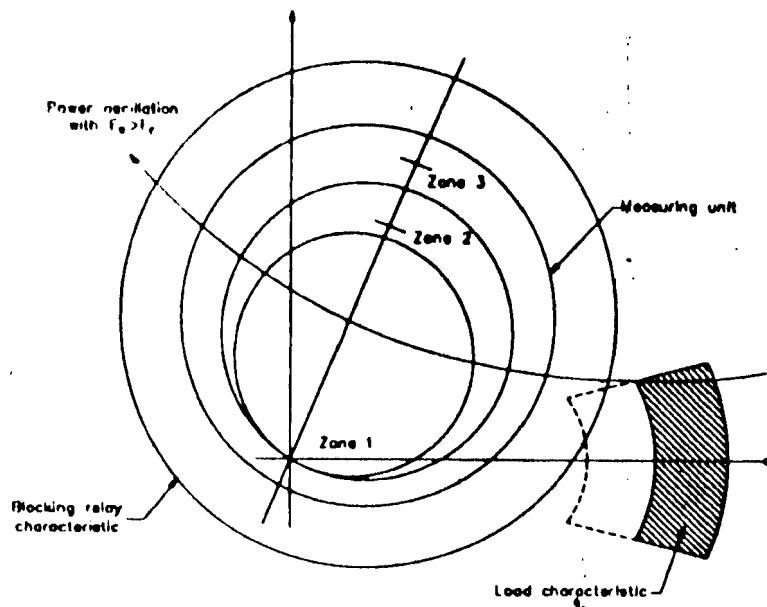
شکل ۹-۲۹- امپدانس دیده شده توسط رله در هنگام نوسانات سیستم قدرت

مکان امپدانس دیده شده توسط رله در هنگام نوسانات با وجود $E_S = E_R$ مطابق شکل

۹-۲۹ خط راست است. اگر $E_S > E_R$ باشد آنگاه این مکان مجموعه‌ای از دوائر بوده که مراکز

آنها روی محور SR خواهد بود. یک مسیر نمونه که امپدانس در صفحه R-X را در هنگام

نوسان قدرت نشان می‌دهد در شکل ۹-۳۰ آمده است.



شکل ۳۰-۹- مشخصه سدکننده برای جلوگیری از عملکرد رله در هنگام نوسانات سیستم قدرت

بدین ترتیب، مسیر اشاره شده از داخل مشخصه کاری رله عبور می‌کند، که این بیانگر

امکان قطع کلید قدرت مربوطه در هنگام نوسانات سیستم قدرت می‌باشد.

برای جلوگیری از عملکرد رله در هنگام این نوسانات، از یک مشخصه سدکننده (مطابق

شکل ۳۰-۹) استفاده می‌شود. مسیر امیدانس مشخصه را واحدهای سدکننده و اندازه‌گیری را

قطع می‌نماید. اگر واحدهای اندازه‌گیری در زمان خاص خود عمل نموده، و بعد از آنکه واحد

سدکننده عمل کرد، به کلید قدرت اجازه باز شدن داده می‌شود. از سوی دیگر، اگر واحدهای

اندازه‌گیری پس از گذشت زمان معینی عمل نکرده باشند، کلید قدرت قطع نخواهد شد.

بنابراین، تحت شرایط خطا، که واحدهای سدکننده و اندازه‌گیری تقریباً همزمان عمل می‌کنند،

فرمان قطع صادر می‌شود. با این وجود، تحت شرایط نوسان قدرت، هنگامی که واحدهای

اندازه‌گیری قدری بعد از واحد سدکننده عمل می‌کنند، از فرمان قطع ممانعت بعمل می‌آید.

به منظور جلوگیری از عملکرد رله در هنگام نوسانات، یک واحد سدکننده نوسان قدرت به رله اضافه می‌شود. قطر، یا برد آن در مشخصه رله‌های mho معمولاً $1/3$ برابر یا بیشتر قطر خارجی‌ترین ناحیه حفاظتی رله، که معمولاً ناحیه ۳ است، می‌باشد.

در هنگام شرایط خطا، تغییر مقدار امپدانس دیده شده توسط رله دیستانس بسیار سریعتر از موقع نوسانات قدرت است. از این واقعیت برای تنظیم واحد سدکننده نوسان قدرت استفاده می‌گردد.

اگر پیمودن مسیر امپدانس از مشخصه سدکننده نوسان قدرت به مشخصه ناحیه ۳ رله بیشتر از زمانی حدود $0/1$ ثانیه طول بکشد، آنگاه از عملکرد رله جلوگیری خواهد شد.

سازندگان معمولاً توصیه‌های لازم برای تنظیم این واحد را ارائه نموده و مقادیر ذکر شده صرفاً برای راهنمایی کلی می‌باشد.

۸-۹- پوشش موثر رله‌های دیستانس

در شبکه‌های قدرت بهم پیوسته که تغذیه‌های میانی وجود دارند، برد موثر رله‌های دیستانس لزوماً متناظر با مقدار تنظیمی برحسب اهم نیست. می‌توان نسبت بین این دو را با استفاده از ثابت‌هایی که قبلاً تعریف شده‌اند بدست آورد. مقدار تنظیم رله‌های دیستانس در نواحی ۲ و ۳ با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شوند.

$$Z_r = ZL_r + (1 + K_r) X_r Z_{L_r} \quad (9-33)$$

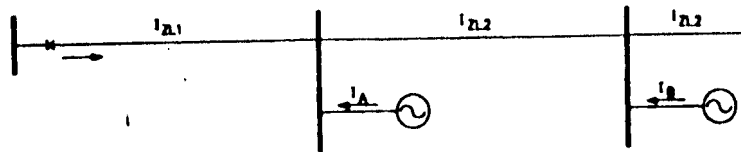
و

$$Z_r = Z_{L_1} + (1+K_r) X_r Z_{L_1} + (1+K_r) X_r Z_{L_1} \quad (9-34)$$

که X_r و Z_r ، درصد پوشش موثر طبق تعاریف بخش ۲-۹ به ترتیب ۵۰٪ و ۲۵٪ می‌باشد. با این وجود در بعضی موارد، خصوصاً به دلیل محدودیت برد رله‌ها، نمی‌توان مقادیر محاسبه شده Z_r و Z_r را روی رله قرار داد، و بنابراین لازم است که برد موثر رله را روی خطوط مجاور براساس تنظیم واقعی بدست آورد.

از معادلات قبلی، عبارت محاسبه پوشش ناحیه ۲ روی خطوط همجوار را می‌توان بصورت زیر محاسبه نمود (شکل ۳۱-۹ را مشاهده کنید).

$$X_r = \frac{Z_r - Z_{L_1}}{Z_{L_1} (1+K_r)} \quad (9-35)$$



شکل ۳۱-۹- شبکه قدرت با چند تغذیه میانی

که در آن

Z_r = تنظیم ناحیه دوم برحسب اهم

$X_r Z_{L_1}$ = پوشش موثر روی خط همجوار برحسب اهم

Z_{L_1} = امپدانس خط متناظر با رله

K_1 = ثابت تغذیه میانی برای کوتاهترین خط همجوار

از معادلات فوق می‌توان رابطه‌ای برای محاسبه پوشش موثر رله روی خطوط دور دست

بدست آورد:

$$X_r = \frac{Z_r - Z_{L_1} - (1 + K_r) Z_{L_1}}{Z_{L_1} (1 + K_r)} \quad (9-36)$$

که در آن :

Z_r = تنظیم ناحیه ۳ برحسب اهم

$X_r Z_{L_2}$ = پوشش موثر روی خط دور دست برحسب اهم

Z_{L_1} = امپدانس خط متناظر با رله

K_r = ثابت تغذیه میانی برای طولانی‌ترین خط همجوار

Z_{L_2} = امپدانس طولانی‌ترین خط همجوار

K_r = ثابت تغذیه میانی برای خط دور دست

با استفاده از این معادلات، و ثابتهای مناسب تغذیه میانی، می‌توان برد موثر رله را روی

خطوط همجوار خط تحت حفاظت محاسبه کرد.

۹-۹- بررسی حداکثر بار

این بررسی برای حصول اطمینان از اینکه امپدانس حداکثر بار هرگز در داخل

بیرونی‌ترین مشخصه، که معمولاً ناحیه ۳ است واقع نخواهد شد، صورت می‌گیرد. برای انجام

این منظور، فاصله بین مشخصه ناحیه ۳ و نقطه حداکثر بار باید حداقل ۲۵٪ فاصله بین مبدأ و

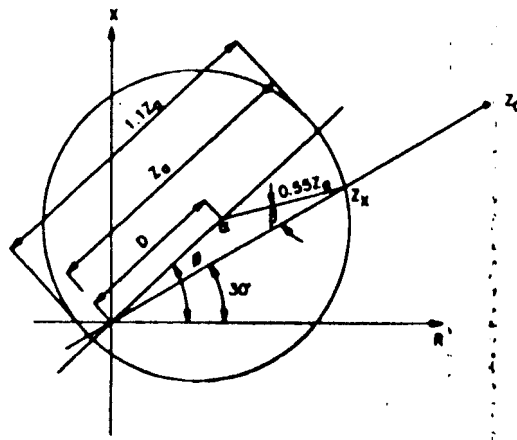
نقطه حداکثر بار برای خطوط تک مداره، و ۵۰٪ برای خطوط دو مداره باشد.

رله‌های Mho

مشخصه‌کاری رله mho برای ناحیه ۳، نوعاً دارای جابجایی (offset) ۱۰٪ مقدار تنظیم،

مطابق شکل ۹-۳۲ می‌باشد. نقطه بار حداکثر بصورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$Z_c = \frac{V^r}{S_{max}} \angle 30^\circ \quad (9-37)$$



شکل ۹-۳۲- بررسی بار حداکثر برای رله mho

در این نمودار، Z_a و ϕ به ترتیب مقدار تنظیم و زاویه مشخصه رله می‌باشند. از شکل

۹-۳۲ داریم:

$$D = Z_a - \frac{1/1 Z_a}{\gamma} = 0.45 Z_a \quad (9-38)$$

با بکار بردن قواعد مثلثاتی:

$$\sin \beta / \sin(\phi - 30^\circ) = (0.45 Z_a) / (0.55 Z_a) \quad (9-39)$$

که از آن

$$\sin \beta = 0.818 \sin(\phi - 30) \quad (9-40)$$

از رابطه قبلی مقدار β را می توان بدست آورد. همچنین، از شکل ۹-۳۲:

$$\alpha = 180 - \beta - (\phi - 30)$$

$$\sin \alpha / \sin(\alpha - 30) = Z_x / (0.55 Z_a) \quad (9-41)$$

بنابراین:

$$Z_x = 0.55 Z_a \sin \alpha / \sin(\phi - 30)$$

برای تمامی حالات، می توان برد رله را در جهت بار با استفاده از معادله اخیر بدست

آورد. این بررسی شامل برقراری رابطه زیر است:

$$\frac{Z_C - Z_X}{Z_C} \times 100 \geq P \quad (9-42)$$

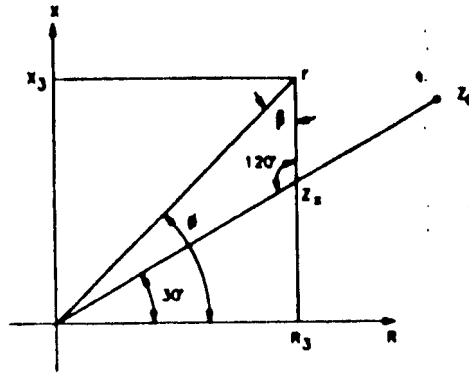
که $P=0.5$ برای خطوط دو مداره، و 0.25 برای خطوط تک مداره براساس آنچه قبلاً

ذکر گردید، خواهد بود.

رله های با مشخصه چند ضلعی

ناحیه ۳ بوسیله تنظیمات راکتیو و مقاومتی یعنی X_r و R_r به ترتیب تعیین می شوند. این

وضعیت در شکل ۹-۳۳ نشان داده شده است.



شکل ۹-۳۳- بررسی حداکثر بار در رله با مشخصه چند ضلعی

از شکل ۹-۳۳ می توان دید که :

$$\phi = \tan^{-1}(X_r / R_r) , r = \sqrt{R_r^2 + X_r^2}$$

$$(\phi - 30^\circ) + 120^\circ + \beta = 180^\circ \quad (9-43)$$

$$\beta = 90^\circ - \phi$$

با بکار بردن قواعد مثلثاتی :

$$\frac{\sin \beta}{\sin 120^\circ} = \frac{Z_x}{r}$$

$$Z_x = r \frac{\sin \beta}{\sin 120^\circ} \quad (9-44)$$

از رابطه فوق می توان برد رله های با مشخصه چند ضلعی در جهت بار را تعیین نمود.

امپدانس Z_X باید در نامساوی داده شده صدق کند.

۹-۱۰- رسم تنظیمات رله

تنظیم رله های دیستانس را می توان در نمودارهایی بصورت زمان برحسب برد برای

تجهیز تحت حفاظت نمایش داد. برد برحسب اهم بیان می‌گردد. واضح است که برد بستگی به تنظیمات صورت گرفته براساس روش بیان شده در بالا دارد. باید توجه داشت که تنظیمات محاسبه شده با استفاده از معادلات فوق دارای دو نوع محدودیت می‌باشند:

۱- محدودیتهای متناظر با یک رله خاص، در هنگامی که مقدار محاسبه شده خیلی زیاد بوده و نتوان رله را براساس آن تنظیم نمود.

۲- محدودیتهای بار، در مواقعی که برد ناحیه ۳ بسیار نزدیک به نقطه حداکثر بار می‌گردد.

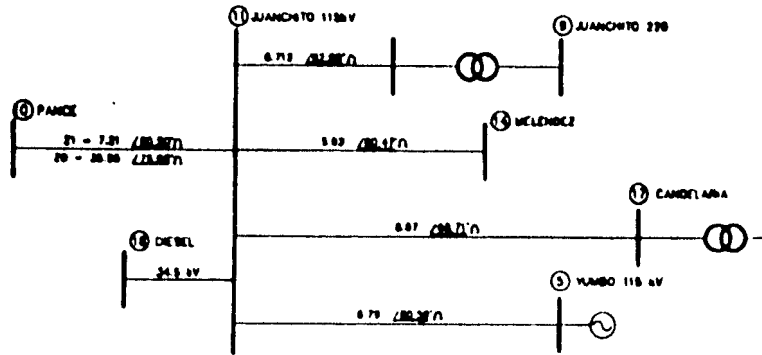
در هنگام وجود محدودیت اول، تنظیم برابر حداکثر مقدار قابل تنظیم روی رله قرار داده می‌شود.

مثال ۹-۱

مطالعه موردی زیر روندی را که باید برای دستیابی به تنظیمات رله دیستانس دنبال نمود مشخص می‌سازد. تعیین تنظیمات مشروط بر آنکه معیارها بخوبی بکار روند، روندی کاملاً تعریف شده و مشخص دارد، با این وجود در عمل تغییراتی خواهد نمود که این تغییرات نه تنها بستگی به سازنده رله بلکه به نوع آن نیز وابسته است.

برای این مطالعه موردی، یک رله دیستانس در ایستگاه Panco در مسیر ایستگاه Juanchito در شبکه شکل ۹-۳۴ در نظر بگیرید. روی شکل امپدانس خطوط مشخص شده‌اند. در شکل ۹-۳۵ نتایج مطالعه اتصال کوتاه صورت گرفته روی شبکه ارائه گردیده است. نسبت

تبدیل CT و VT به ترتیب 600/5 و 1000/1 می‌باشند.



شکل ۹-۳۴- نمودار امپدانس مثال ۹-۱ که در آن امپدانسهای دیده شده توسط رله روی خط Juanchito

در ایستگاه Panco نشان داده شده است.

FAULT CURRENTS IN SYSTEM ELEMENTS
VALUES IN KILOAMPS, REFERRED TO RECEIVING BUSBAR

ELEMENTS	PHASE A		PHASE B		PHASE C			
	MAGNITUDE	ANGLE	MAGNITUDE	ANGLE	MAGNITUDE	ANGLE		
1 A ANCH-220	0	REFERENCE	1.3066743	92.7177749°	1.30664555	-27.282974°	1.30664555	-147.28154°
2 SALVJ-220	0	REFERENCE	0.998064541	91.7096217°	0.998042583	-28.291127°	0.998042583	-148.28969°
3 ESMERA-220	0	REFERENCE	1.39397871	94.4244033°	1.39394504	-25.576345°	1.39394804	-145.57491°
4 POPAYA-220	0	REFERENCE	0.661038585	95.927806°	0.661024042	-24.807968°	0.661024042	-144.80653°
5 YUMBO-115	0	REFERENCE	2.31946974	91.9760292°	2.3194871	-29.024719°	2.31941871	-148.02328°
6 BANCH-115	0	REFERENCE	0.833333831	97.1632629°	0.833375496	-22.837486°	0.833375496	-142.83605°
7 PANCE-220	0	REFERENCE	0.679960307	92.1731526°	0.679945348	-27.827596°	0.679945348	-147.82616°
8 YUMBO-220	-1	A ANCH-220	0.626773016	93.33961°	0.626764227	-26.692139°	0.626764227	-146.69070°
8 YUMBO-220	-7	PANCE-220	0.09866522	-102.634422°	0.09866305	137.364892°	0.09866305	17.366327°
7 PANCE-220	-2	SALVJ-220	0.6028895722	93.042052°	0.602882458	-26.958696°	0.602882458	-146.95726°
9 JUANCH-220	-2	SALVJ-220	0.395580336	89.67863°	0.395571633	-30.322099°	0.395571633	-150.32066°
9 JUANCH-220	-7	PANCE-220	0.226206392	-70.344291°	0.226201415	169.65500°	0.226201415	49.656438°
8 YUMBO-220	-3	ESMERA-220	1.06737816	94.868032°	1.06735468	-25.132717°	1.06735468	-145.13128°
9 JUANCH-220	-3	ESMERA-220	0.326737071	92.975025°	0.326729882	-27.025723°	0.326729882	-147.02429°
9 JUANCH-220	-4	POPAYA-220	0.661038583	95.192781°	0.66102404	-24.807968°	0.66102404	-144.80653°
10 PANCE-115	-7	PANCE-220	1.59477593	94.037471°	1.59474185	-25.963278°	1.59474185	-145.96184°
11 JUANCH-115	-9	JUANCH-220	1.16717186	89.92533°	1.16714619	-30.075395°	1.16714619	-150.07396°
8 YUMBO-115	-5	YUMBO-115	3.060633E06	-84.680164°	3.06056572	155.31913°	3.06056572	35.320564°
11 JUANCH-115	-10	PANCE-115	2.11261541	94.457371°	2.11256893	-25.543377°	2.11256893	-145.54194°
12 SANTO-115	-10	PANCE-115	0.396284554	-82.300371°	0.39627584	157.698924°	0.39627583	37.700358°
11 JUANCH-115	-5	YUMBO-115	5.36459505	94.124933°	5.36447703	-25.875816°	5.36447703	-145.87438°
13 CHIPCH-115	-5	YUMBO-115	0.026651163	33.840843°	0.0266505769	-86.159885°	0.0266505769	153.84158°
13 CHIPCH-115	-6	BANCH-115	0.833333828	97.163263°	0.833375493	-22.837486°	0.833375493	-142.83605°
-13 CHIPCH-115	-12	SANTO-115	0.592014005	-83.184675°	0.5900098	156.81462°	0.59200098	36.816054°
14 MELEND-115	-10	PANCE-115	1.333830445	94.459714°	1.3338011	-25.541034°	1.3338011	-145.5396°
14 MELEND-115	-11	JUANCH-115	1.33383044	-85.54031°	1.3338011	154.458987°	1.3338011	34.460422°
15 PAILON-115	-6	BANCH-115	0	0	0	0	0	0
16 TABOR-115	-6	BANCH-115	0	0	0	0	0	0
16 TABOR-115	-15	PAILON-115	0	0	0	0	0	0
17 CANDEL-115	-11	JUANCH-115	5.34425E-09	111.290404°	5.34413E-09	-8.710345°	5.34413E-09	-128.70891°
18 DIESEL2-34	-11	JUANCH-115	0.449934835	-86.343911°	0.449924937	153.65538°	0.449924937	33.656818°
18 DIESEL2-34	-12	SANTO-115	0.195872232	95.026027°	0.195867923	-24.974721°	0.195867923	-144.973287°
18 DIESEL2-34	-13	CHIPCH-115	0.25416174	92.600411°	0.254156149	-27.400337°	0.254156149	-147.398903°

شکل ۳۵-۹ نتایج جریانهای اتصال کوتاه برای خطا روی باسبار ۱۱ در شکل ۳۴-۹

۱۳۲

۱۶۸
(۱۳)

از معیار تنظیم ناحیه :

$$Z_1 = 0.185 Z_{1-11} = 0.185 (7/21 \angle 0.5^\circ) = 6/13 \angle 80.5^\circ \quad \text{اولیه}$$

برای ناحیه ۲ :

$$Z_2 = Z_{1-11} + 0.5(1 + K_1) Z_{11-1}$$

در این مورد ثابت تغذیه میانی بصورت زیر تعریف می شود:

$$K_1 = \frac{I_{12-11} + I_{17-11} + I_{2-11} + I_{18-11}}{I_{1-11}}$$

رابطه فوق برای خطا روی باسبار ۱۱ است. مقادیر مربوطه را می توان از شکل ۹-۳۵

بدست آورد:

$$K_1 = \frac{1332/8 \angle -85/54^\circ + 0 + 5364/6 \angle (94/12^\circ - 180^\circ) + 449/9 \angle -86/3^\circ}{2112/6 \angle (94/45^\circ - 180^\circ)}$$

در انجام این محاسبات باید توجه داشت که مقادیر جریان در شکل ۹-۳۵ نسبت به

باسبار دریافت کننده جریان ارجاع شده اند. بنابراین، اگر عبور جریان در جهت مخالف باشد،

مقدار زاویه را باید تنظیم نمود. بدین ترتیب، دامنه I_{5-11} برابر دامنه I_{11-5} است ولی زاویه آن

$$= -85/88^\circ \text{ می باشد. بر این اساس:}$$

$$K_1 = \frac{7148/27 \angle -85/87^\circ}{2112/6 \angle -85/5^\circ} = 2/28 \angle -0.37^\circ$$

و لذا $1 + K_1 = 4/28$ می گردد.

بنابراین، تنظیم ناحیه ۲ خواهد شد :

$$Z_2 = 7/21 \angle 80.5^\circ + (4/28 \times 0.356 \angle 82.0/90^\circ) = 8/77 \angle 80.93^\circ \quad \text{اولیه}$$

برای تنظیم ناحیه ۳ :

~~168~~

168
(168)

$$Z_r = Z_{11-11} + (1 + K_r) Z_{11-17} + 0.25(1 + K_r) Z_{Transformer}$$

در این حالت، ثابت تغذیه میانی K_r برابر K_r در نظر گرفته می شود، چون کاهش برود در

آن بخش قابل توجه نخواهد بود. این روش در تنظیم ناحیه ۳ متداول است. برای خطا روی

باسبار ۱، ثابت تغذیه میانی بصورت زیر تعریف می شود:

$$K_r = \frac{I_{9-11} + I_{12-11} + I_{5-11} + I_{18-11}}{I_{11-11}}$$

با استفاده مجدد از شکل ۹-۳۵، I_{9-11} از مقدار I_{11-9} بدست می آید. مقدار آن

نسبت به سمت ۲۲۰KV (سمت دریافت کننده) است. مقدار آن پس از ارجاع به

سمت ارسال کننده، در ۱۱۵KV برابر $I = 2222 / 8 A$ می گردد. زاویه

$$= -90/10^\circ \text{ خواهد شد. } (180^\circ - 90/9^\circ)$$

$$K_r = \frac{\{1167 \times (220/115)\} \angle (180^\circ - 90/9^\circ) + 1222/8 \angle -85/5^\circ + 5264 \angle 94/10^\circ - 180^\circ + 449/9 \angle -86/3^\circ}{21126 \angle (94/45^\circ - 180^\circ)} \quad \text{بنابراین:}$$

$$K_r = \frac{9276/72 \angle -86/86^\circ}{2112/6 \angle -85/5^\circ} = 4/44 \angle -1/26^\circ \quad \text{یعنی:}$$

$$1 + K_r = 5/44 \angle -1/10^\circ \quad \text{بدین ترتیب}$$

لذا تنظیم ناحیه ۳ خواهد شد:

$$Z_r = 7/21 \angle 80/50^\circ + (5/44 \angle -1/10^\circ \times 80/7 \angle 68/71^\circ) + (1 + 4/44 \angle -1/26^\circ)$$

$$11/95 \angle 90^\circ = 114/35 \angle 80/20^\circ$$

تنظیمات رله، برحسب اهم اولیه، بصورت زیر جمع بندی می گردد:

$$Z_1 = 6/13 \angle 80/50^\circ$$

۱۶۹

۱۶۵
(۱۶۵)

۱۶۵

$$Z_r = 8/77 \angle 80/93^\circ$$

$$Z_r = 114/35 \angle 80/20^\circ$$

اهم ثانویه با استفاده از رابطه زیر حاصل می شود:

$$Z_{sec} = Z_{prim} \times \frac{CTR}{VTR}$$

در این صورت $CTR/VTR = 120/1000 = 0/12$ ، بنابراین، $Z_1 = 0/726 \Omega$

$Z_r = 13/79 \Omega$ و $Z_r = 1/052 \Omega$ خواهد شد.

تنظیم واحد راه انداز

واحد راه انداز با منظور کردن 50٪ امپدانس بار حداکثر تنظیم می شود. از مطالعه پنخس

بار، قدرت انتقال از Pance به Juanchito برابر خواهد شد با:

$$S = 30/4 + J13/2 \text{ MVA}$$

$$|S| = 33/14 \text{ MVA}$$

بنابراین:

$$Z_C = \frac{V^2}{P} = \frac{115^2}{33/14} = 399/02 = \text{اهم اولیه} = 47/88 = \text{اهم ثانویه}$$

تنظیم ثابت جبران جریان باقیمانده

$$K_1 = \frac{Z_0 - Z_1}{2 Z_1}$$

که در آن:

$K_1 = \text{ثابت جبران جریان باقیمانده}$

Z_0 و Z_1 = امپدانسهای ترتیب مثبت و صفر

با جایگذاری مقادیر:

$$K_1 = \frac{36/95 \angle 75/66^\circ - 7/21 \angle 80/50^\circ}{3(7/21 \angle 80/50^\circ)} = 1/377 \angle -6^\circ$$

$$K = 1/4$$

تنظیم زمان

تاخیر زمانی برای ناحیه ۲ = ۰/۴ ثانیه

تاخیر زمانی برای ناحیه ۳ = ۱ ثانیه

بررسی بار

تنظیم واحدی که طولانی مشخصه کاری رله را تعیین می نماید باید برای اطمینان از اینکه

با ناحیه بار همپوشانی ندارد بررسی گردد. در این مثال بار برابر ۳۳/۱۴ MVA بوده که معادل

بار امپدانس بار زیر است:

$$Z_C = \frac{V^2}{P} = \frac{(115 \text{ KV})^2}{33/14 \text{ MVA}} = 399 / 0.3$$

اهم اولیه

$$Z_C = 47 / 88$$

اهم ثانویه

برد رله در جهت بار بصورت زیر تعیین می شود:

$$\sin \beta = 0.818 \sin (\phi - 30^\circ)$$

که برای تنظیم رله $\phi = 75^\circ$ داریم:

$$\sin\beta = 0.818 \sin(45^\circ)$$

و از آن :

$$\beta = 35/34^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - \beta - (\phi - 30^\circ)$$

که α از رابطه فوق برابر $99/66^\circ$ می شود، بدین ترتیب برد رله بدست می آید:

$$Z_x = \frac{0.55 Z_r \sin 99/66^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{0.55 (114/35) \sin 99/66^\circ}{\sin 45^\circ}$$

$$Z_x = 87/68 \quad \text{اهم اولیه}$$

فاصله نقطه بار بصورت درصد عبارتست از :

$$\% = \frac{399/0.3 - 87/68}{399/0.3} \times \% 100 = \% 78/0.3$$

بنابراین، نتیجه می شود که تنظیم مناسب بوده و ضرورتی به تنظیم مجدد برد رله به دلیل

بار نمی باشد.

تعیین پوشش موثر

براساس تنظیمات محاسبه شده، در ناحیه ۲ رله 50% خط ۹-۱۱ پوشش می دهد. با

این وجود، اهمیت دارد که پوشش این تنظیم در طول خط Juanchito-Yumbo ۱۱۵KV

(۵-۱۱) تعیین گردد.

$$X_r = \frac{Z_r - Z_{L_1}}{Z_{L_1} (1 + K_1)}$$

ثابت تغذیه میانی K_1 در ایستگاه Juanchito (شماره ۱۱) برای خطا روی باسبار ۱۱ از

رابطه زیر بدست می آید:

$$K_1 = \frac{I_{9-11} + I_{12-11} + I_{17-11} + I_{18-11}}{I_{10-11}}$$

چون معلوم شده است که زوایای ثابتهای تغذیه میانی به صفر نزدیک هستند، لذا مقادیر

آنها را می توان صرفاً با استفاده از مقادیر جریانها بدست آورد:

$$K_1 = \frac{\{1167 \times (220/115)\} + 1333/8 + 0 + 449/9}{2112/6} = 1/90$$

بنابراین، پوشش موثر در طول خط Juanchito-Yumbo برابر است با:

$$X_2 = \frac{8/77 - 7/21}{6/79 (1 + 1/90)} = 0.079 = 7.9\%$$

همانگونه که انتظار می رفت، برد ناحیه ۲ کمتر از ۵۰٪ خط Juanchito-Yumbo است،

زیرا کوتاهترین خط Juanchito 115 به Juanchito 220 می باشد. بردهای رله ها در شکل ۳۶-۹

ارائه شده است.

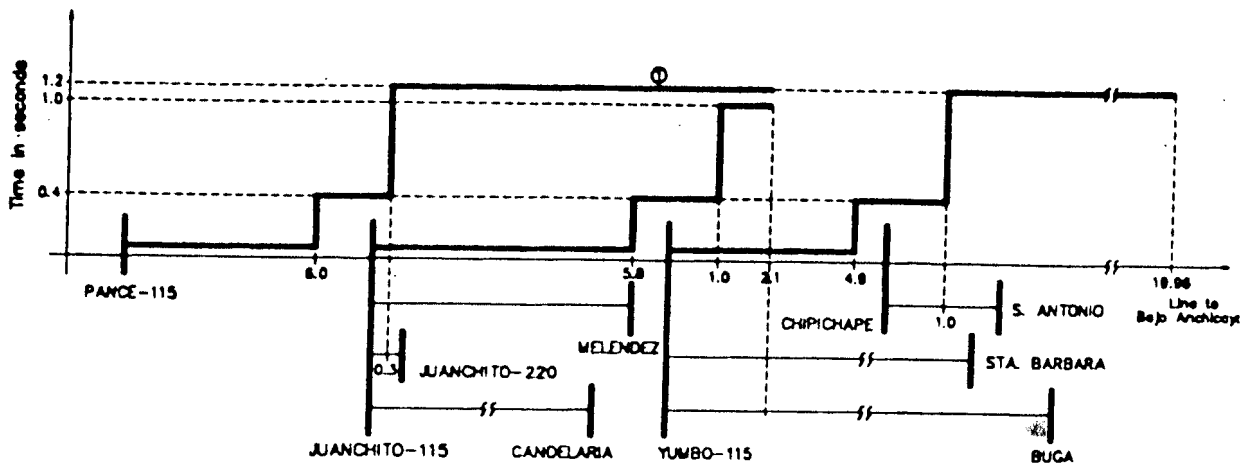


Figure 9.36 Reach of distance protection relays for Example 9.1

Z_L Pance-Juanchito	= 7.21 $\angle 80.50^\circ \Omega$	Z_L Chipichape-S. Antonio	= 2.08 $\angle 67.18^\circ \Omega$
Z_L Juanchito-Yumbo	= 6.79 $\angle 80.59^\circ \Omega$	Z_L Juanchito 115-Candelaria	= 8.07 $\angle 68.70^\circ \Omega$
Z_L Yumbo-Chipichape	= 5.79 $\angle 69.25^\circ \Omega$	Z_L Yumbo-Santa Barbara	= 10.25 $\angle 80.28^\circ \Omega$
Z_L Chipichape-B. Anchicaya	= 27.59 $\angle 67.16^\circ \Omega$	Z_L Yumbo-Buga	= 23.38 $\angle 69.52^\circ \Omega$
Z_L Juanchito 115-Juanchito 220	= 0.712 $\angle 82.90^\circ \Omega$		

شکل ۹-۳۶- برد رله‌های دیستانس برای مثال ۹-۱

۱۷۴

۱۷۴
(۱۷۴)

مثال ۲-۹

برای شبکه قدرت شکل ۲۷-۹، تنظیم ناحیه ۲ را برای رله واقع در San Antonio با ثابت تغذیه میانی براساس نتایج خطا در ایستگاه Chipichape و بکاربردن معیارهای ذکر شده قبلی محاسبه نمایید.

امپدانسهای واقعی که رله برای خطا روی خط Chipichape-Yumbo و روی باسبار در Yumbo می بیند را تعیین نموده، و براساس آنها، تعیین نمایید که آیا ناحیه ۲ رله برای این خطاها عمل می نماید.

در محاسبه برد ناحیه ۲، میزانی از خط که در صورت صرف نظر از سهم خط Yumbo-Chipichape پوشش داده می شود را بررسی نمایید. با امپدانسهای اولیه مثال را حل کنید.

حل

ناحیه دوم رله تا خط Chipichape-Yumbo که کوتاهترین خط مجاور دیده شده توسط رله در San Antonio می باشد، گسترش می یابد.

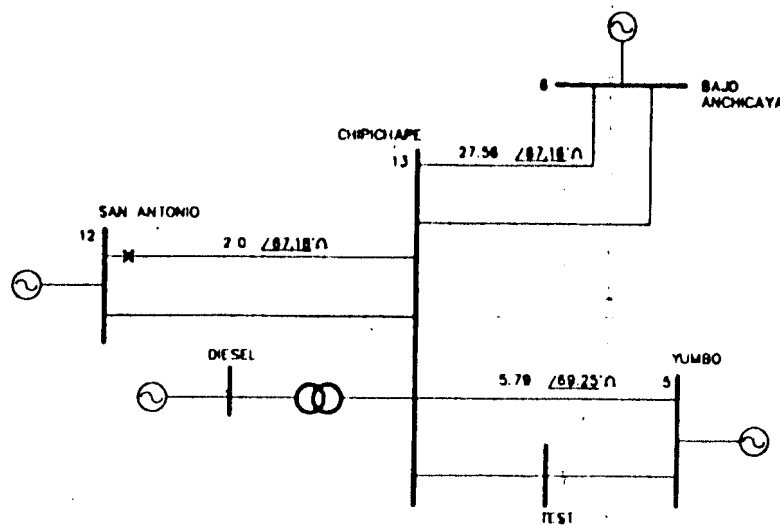
در این روند، نقطه خطای اولیه در Chipichape در نظر گرفته شده و سپس در گامهای ده درصدی در طول خط Chipichape-Yumbo حرکت می نماید. با کمک رایانه، می توان مقدار K در هر نقطه را با منظور کردن باسباری به نام TEST در نقطه خطا تعیین کرد. به این طریق مقدار K برای هر مورد با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$K = \left[\frac{I_{SA-ch} + I_{BA-ch} + I_{D-ch} + I_{Y-ch}}{2} \right] \frac{I_{SA-ch}}{2}$$

می توان دید که در این صورت $I_{inf} + I_{relay} = I_{ch-TEST}$ می گردد.

اکنون

$$\frac{I_{inf} + I_{relay}}{I_{relay}} = K + 1$$



شکل ۳۷-۹- شبکه قدرت برای مثال ۲-۹

و بنابراین، مقدار $(1+K)$ را می توان از فرمول بدست آورد:

$$\frac{I_{ch-TEST}}{(I_{SA-CH})/2}$$

نتایج محاسبات رایانه ای برای خط در نقاط مختلف بین Chipichape و Yumbo در

جدول ۹-۱ ارائه شده اند. با دانستن مقدار K برای هر نقطه خط، مقدار Z واقعی دیده شده

توسط رله را می توان محاسبه نمود.

جدول ۹-۱- مقادیر جریان و امپدانس برای خطهای روی خط Chipichape-Yumbo

Location of the fault (%)	I_{chip} (I_{chip})/2	I_{Yumbo}	I_{chip} in parallel line	Infeed current	$1+K$	Z_{eq} from Ch $-(1+K)Z$
0 (Chi)	1534.8 $\angle -87^\circ$	7748.6 $\angle -83^\circ$	3243.5 $\angle -82^\circ$	6227.1 $\angle -83^\circ$	5.048	0
10	1295.7 $\angle -87^\circ$	6117.8 $\angle -85^\circ$	2175.9 $\angle -83^\circ$	4822.1 $\angle -85^\circ$	4.721	2.733
20	1213.0 $\angle -86^\circ$	5591.5 $\angle -85^\circ$	1858.8 $\angle -83^\circ$	4378.5 $\angle -85^\circ$	4.609	5.337
30	1135.0 $\angle -86^\circ$	5084.6 $\angle -85^\circ$	1546.6 $\angle -84^\circ$	3949.9 $\angle -85^\circ$	4.479	7.780
40	1061.2 $\angle -85^\circ$	4594.5 $\angle -85^\circ$	1237.8 $\angle -84^\circ$	3533.5 $\angle -84^\circ$	4.329	10.025
50	990.7 $\angle -85^\circ$	4114.6 $\angle -85^\circ$	928.1 $\angle -85^\circ$	3123.9 $\angle -85^\circ$	4.153	12.022
60	922.7 $\angle -84^\circ$	3638.2 $\angle -85^\circ$	612.7 $\angle -87^\circ$	2715.2 $\angle -85^\circ$	3.943	13.697
70	855.2 $\angle -84^\circ$	3158.9 $\angle -85^\circ$	288.2 $\angle -92^\circ$	2302.3 $\angle -85^\circ$	3.689	14.951
80	790.6 $\angle -83^\circ$	2669.0 $\angle -84^\circ$	70.8 $\angle +132^\circ$	1878.4 $\angle -84^\circ$	3.375	15.633
90	725.5 $\angle -82^\circ$	2164.6 $\angle -84^\circ$	422.0 $\angle +101^\circ$	1439.0 $\angle -84^\circ$	2.983	15.544
100 (Y)	576.8 $\angle -80^\circ$	1115.8 $\angle -81^\circ$	1115.8 $\angle +99^\circ$	539.8 $\angle -83^\circ$	1.934	11.197

در شکل ۳۸-۹ منحنی‌های زیر نشان داده شده‌اند:

- امپدانس خط برحسب فاصله از Chipichape ؛
- امپدانس واقعی از Chipichape دیده شده توسط رله در San Antonio ؛
- مقدار $(1+K)$.

مقادیر تنظیم برای خط در Chipichape با، و بدون، سهمی از Yumbo که متغیر

می‌باشد، نیز رسم شده‌اند. باید توجه داشت که پوشش ناحیه ۲ با در نظر گرفتن سهم خط موازی Chipichape-Yumbo تا ۶۸٪ افزایش یافته و سپس از ۹۴٪ تا انتهای خط بالا می‌رود. این به معنای آن است که در ناحیه ۲ رله در Chipichape همپوشانی می‌تواند رخ دهد.

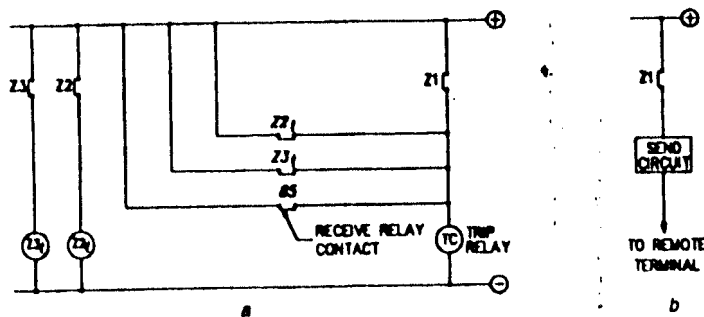
۱۱-۹- طرح‌های مختلف با استفاده از سیگنالهای مخابراتی

حفاظت دیستانس پس از سالهای متمادی استفاده در خطوط فشار قوی ثابت نموده است که بسیار قابل اطمینان می‌باشد. ولی این حفاظت دارای این محدودیت بوده که ناحیه اول تمامی طول خط را برخلاف طرح‌های حفاظتی واحد نظیر حفاظت دیفرانسیل پوشش نمی‌دهد. با ارتباطات مخابراتی سریع، قابل اطمینان و اقتصادی فعلی، این محدودیت می‌تواند با برقراری ارتباط مخابراتی بین رله‌های دو سوی خط و افزودن طرح‌های قطع توسط سیگنال دریافتی برطرف گردد. علاوه بر این، حفاظت دیستانس دارای مزیت توانایی عملکرد بصورت پشتیبان برای ایستگاههای جلوتر است. گرچه تنوع زیادی در طرح‌های قطع توسط سیگنالهای دریافتی وجود دارد، در اینجا فقط طرح‌های متداولتر بررسی خواهد شد. همانند هر سیستم حفاظتی، انتخاب یک طرح حفاظتی خاص بستگی به معیارهای اعمال شده در شرکتهای مختلف برق، ارتباطات مخابراتی موجود و اهمیت خطوط تحت حفاظت دارد.

بطور کلی، واقعیت آن است که این طرح‌های مختلف قادرند سریعاً خطاهای در انتهای خط، خارج از ناحیه ۱ را برطرف نمایند، که این نمایانگر اهمیت بکارگیری فرمان قطع توسط سیگنال است.

۹-۱۱-۱- کاهش برد با فرمان قطع مستقیم

در این حالت، تنظیمات رله دیستانسی که یک خط را حفاظت می‌نماید براساس معیارهای ذکر شده در بخش ۹-۲ خواهد بود. هنگامی که واحد ناحیه ۱ رله‌ها عمل می‌نمایند، آنها سیگنالی در طول مسیر ارتباطی ارسال می‌دارند که سبب صدور فرمان فوری قطع در انتهای دیگر خط می‌گردد. این طرح ساده بوده و دارای این مزیت است که فوق‌العاده سریع می‌باشد؛ با این وجود، دارای این عیب بوده که ممکن است کلید قدرت در صورت عدم عملکرد صحیح تجهیزات مخابراتی فرمان قطع نابجا صادر نماید. شکل ۹-۳۹ عملکرد این طرح را با وجود رله دیستانس در یک طرف خط نشان می‌دهد.



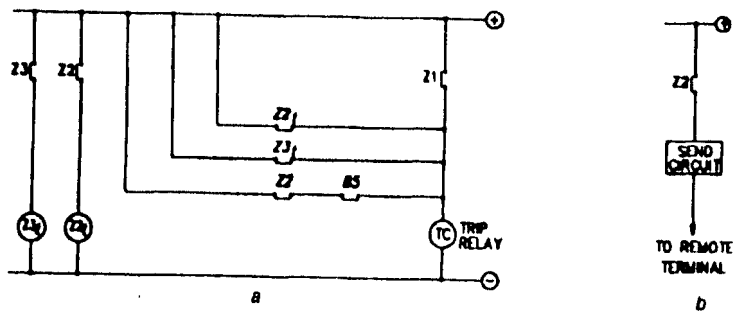
شکل ۹-۳۹- کاهش برد با فرمان قطع مستقیم

(a) مدار منطقی صدور فرمان قطع

(b) مدار منطقی طرح ارسال سیگنال

۲-۱۱-۹- کاهش برد با مجوز از طریق سیگنال مخابراتی

این طرح شبیه طرح قبلی بوده ولی دارای این تفاوت است که واحد ناحیه ۲ در سمت دریافت‌کننده سیگنال باید خطا را قبل از دریافت فرمان قطع مخابراتی تحریک شده باشد. مزیت این طرح آن است که فرامین قطع کاذب سبب عملکرد رله نخواهد شد. بنابراین، واحد ناحیه ۲ در سمت دریافت‌کننده سیگنال بطور صحیح در هنگام وجود خطا عمل خواهد کرد. در بعضی موارد لازم است که تاخیر زمانی به فرمان قطع از طرف ارسال‌کننده افزوده شود، خصوصاً در هنگامی که خطوط دو مداره‌ای وجود داشته باشد که از یک منبع در یک طرف خطوط تغذیه شوند. شکل ۹-۴۰ نمودار شماتیک برای رله دیستانس واقع در یک طرف خط را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۴۰- کاهش برد با مجوز از طریق سیگنال مخابراتی

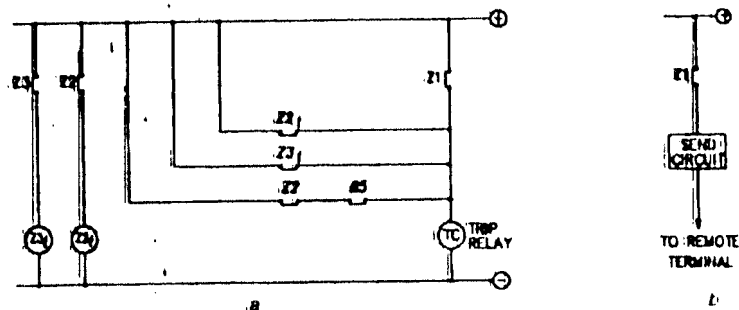
(a) مدار منطقی صدور فرمان قطع

(b) مدار منطقی طرح ارسال سیگنال مخابراتی

۱۸۰
۱۳۰
(۹۳)

۳-۱۱-۹- افزایش برد با مجوز از طریق سیگنال مخابراتی

با این آرایش، عملکرد رله بسیار شبیه طرح بالا بوده جز آنکه صدور فرمان قطع از طریق کانال مخابراتی ناشی از عملکرد ناحیه ۲ به جای ناحیه ۱ خواهد بود. در اینجا هم، قطع توسط رله‌ای که سیگنال را دریافت می‌نماید بستگی به آن دارد که واحد ناحیه ۲ نیز خطا را دیده باشد. نمودار شماتیک این آرایش در شکل ۹-۴۱ ارائه شده است.



شکل ۹-۴۱- افزایش برد با مجوز از طریق سیگنال مخابراتی

(a) مدار منطقی صدور فرمان قطع

(b) مدار منطقی طرح ارسال سیگنال مخابراتی

۱۲-۹- رله‌های دیستانس روی خطوط جبران شده بصورت سری

جبران‌سازی خطوط با استفاده از خازنهای سری نشان داده است که بعنوان روشی موثر برای افزایش راندمان توان انتقالی در طول خط می‌باشد. دلایل عمده برای جبران‌سازی خط عبارتند از:

• بهبود در تعادل توان راکتیو ؛

• کاهش تلفات شبکه ؛

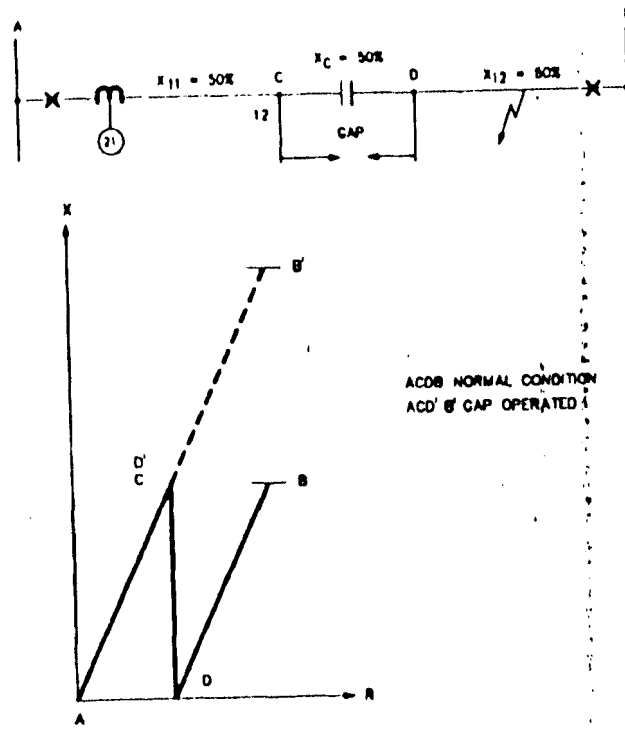
• بهبود تنظیم ولتاژ ؛

• بهبود پایداری گذرای شبکه ؛

• افزایش توانایی انتقال توان.

در ارتباط با مورد اخیر، توان انتقالی حقیقی از یک ناحیه (۱) به ناحیه دیگر (۲) بوسیله رابطه $P = \{V_1 V_2 \sin(\phi_1 - \phi_2)\} / X$ بیان می‌شود. در مورد یک خط، قرار دادن خازن سری سبب کاهش راکتانس کلی خط شده و لذا مقدار توان حقیقی قابل انتقال را افزایش می‌دهد. میزان جبران سازی معمولاً بصورت درصد راکتانس اندوکتیو خط که توسط خازن سری جبران شده است ذکر می‌گردد. مقادیر جبران سازی معمولاً در محدوده ۲۰ تا ۷۰٪ می‌باشد.

قرار دادن جبران‌سازهای سری می‌تواند بر عملکرد سیستم حفاظتی اثرات جدی، خصوصاً در رله‌های دیستانس، بگذارد. این اثرات مربوط به تغییر ولتاژ و یا جریان، و تغییر امپدانس دیده شده توسط رله می‌باشد. شکل ۹-۴۲ امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله‌های را A در هنگام ۵۰٪ جبران‌سازی در وسط خط را نشان می‌دهد. خطاهای فراتر از خازن سری نزدیکتر بنظر رسیده، مقداری و لذا ناحیه ۱ باید برای مقداری با امپدانس کوچکتر تنظیم گردیده تا از افزایش برد جلوگیری شود.

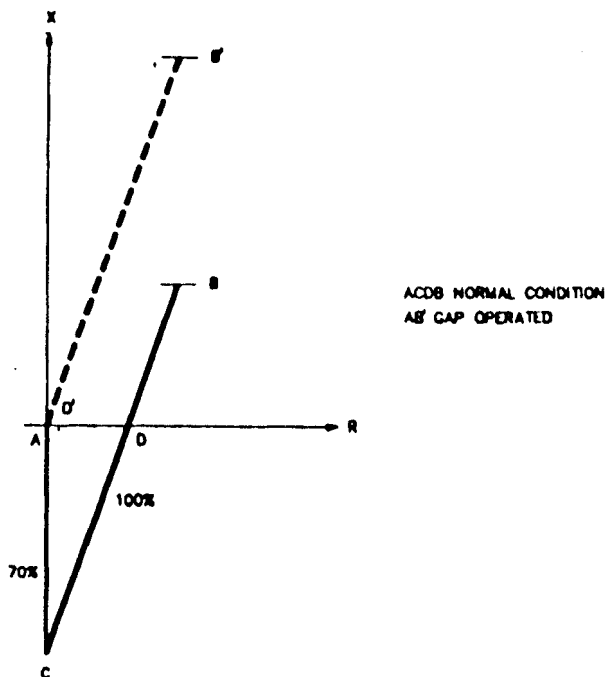
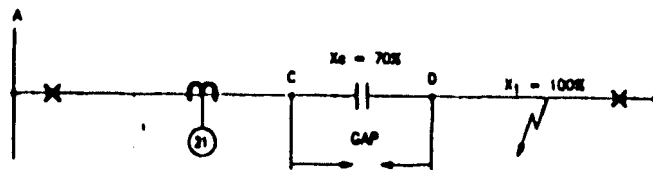


شکل ۹-۴۲- امپدانس ظاهری با جبران‌سازی سری در وسط خط

شکل ۹-۴۳ متناظر با حالتی است که 70% جبران‌سازی سری در نزدیکی ابتدای خط در A انجام گرفته باشد. در اینصورت، رله خط را در جهت مخالف می‌تواند رویت نموده و بدین ترتیب تنظیم باید متکی به حافظه و بایاس فازهای سالم برای تضمین عملکرد سریع سیستم حفاظتی باشد.

۱۸۳
۱۸۹
(۴۴)

۲۹۶



شکل ۴۳-۹- امپدانس ظاهری با جبران‌سازی سری در ابتدای خط

۹-۱۳- ملاحظات فنی حفاظت دیستانس در مدارات انشعابی

در کاربرد رله‌های دیستانس برای مدارات انشعابی، توجه خاصی به تاثیر تغذیه میانی توسط خطوط انشعابی باید بعمل آید. تغذیه میانی در دو یا سه سر می‌تواند وجود داشته باشد، که لازم است در هر مورد توجه ویژه‌ای مبذول گردد.

۹-۱۳-۱- مدار انشعابی با تغذیه میانی از دوسر

این وضعیت در شکل ۹-۴۴ نشان داده شده است که در آن فرض شده هیچگونه منبع تولیدی در باسبار C وجود ندارد. جریان تغذیه میانی I_B سبب می شود که رله دیستانس در باسبار A امپدانس ظاهری را که بزرگتر از امپدانس واقعی تا نقطه خطا باشد رویت نماید. برای خطایی در F، رله در A توسط ولتاژ زیر تغذیه می شود:

$$V_A = I_A Z_i + (I_A + I_B) Z_r \quad (9-45)$$

بنابراین، امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله A عبارتست از:

$$Z_A = \frac{V_A}{I_A} = Z_i + \left[1 + \frac{I_B}{I_A} \right] Z_r \quad (9-46)$$

$$Z_A = Z_i + (1 + K_A) Z_r$$

که در آن K_A بصورت ثابت تغذیه میانی سیستم تعریف می شود.

چون تحت شرایط عادی K_A بزرگتر از یک بوده، لذا امپدانس ظاهری دیده شده توسط

رله در A، Z_A ، بزرگتر از امپدانس خطای واقعی بوده و بدین ترتیب رله در صورتی که تغذیه

میانی در نظر گرفته نشود تمایل به کاهش برد مورد نظر در طول خط OC دارد. مشابه همین

حالت امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله B عبارتست از:

$$Z_B = Z_r + \left[1 + \frac{I_B}{I_A} \right] Z_r$$

$$Z_B = Z_r + (1 + K_B) Z_r \quad (9-47)$$

از سوی دیگر، رله های A و B باید بطریقی تنظیم شوند که برد ناحیه آنها فراتر از

باسبارهای B و C برای رله A، و باسبارهای A و C برای رله B نروند. در غیر این صورت،

خطاهای ترانسفورماتور ایستگاه C می تواند سبب قطع خط AB گردد. ناحیه ۱ رله در A باید برای مقدار کمتر روابط زیر تنظیم شود:

$$Z_1 = 0.85 Z_{AB}$$

$$Z_1 = 0.85 (Z_{AO} + Z_{OC}) \quad (9-48)$$

این کار سبب تضمین حداکثر پوشش روی بخشهای OB و OC، بدون امکان افزایش برد رله در ایستگاه A در هنگامی که جریان تغذیه میانی I_B قطع می گردد، خواهد شد. با این وجود، این مورد باعث کاهش برد رله در شرایط عادی که جریان I_B وجود دارد، می گردد. یک پیشنهاد دیگر آن است که معادله بصورت زیر اصلاح شود:

$$Z_1 = 0.85 \left[Z_{AB} + \left(1 + \frac{I_B}{I_A}\right) Z_{OC} \right] \quad (9-49)$$

گرچه این پوشش موثر در طول خط OC را ضمانت می نماید ولی معادله (9-49) دارای این اشکال است که اجازه افزایش برد در هنگام باز بودن مدار در B را می دهد. اگر امیدانس Z_{OC} در مقایسه با امیدانس Z_{OB} بسیار کوچکتر باشد، آنگاه پوشش رله در A روی بخش OB کاهش بسیار اندکی نسبت به حالتی که رله A بدون وجود انشعاب در O باشد می یابد. در چنین موردی ضرورت دارد که تسهیلات قطع مخابراتی جهت سرعت بخشیدن به حفاظت ناحیه برای کفایت حفاظت این بخش خط، تامین گردد.

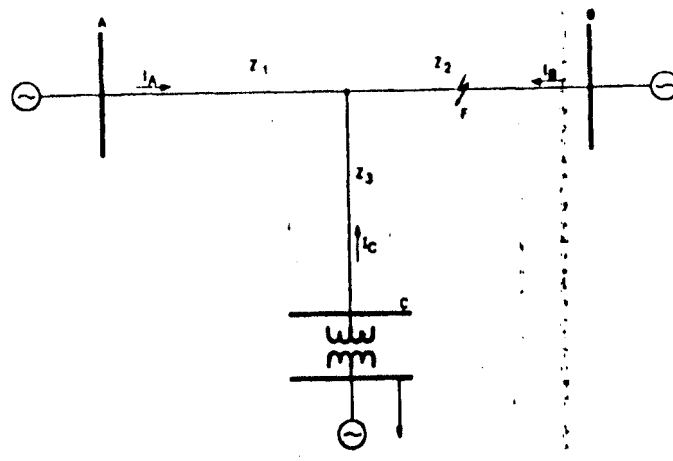
۲-۱۳-۹- انشعاب با تغذیه میانی از سه سر

اگر منبع تغذیه در انتهای هر سه سر خط انشعابی، مطابق شکل ۹-۴۵، باشد، اثر تغذیه

میانی برای خطاهای روی خط AB وجود دارد و سبب کاهش برد رله‌های واقع در A و B

می‌گردد. در چنین شرایطی، رله در A امپدانس ظاهری زیر را برای خطا در F مطابق شکل

۹-۴۵ رویت می‌نماید:



شکل ۹-۴۵- مدار انشعابی با تغذیه میانی از A، B و C

$$Z_A = \frac{V_A}{I_A} = Z_1 + \left[1 + \frac{I_C}{I_A} \right] Z_r \quad (9-50)$$

مقدار Z_A بزرگتر از مقدار امپدانس واقعی خطا $(Z_1 + Z_r)$ بوده و باعث کاهش برد رله

در A می‌گردد. تنظیمات رله در A بدین ترتیب باید براساس امپدانسهای واقعی سیستم، بدون

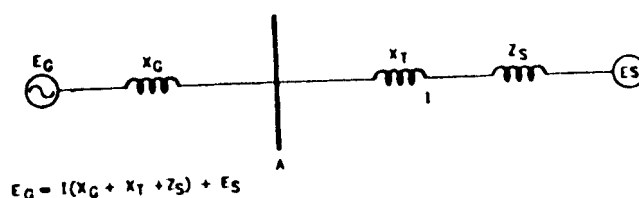
در نظر گرفتن اثر تغذیه میانی، به منظور جلوگیری از افزایش برد در هنگامی که یک یا چند سر

خط انشعابی باز باشند، محاسبه شود. با این معیار، هماهنگی بهینه بدست خواهد آمد ولی برد

رله‌ها بر اثر تغذیه از سرهای خط انشعابی کاهش می‌یابد.

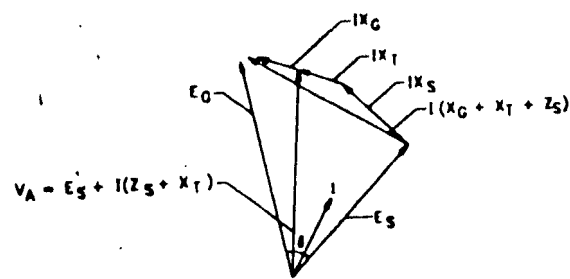
۹-۱۴- استفاده از رله‌های دیستانس برای آشکار نمودن قطع تحریک ژنراتورها

خطای سیستم تحریک در ژنراتور سبب قطع سنکرونیم با کاهش توان تولیدی و گرم شدن سیم‌پیچی‌ها در پی آمدن آن می‌گردد. کمیتی که در هنگام خروج ژنراتور از سنکرونیم بیشترین تغییر را دارد. امپدانس اندازه‌گیری شده در ترمینالهای استاتور می‌باشد. تحت شرایط قطع تحریک، ولتاژ در ترمینالها شروع به نزول نموده و جریان افزایش می‌یابد، سبب کاهش در امپدانس و تغییر در ضریب قدرت می‌گردد. ژنراتور و شبکه قدرت متناظر با آن را می‌توان بصورت شکل ۹-۴۶ نشان داد.

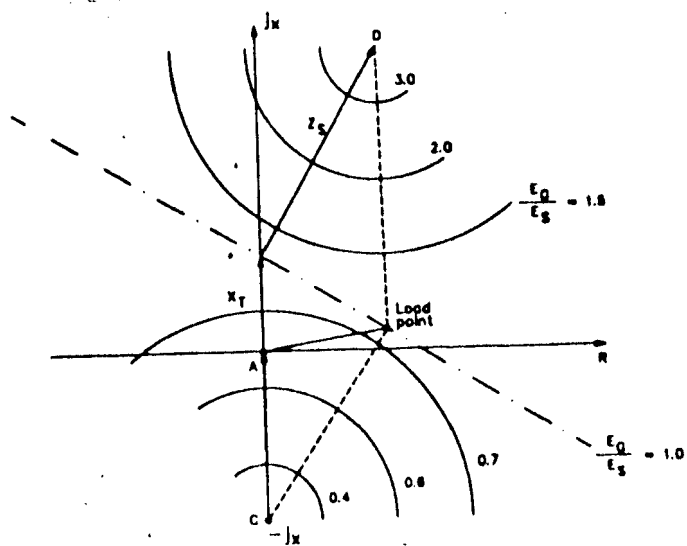


شکل ۹-۴۶- مدار معادل شبکه برای تحلیل قطع تحریک

نموداربرداری ولتاژها در شکل ۹-۴۷ ارائه گردیده و نموداربرداری امپدانسها در شکل ۹-۴۸ برای رله‌ای واقع در نقطه A جهت آشکارسازی قطع تحریک آمده است. امپدانسهای دیده شده توسط رله، در هنگامی که تغییراتی در مقادیر E_G ، E_S ، I و δ وجود دارند، دایری با مراکز در طول خط CD هستند.



شکل ۹-۴۷ - نمودار برداری ولتاژ برای شبکه شکل ۹-۴۶

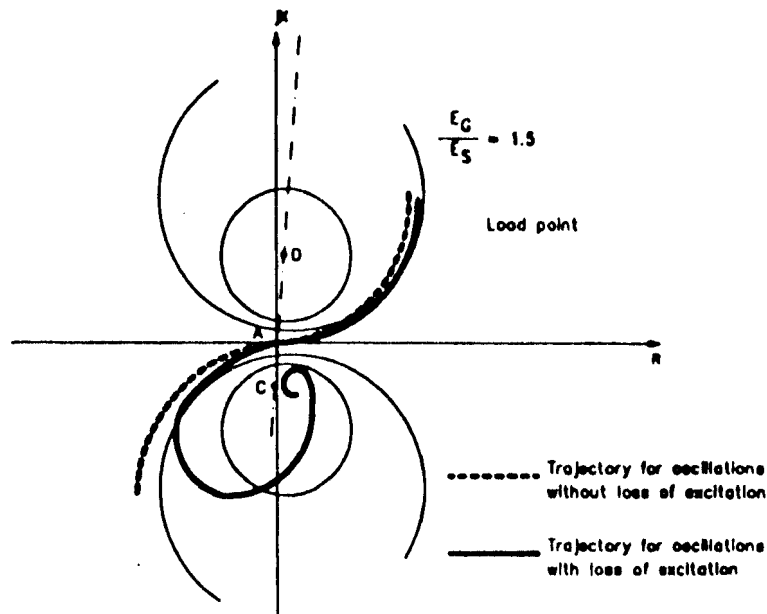


شکل ۹-۴۸ - نمودار برداری امپدانس برای شکل ۹-۴۶

هنگامی که یک ژنراتور در حال کار سنکرون تحریک خود را از دست می‌دهد، نسبت

E_G/E_S کاهش یافته و زاویه δ افزایش می‌یابد. این وضعیت در صفحه امپدانس نمایانگر

حرکت نقطه بار (یا امیدانس رویت شده توسط رله) در جهت نشان داده در شکل ۹-۴۹ است.

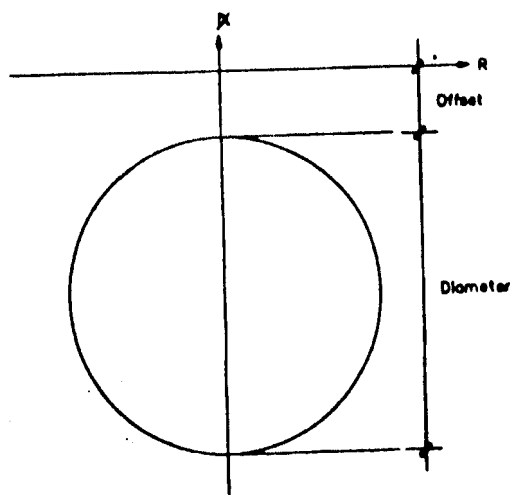


شکل ۹-۴۹- حرکت نقطه بار

یک رله با مشخصات mho که فقط دارای دو تنظیم یعنی میزان جابجایی و قطر آن باشد برای استفاده جهت آشکارسازی این وضعیت مطابق شکل ۹-۵۰ بکار می‌رود. میزان جابجایی طوری طراحی می‌گردد که مانع از عملکرد در هنگام نوسانات سیستم در هنگامی که تحریک قطع نشده و حفاظت در مقابل عملکرد آسنکرون مورد نیاز باشد، شود.

تنظیم قطر باید طوری باشد که امکان تامین توان برای بارهای با ضرائب قدرت پیش فاز فراهم گردد. مقدار تنظیم قطر ۵۰ تا ۱۰۰٪ از X_d نوعاً حفاظت در مقابل عملکرد آسنکرون

را تضمین می‌کند.



شکل ۵۰-۹- تنظیم جابجایی و قطر رله mho

تمرینات

۹-۱- نشان دهید که مشخصه عملکرد یک رله mho، یا به عبارت دیگر رله ادمیتانسی،

خط مستقیمی در نمودار ادمیتانسی است. نقاط قطع با محورها را مشخص نمایید.

۹-۲- برای شبکه قدرت شکل ۵۱-۹ موارد زیر را محاسبه کنید:

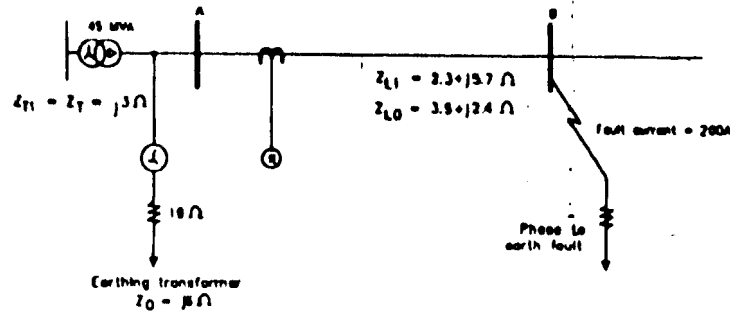
الف) مقاومت خطا، اگر جریان خطا $200A$ باشد.

ب) مقدار ثابت جبران‌سازی باقیمانده.

ج) امپدانس ثانویه که رله با وجود ثابت جبران‌سازی باقیمانده برابر $1/0 (1.00)$

می‌بیند.

نسبت تبدیل CT برابر ۸۰۰/۱ و نسبت تبدیل VT برابر $110/\sqrt{3} : 11800/\sqrt{3}$ می باشد.



شکل ۵۱-۹- شبکه قدرت تمرین ۲-۹

۹-۳- برای شبکه قدرت شکل ۵۲-۹، برد رله برحسب اهم ثانویه برای ناحیه ۳ رله دیستانس نصب شده در ایستگاه Juanchito، روی خطی که به ایستگاه Pance می رود را تعیین نمایید.

نزدیکی نقطه حداکثر بار به مشخصه را بررسی کنید.

ثابت‌های تغذیه میانی برای پوشش خطوط همجوار و دور دست را با در نظر گرفتن صرفاً ثابت‌های تغذیه میانی متناظر با باسبار ۷ محاسبه نمایید.

توجه :

- نسبت تبدیل‌های CT و VT ها را به ترتیب 800/5 و 2000/1 در نظر بگیرید.
- مقادیر اتصال کوتاه سه فاز برای خطا روی باسبار ۷ در شکل ۵۳-۹ ارائه گردیده است؛ مقادیر ذکر شده مقادیر خط (نه فاز) هستند.
- زاویه تنظیم رله 75° می باشد.
- بار حداکثر در هر مدار خط Juanchito-Pance برابر 40 MVA با زاویه $\pm 30^\circ$ است.