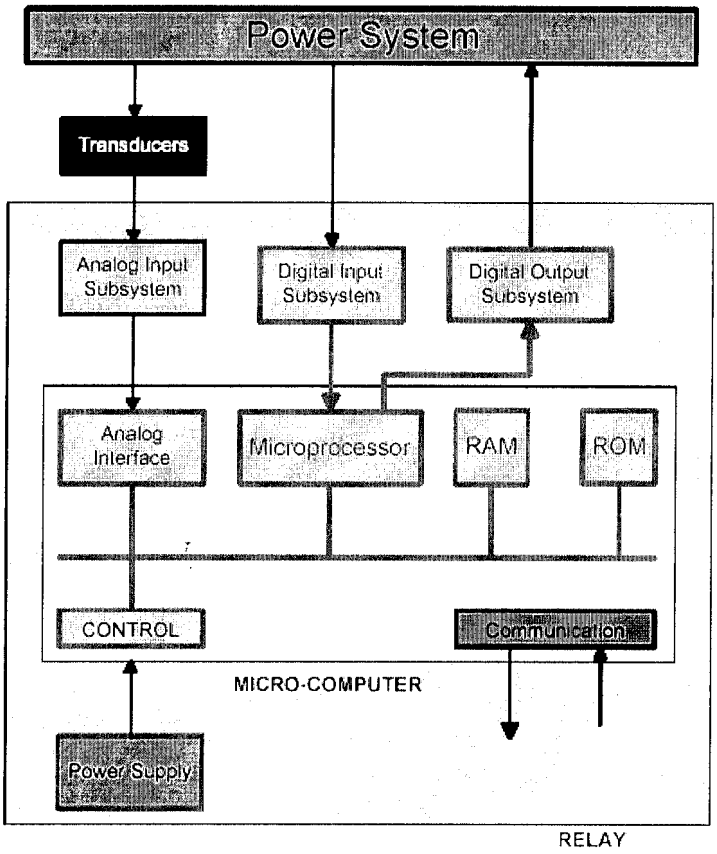
IRNPOWER

دانشکده صنعت آب و برق
(شهید عباسپور)

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 وتجهیزات دیگر تشکیل می شوند. جریانهای شدید متناظر با اتصال کوتاه در شبکه ها در صور تی که رله های حفاظتی وکلید های قدرت برای هر بخش از شبکه پیش بینی نشده باشند، می توانند به تجهیزات آسیب برسانند. معمولا اتصال کوتاه را خطا می گویند. بعضی از اشکالات دیگر به غیر از اتصال کوتاه نیزخطا تلقی می شوند. به عنوان مثال، نقص مسیر هدایت جریان بر اثر پارگی هادی نوعی خطاست. به طورکلی خطا مفهوم کلی تر داشته وعلاوه 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. معمولا امپدانس نقطه اتصال کم و مقدار جریان افزایش می یابد.در مدت اتصالی ولتاژهای سه فاز نامتعادل شده وتغذیه مدارهای مجاور هم تحت تاثیر این اتصالی واقع می شوند. جریانهای خطا زیاد بوده و نه تنها به خود دستگاهی که دارای اتصال می باشدآسیب 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 ودر شبکه گسترش یابد وسبب خسارت بخش هایی از آن گردد. ولتاژ شبکه ممکن است به سطح پایینی نزول کرده ویک 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 وتعیین 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 وغیر 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 چندکمیت برای آشکار نمودن شرایط غیر عادی در شبکه استفاده می کنند.

حفاظت نه تنهادر 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 وممانعت 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 جزیی در ترانسفورماتور قدرت رخ داده و سبب تولید حرارت و تجزیه روغن و عایق جامد ترانسفورماتور می گردد. درچنین 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 انکه خطای جزیی 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 فورا کلید قدرت را باز می نماید. هزینه تجهیزات حفاظتی معمولا حدود ٪ ۵ قیمت کل شبکه می باشد.

۱-۲ علل بروز خطا

علل بروزخطا در شبکه را به صورت ذیر می توان بیان کرد :

الف) عایق سالم در تجهیزات در معرض اضافه ولتاژهای گذرا با زمان کوتاه ویا ضربه های ناشی از کلید زنی وصاعقه، به صورت مستقیم ویا غیر مستقیم قرار می گیرد. این موضوع سبب آسیب ایزولاسیون شده ومنجر 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 p.u ۱/۰ و راکتانس طولی p.u ۰/۱ باشد، آنگاه جریان اتصال کوتاه سه فاز برابر ۱۰ = E/Xd=۱/۰/۱ یا ۱۰ برابر جریان نامی خواهد شد. جریان اتصال کوتاه برای خطاهای دیگر مانند فاز به فاز، دو فاز با زمین وسه فاز با زمین باید از محاسبات اتصال کوتاه به دست آید. شایان ذکر است که جریان اتصال کوتاه سه فاز شدید تر از دو فاز با زمین و به ترتیب دو فاز و نهایتا 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، پرندگا ن ونظایر آن بوده که سبب اتصالی دو هادی با یکدیگر ویا یک هادی با زمین می شود.

۱-۳ انواع خطاها

در شبکه های سه فاز ماهیت ونوع خطا ها معمولا به صورت زیر طبقه بندی می شوند:

- خطاهای فاز وزمین
- خطاهای دایمی
- خطاهای گذرا و
- خطاهای نیمه گذرا

خطاهایی که در برگیرنده بیشتر از یک فاز بوده ولو به زمین ارتباط داشته یا نداشته باشند به عنوان خطاهای فاز تلقی می شوند. خطاهایی که شامل هر یک از فازها با زمین باشند به عنوان خطای زمین منظور می گردند. بنابراین یک شبکه در معرض مجموعا 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 مجموعا 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 وکلید قدرت را باز می کنند. خطاهای گذرا دارای دوره کوتاهی بوده و بر اثر اضافه ولتاژهای گذرا ایجاد می شوند. این خطا ها بر اثر جرقه روی مقره ها ناشی از اضافه ولتاژ های گذرای غیر عادی به وجود می آیند وسیستم حفاظتی آنها را تشخیص داده و با قطع کلید قدرت برطرف می سازد. بعداز 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 مجدد هایی

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 جریانهای شدید وخسارات بعدی کمتر استفاده می گردد.

۱-۴ آمار خطا ها

همان گونه که اشاره شد، شبکه های قدرت در معرض خطا های دائمی وگذرا هستند. اغلب خطا های تک فاز گذرا می باشند. 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 وماندگار باشد، عملکرد صورت گرفته موفقیت آمیز نبوده و کلید قدرت در موقعیت 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 خطا ها 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 وقابلیت اطمینان فراهم می شود و در خطاهای دائمی نا موفق بوده وسبب قطع بخشی از تغذیه الکتریکی می گردد.

۱-۵ 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 ترانسفورماتور های 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 ونیز 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 وبه 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.

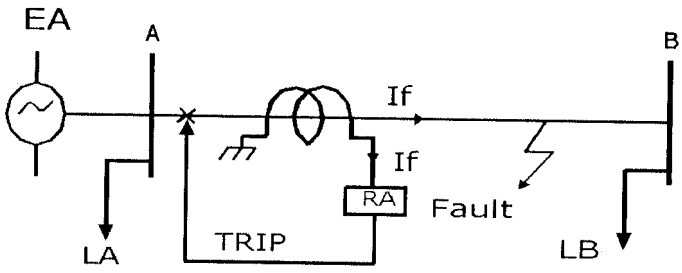
۱-۶ مکان رله ها وکلید قدرت

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 صرفا در یک سر نصب می گردد، وآن 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 شعاعیAB 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 هایA,B بار به نامهای L_A, L_B وجود دارند.

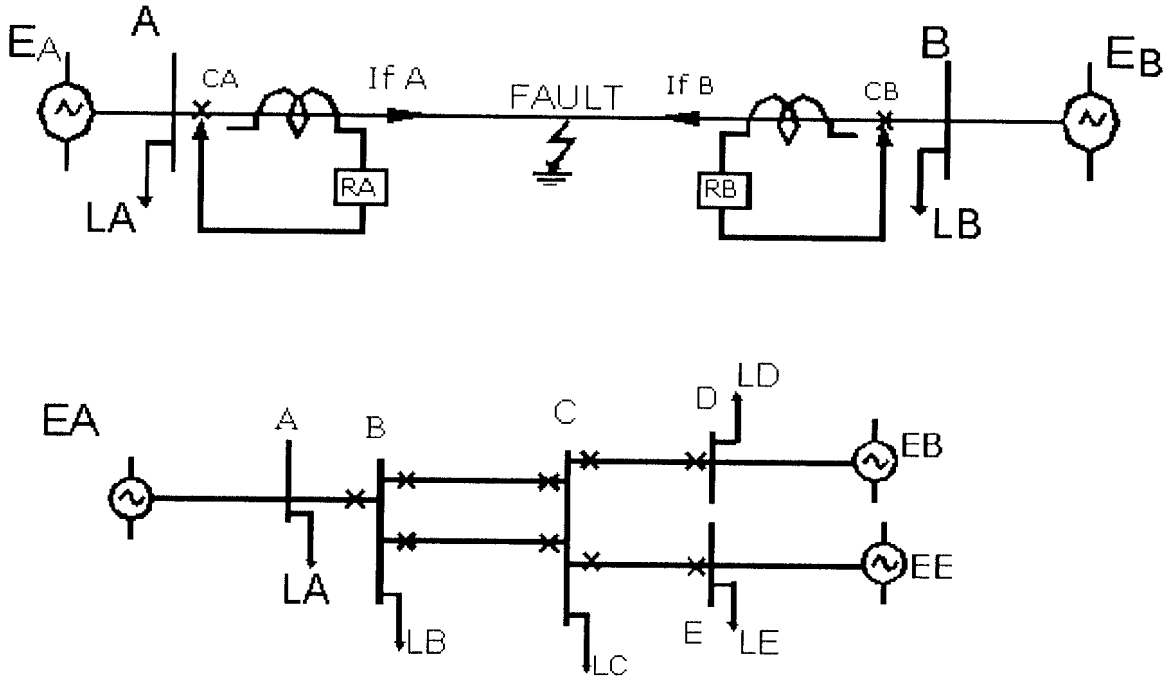
همانگونه که از شکل پیداست، خط تحت خطا باید صرفاً از سر A قطع شود. این کار به کمک رله R_A که از جریان خطای I_F تغذیه می گردد عملی می گردد. رله و کلید قدرت خط تحت خطا را از مابقی شبکه جدا می نمایند. شایان ذکر است در اینصورت بار L_B قطع شده ولی L_A برقرار می ماند.



شکل ۱-۱ خط شعاعی با تغذیه یکسو یه

۱-۶-۲-خطوط با تغذیه دو سویه

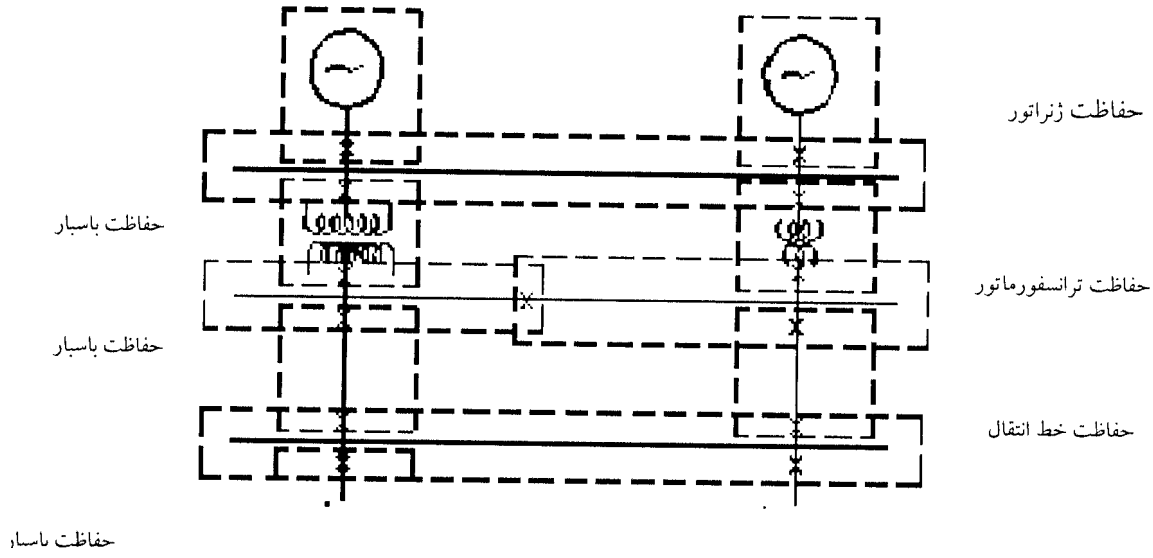
برای بهبود قابلیت اطمینان برق رسانی به بار L_B ضرورت دارد که منبع دیگری به B متصل گردد. این موضوع در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. جریان خطا اکنون از دو سر خط جاری شده و لذا کلید قدرت در هر دو طرف مورد نیاز می باشد. رله ها وکلیدهای دو طرف برای جدا کردن خط از منابع باید عمل کنند. پس بار L_A از سر A و بار 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 بر عکس قطع شود.



شکل ۱-۲ 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.



شکل ۱-۵ نواحی حفاظتی

بنابراین، شبکه قدرت که از تجهیزات مختلفی چون ژنراتور، ترانسفور ماتور، 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.

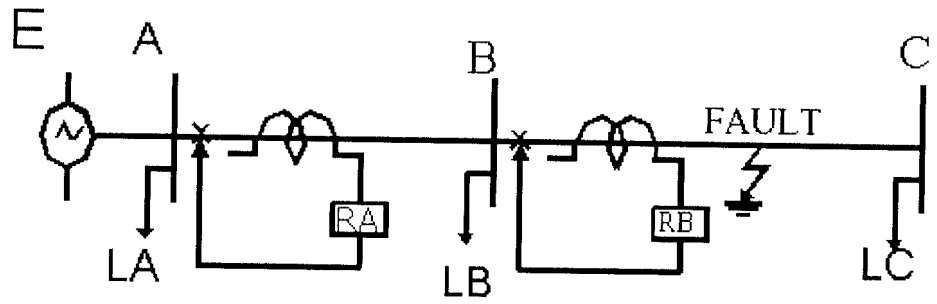
نواحی حفاظتی مجاور باید با یکدیگر همپوشانی داشته باشند،زیرا در غیر این صورت ممکن است خطای واقع در مرز نواحی حفاظتی به دلیل عدم دقت در اندازه گیری و نظایر آن در هیچیک از نواحی واقع نگردیده ولذا هیچیک از کلیدها عمل نکنند. بنابراین، همپوشانی بین نواحی مجاور اجتناب نا پذیر است. اگر خطایی در ناحیه مشترک روی 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 دادتا کلیدهای اضافی به ندرت عمل کنند.

۱-۸ حفاظت اصلی وپشتیبان

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 ABو BC وجود دارند و از یک طرف تغذیه می شوند. بارهای محلی L_B,L_A و L_C در باسهای B,A و C موجود هستند. اکنون خطایی را روی خط BC که از سمت منبع E_A تغذیه می شود فرض نمائید.

IRNPOWER



شکل ۱-٦ بیان حفاظت اصلی وپشتیبان

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 وL_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 ویا 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 بازکردن خط دارای خطا نگردد آنگاه لازم است سیستم حفاظتی پشتیبان با فاصله زمانی مشخصی عمل نماید.در شکل ۱-٦رله R_A پشتیبان R_B محسوب می گردد ودرموقعی کهR_B و کلید متناظربا 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 حالتی 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 CT,PT وسایر 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 ۱-٦ 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 وپشتیبان 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 قایل 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 وحالات گذرا همچون جریان هجومی ترانسفورماتور و یا نوسانات قدرت تفاوت بگذارد.جریان مغناطیس کنندگی یک ترانسفورماتور بزرگ قابل مقایسه با جریان خطا بوده وممکن 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 وخطا 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 وشرایطی که به عملکرد نیازی نیست تمایز قائل شود.

۱-۹-۲ قابلیت اطمینان

یک سیستم حفاظتی درموقعیکه خطا در ناحیهٔ حفاظتی آن رخ میدهدباید بطور مطمئن عمل کند.نقص سیستم حفاظتی بر اثریک نقص در یک یاچند عضوآن خواهد بود.مهمترین اجزای یک سیستم حفاظتی رله ،کلیدقدرت، ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ، سیمهای ارتباطی، باتریها ونظایرآنها هستند.برای دست یابی به درجه بالایی ازاطمینان باید به طراحی، نصب، نگهداری وآزمایش تجهیزات مختلف سیستم حفاظتی توجه ویژه نمود.سادگی ومقاوم بودن تجهیزات حفاظتی نیز در افزایش قابلیت اطمینان مؤثر هستند.معمولادریک طرح حفاظتی مقدار کمی قابلیت اطمینان نباید کمتر از۹۵ درصد باشد.

۱-۹-۳ حساسیت

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

۱-۹-٤ پایداری

یک سیستم حفاظتی حتی اگر بر اثر خطای خارجی جریان شدیدی از نا حیه آن عبور نماید نباید عملکردی داشته باشد ولازم است پایدار بماند. در این حالت کلید قدرت متناظر با ناحیه حفاظتی ذیربط باید عمل کرده وخطا 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 وکلید 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،وپایداری شبکه را تامین نماید. در شبکه های امروزی ،پایداری از اهمیت زیادی بر خوردار بوده ولذا 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 بار های صنعتی می گردد اشاره نمود. زمان عملکرد یک رله معمولا 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 باحق 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 خطامربوط 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 وتوزیع 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 وانشعابی وجود دارد.اهمیت تجهیزات مانند ترانسفورماتورها وفیدرها به اندازه سیستمهای انتقال نمیباشد.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 اکثرا کم بوده لذا استفاده از

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

۱-۱۰-۲ ملاحظات اقتصادی در شبکه های انتقال

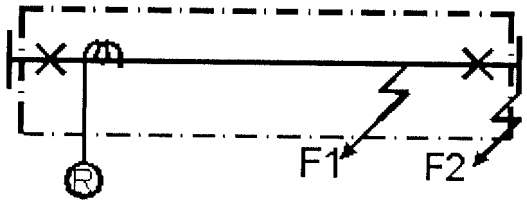
در شبکه های انتقال بر خلاف شبکه های توزیع ملاحظات فنی بر ملاحظات اقتصادی برتری دارد.در محدوده ولتاژ ۲۳۰ تا ۴۰۰ کیلو ولت نیاز به حفاظت با قابلیت اطمینان زیاد،قدرت تمایز کامل،سرعت عملکرد بالا قطعا وجود دارد.البته این بدین معنا نیست که ملاحظات اقتصادی را باید فراموش نمود بلکه اهمیت آن در درجه دوم است.

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 طبعا 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 کاملا 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

۲-۱ مقدمه

هدف اصلی حفاظت شبکه های قدرت آشکارکردن خطاها یا شرایط غیر عادی بهره برداری بوده و بنابرین 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 وجریانها 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 وغیر 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 ۲-۱ را در نظر بگیرید. اگر قرار باشد رله از دامنه جریان برای عملکرد استفاده کند ، واضح است تفاوت خطای F1 وF2 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 ۲-۱انتخاب گری رله برای خطاهای داخل وخارج 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 .

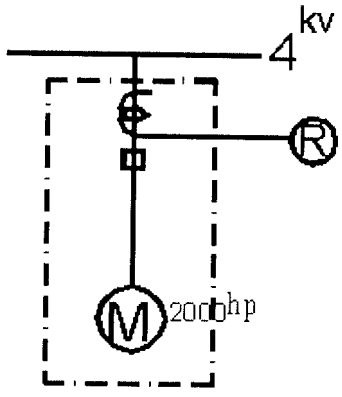
۲-۲ آشکارسازی خطاها

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 .

مبانی 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 کمیات 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 بیشترمی باشد.بعنوان مثال موتوری را که به شبکه قدرت٤کیلو ولتی مطابق شکل۲-۲ متصل است در نظر بگیرید.جریان بار کامل موتور ۲٤٥ آمپر می باشد. با در نظر گرفتن ۲۵٪ جریان اضافه بار در حالت اضطراری ، جریان ۳۰٦ 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 بعدا 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.

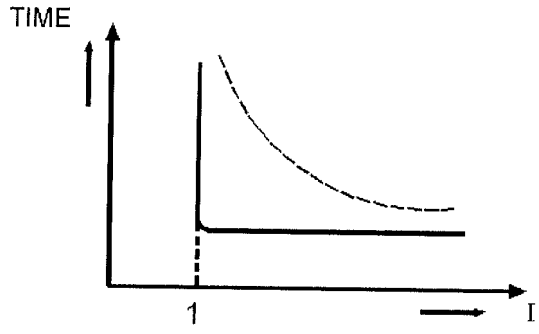
۲-۲-۲مقایسه دامنه

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.

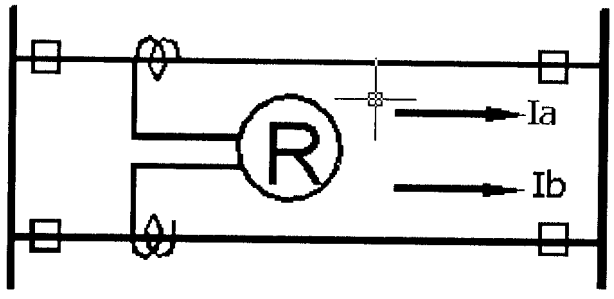
در شـرایط عادی بهره برداری جریانها دارای مقادیر برابر یا متناسب با یکدیگر بوده ولی در موقعی که تقسیم جریان در دو مدار تفاوت نماید رله عمل خواهد کرد .

شـکل ۲-٤ دو خـط مـوازی مشـابه 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.

اگـر Ia از I_b بزرگـتر بوده و خط B باز نباشد،رله وجود خطا روی خط A را اعلام نموده و خط را قطع می نمـاید.مـیزان انحراف مجاز را نشان میدهد.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.



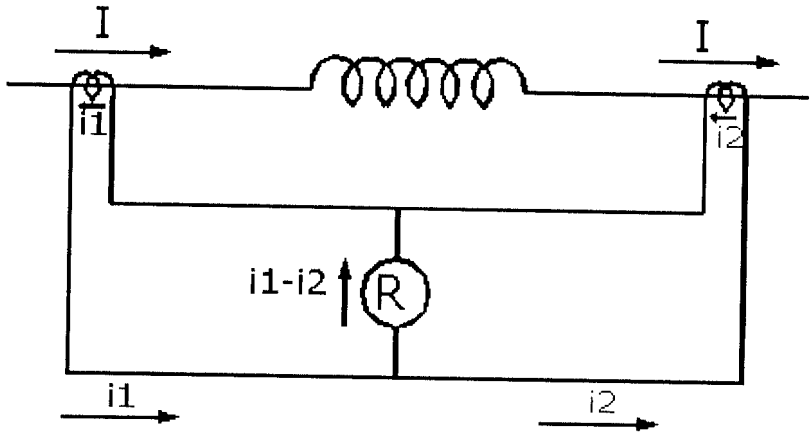
شکل ۲-۳ مشخصه آشکارساز سطح



شکل ۲-٤ حفاظت از طریق مقایسه دامنه برای خطوط موازی

۲-۲-۳ مقایسه تفاضلی

مقایسـه تفاضلی یکی از حساسترین و موثر ترین روشهای تامین حفاظت در مقابل خطا می باشد.مفهوم مقایسه تفاضـلی بسـیار سـاده بـوده و شـکل ۲-۵ اسـاس آن را بـرای سـیم پیچـی ژنـراتور بـیان می دارد.چون سیم پیچی از نظر الکتریکی پیوسته است، لذا جریان ورودی به یک سر آن(I1) باید برابرجریان خروجی از آن (I2) باشد.



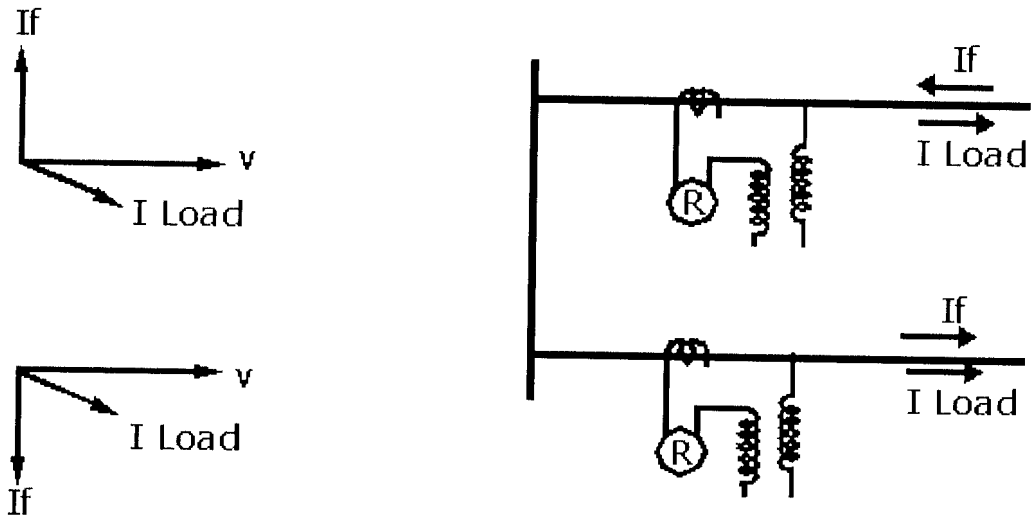
شکل ۲-۵ مقایسه تفاضلی روی سیم پیچی ژنراتور

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.

۲-۲-٤ مقایسه فاز

این نوع رله زاویه فاز نسبی بین دو کمیت متناوب را مقایسه می کند. مقایسه زاویه فاز عموما 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 فرضا 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(Φ-) و(Φ-۱۸۰) می شود. (Φ) زاویه امپدانس مدار در حالت خطا و نزدیک ۹۰ درجه در شبکه های انتقال می باشد. این روابط برای دو خط انتقال در شکل ۲-٦ 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 ۲-٦ مقایسه زاویه فازبرای خطا 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 وفیدر ها، طول ولتاژ و ساختار خط بکار گیری 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.

۲-۲-٦ 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 ازPLC ،یا مایکروویو یا خطوط تلفن ارسال می شوند.

۲-۲-۷ محتوای هارمونیکی

جریانها و ولتاژها در یک شبکه قدرت معمولاً دارای شکل موج سینوسی با فرکانس اصلی هستند. با این وجود،در شرایط کار عادی انحرافاتی 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 هارمونیکی 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 ویاوقوع 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 ویا 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.

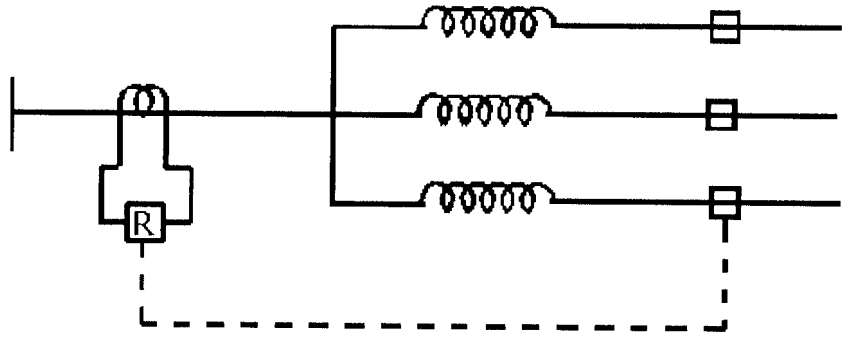
۲-۳ استخراج کمیات ورودی رله ها

اغلب شبکه های الکتریکی سه فاز بوده و نقطه صفر آنها به زمین متصل می باشد. آمار نشان می دهدکه 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 ویاحتی 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.



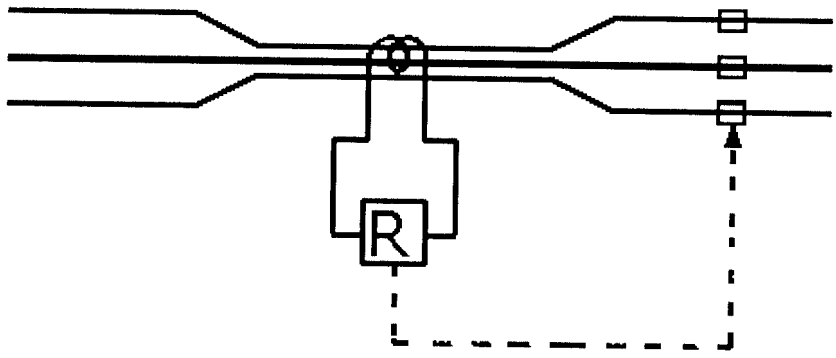
شکل ۲-۷ الف اتصال رله ترتیب صفر با استفاده از جریان صفر

در شکل ۲-۷ (الف) رله از ترانسفورماتور جریان مسیر جریان صفرناشی 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.

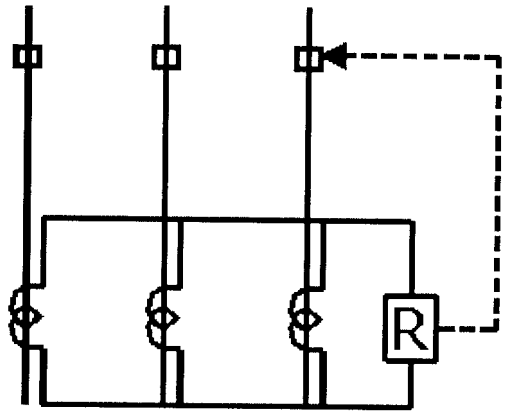
در شکل ۲-۷ (ب) هادیهای سه فاز از مجرای ترانسفورماتور Core balance عبور می کنند. از این روش در هر جایی از شبکه می توان استفاده کرد. تنها در صورت وجود جریان ترتیب صفر نیروی محرکه الکتریکی حاصله در هسته ترانسفورماتور جریانی در ثانویه تولید می نماید. باید اطمینان حاصل شود که هیچ هادی دیگری نظیر غلاف

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 ۲-۷ (ج) هر فاز دارای یک ترانسفورماتور جریان بوده و جریان باقیمانده از رله عبور می نماید وتنها در صورت وجود جریان ترتیب صفر از رله جریان خواهد گذشت.



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



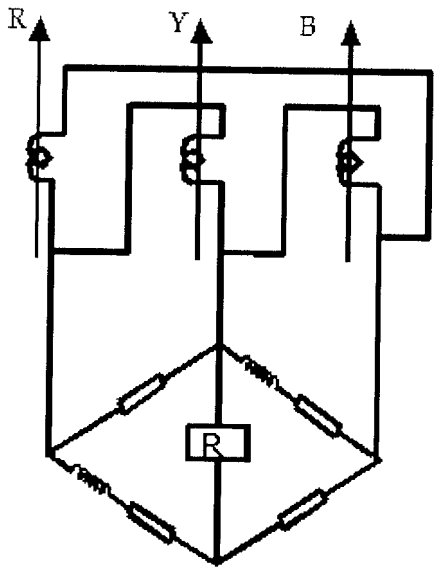
شکل ۲-۷ ج اتصال رله ترتیب صفر با استفاده از جریان باقیمانده ترانسفورماتور های جریان

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 ۲-۸ ارائه شده است.

ج) مدارهای با عنصر ترتیب مثبت

واضح است که می توان مدارهایی برخلاف ترتیب منفی درست کرد که صرفا به عناصر ترتیب مثبت جریان در یک سیستم سه فاز ه 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 ۲-۸ استفاده از مدارهای تغییردهنده فاز برای تغذیه رله ترتیب منفی

فصل سوم

ترانسفورماتور ولتاژ و جریان

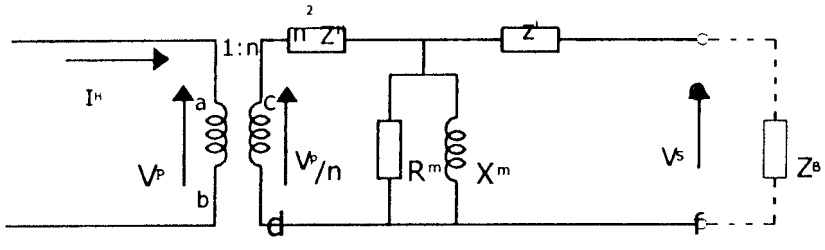
ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان برای جداکردن تجهیزات حفاظتی، کنترلی و اندازه گیری از ولتاژهای زیاد در شبکه های قدرت، و نیز برای تغذیه آنها با جریان و ولتاژ کمتر بکار می روند. معمولا جریان به ۱ یا ۵ آمپر و ولتاژ به ۱۱۰ تا ۱۲۵ ولت تبدیل می گردد. رفتار ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان در موقع بروز خطا و پس 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 پولاریته باید در مواردی که رله ها مجموع و یا تفاضل جریانها را مقایسه می نمایند مورد توجه قرار گیرد.

۳-۱ ترانسفورماتوهای ولتاژ

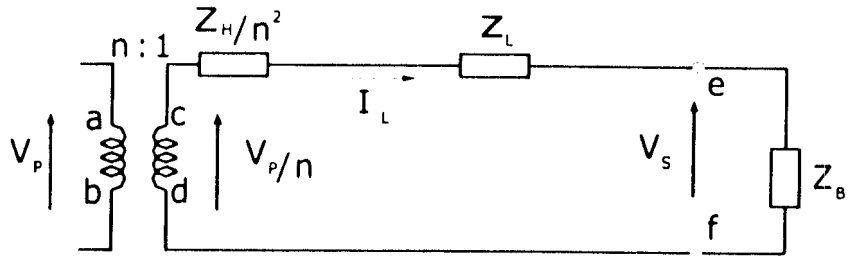
ترانسفورماتوهای ولتاژ (VT) باید حتی الامکان ولتاژی متناسب با ولتاژ اولیه ایجاد نمایند. برای رسیدن به این مقصودن VTها باید طوری طراحی شوند که افت ولتاژ در سیم پیچی آنها کوچک بوده و چگالی شار در هسته به قدر کافی پایین تر از مقدار اشباع بوده بطوریکه جریان مغناطیس کنندگی کم باشد. بدین ترتیب امپدانس مغناطیس کنندگی حاصل گردیده که عملا در محدوده ولتاژ مورد نظر ثابت خواهد بود. ولتاژ ثانویه VT معمولا 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 بدینترتیب 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 صرفنظر بوده و لذا مدار معادل به شکل ۳-۱ (ب) درمی آید.



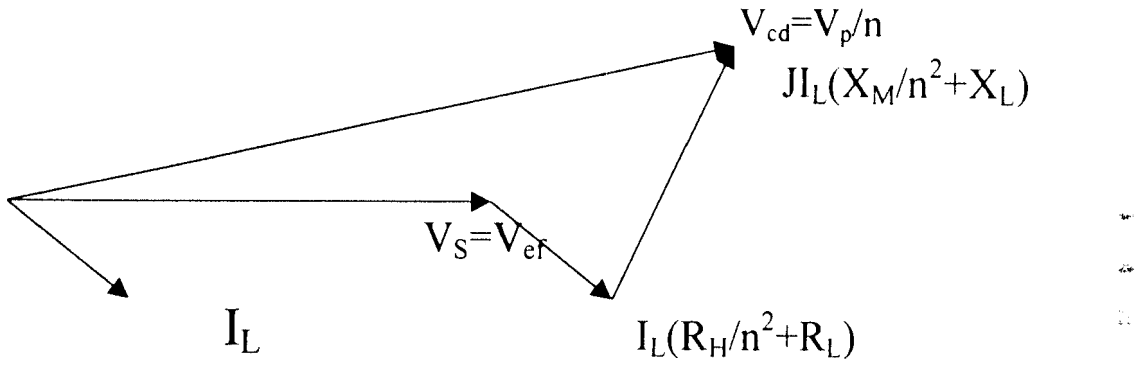
(الف)



(ب)

شکل ۳-۱ مدار معادل های ترانسفورماتور ولتاژ

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



شکل ۳-۲ 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 گیرد. 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، خصوصا در مواردی که صورتحساب مشترکان و یا کنترل مورد نظر باشد، دقت آن اهمیت زیادی می یابد، خصوصا در مقادیری که نزدیک ولتاژ نامی شبکه باشد. گر چه برای مقاصد حفاظتی خصوصا در نزدیکی ولتاژ نامی دقت فراوانی از VT مورد انتظار نیست ولی به دلایل متعدی 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 VTهای متصل به فاز و زمین باشد. با مراجعه به شکل ۳-۱ (الف) مشاهده می گردد که خطای VT ناشی از تفاوت دامنه و فاز بین , Vs VP/n می باشد. اینها شامل خطای شرایط مدار باز و خطای ناشی از افت ولتاژ بر اثر جریان بار IL 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 $ErrorVT = \{\frac{(nV_S - V_P)}{V_P}\} \times 100\%$ محاسبه می گردد. 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 مثلا از ۵ تا ۵۰ درصد یا ۱۹۰ درصد ولتاژهای نامی را دارا باشند. بخاطر اینکه هسته ترانس سر وسط معمولا 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 Zc کاهش می یابد. بخاطر اینکه راکتانس سری از مدار معادل ترانس ولتاژ سر وسط که از طریق آن جریان تحریک Ie بایستی جاری گردد، معمولا خازنی است، هر افزایش در Ie که متناسب با Vi 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 باشند ممکن است به بزرگی ۵٪+ دامنه و ۵+ درجه در فاز Vt خازنی که نسبتا دقت اساسی ضعیفی دارند باشد.

۳-۱-٤ *توان خروجی*

توان خروجی (burden) استاندارد برای ترانسفورماتورهای ولتاژ معمولا 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)	امپدانس (H)
W	۱۲/۵	/۱	۱۱۵/۲	۳/۰٤۰	۱۱۵۲	۳۸/٤	۱/۰۱۰	۳۸٤
X	۲۵	/۷	٤۰۳/۲	۱/۰۹۰	۵۷۵	۱۳٤/٤	/۳٦٤	۱۹۲
Y	۷۵	/۸۵	۱٦۳/۲	/۱٦۸	۱۹۲	۵٤/٤	/۰۸۹	٦٤
Z	۲۰۰	/۸۵	٦۱/۲	/۱۰۱	۷۲	۲۰/٤	/۰۳٤	۲٤
ZZ	٤۰۰	/۸۵	۳۱/۲	/۰٤۰۳	۳٦	۱۰/۲	/۰۱٦۸	۱۲
M	۳۵	/۲	۸۲/۳	۱/۰۷۰	٤۱۱	۲۷/٤	/۳۵٦	۱۳۷

بازه های مجاز خطا متناظر با کلاسهای مختلف در جدول ۳-۲ ارائه شده اند. Vn 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

کلاس	ولتاژ اولیه	خطای دامنه ولتاژ (٪ ±)	خطای فاز (min ±)
۰/۱	۰/۸ Vn	۰/۱	۰/۵
۰/۲	۱Vn	۰/۲	۱۰
۰/۵	۱/۲ Vn	۰/۵	۲۰
۱		۱	٤۰
۰/۱		۱	٤۰
۰/۲	۰/۰۵ Vn	۱	٤۰
۰/۵		۱	٤۰
۱		۲	۸۰
۰/۱		۰/۲	۸۰
۰/۲	Vn	۲	۸۰
۰/۵		۲	۸۰
۱		۳	۱۲۰

۳-۱-۵ 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 ۷ ۷۲/۵ فیوزهای اولیه غیر عملی هستند و معمول است که ترانس های hv را مستقیما به هادی خط متصل می کنند بدون اینکه هیچ فرمی از آشکار سازی و حفاظت خرابی داخلی ایجاد گردد.

۳-۱-٦ انتخاب ترانسفورماتورهای ولتاژ

ترانسفورماتورهای ولتاژ بین فازها، یا بین فاز و زمین متصل می شوند. معمولا از اتصال فاز و زمین و سه ترانسفورماتور ولتاژ بصورت ستاره در ایستگاههای ۳٤/۵ 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 معمولا با در نظر گرفتن ولتاژ عایقی نامی بالاتر و نزدیکترین ولتاژ بهره برداری انتخاب می کنند. ولتاژهای ثانویه نامی معمولا در ۱۱۵ و ۱۲۰ ولت استاندارد شده اند. برای انتخاب توان نامی VT، معمولا 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، خصوصا در مواردی که فاصله بین VT ها و رله ها زیاد هستند نیز در نظر گرفته شود.

۳-۱-۷ ترانسفورماتور ولتاژ خازنی

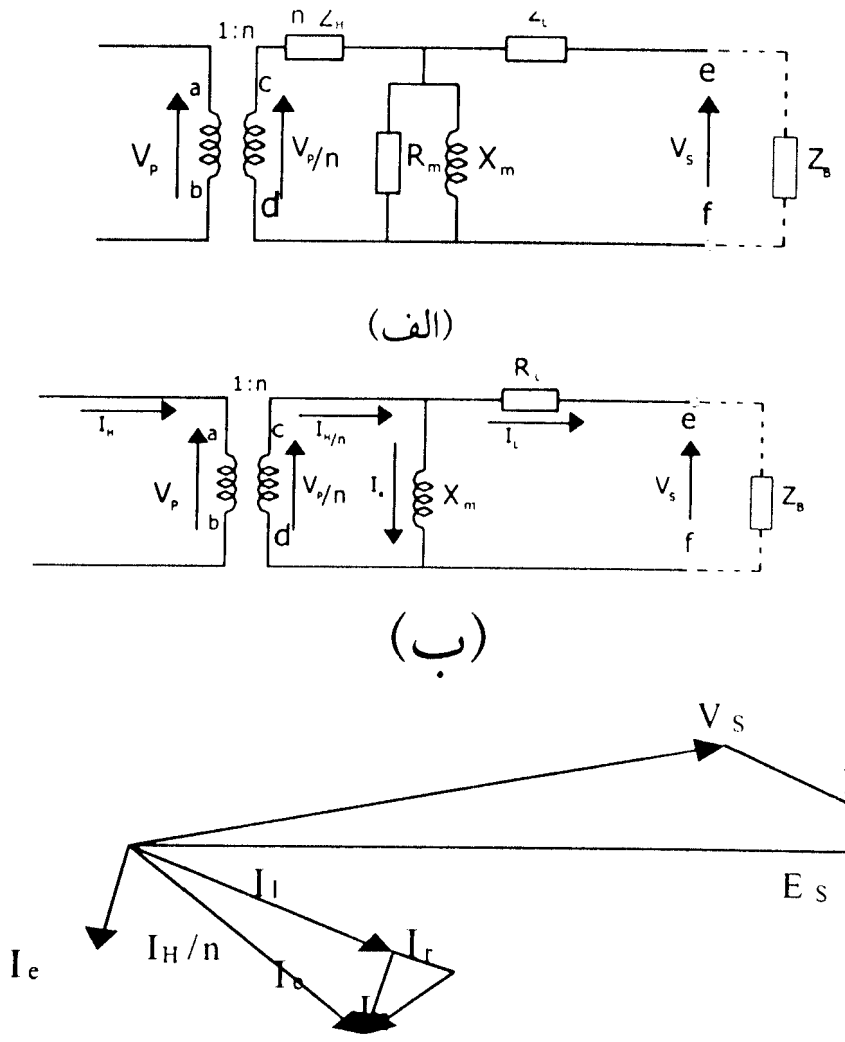
بطور کلی، اندازه یک ترانسفورماتور ولتاژ سلفی متناسب با ولتاژ نامی آن بوده و بهمین دلیل هزینه آن مانند یک ترانسفورماتور فشار قوی افزایش می یابد. راه حل اقتصادی برای این موضوع استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ خازنی است. این دستگاه در واقع یک مقسم ولتاژ خازنی بوده، و شبیه یک مقسم مقاومتی می باشد زیرا ولتاژ 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 ۳-٤ ارائه گردیده است. در این شکل Vi ولتاژ نامی اولیه، C امپدانس معادل برابر (C_1+C_2)، L اندوکتانس تشدید، Ri نمایانگر مقاومت سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور T بعلاوه تلفات در Ze , L , C

۳-۲ ترانسفورماتورهای جریان

گر چه 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 خصوصا طرحهای مبتنی بر جران تفاضلی از اهمیت فراوانی برخوردار بوده زیرا عملکرد رله ها مستقیما به دقت CT در شرایط خطا و نیز بار عادی بستگی دارد. ترانسفورماتوهای جریان در جریانهای شدید ناشی از اتصالی 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 معدل تقریبی برای ترانسفورماتور جریان در شکل ۳-٦ (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 ۳-٦ (الف) را می توان به صورت شکل ۳-٦ (ب) در آورد که در آن از Z_H صرفنظر شده، زیرا تاثیری بر جریان I_H/n یا ولتاژ دو سر X_m ندارد. جریان عبوری از X_m جریان تحریک Ie 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 Ie نسبت به V_S به میزان ۹۰ درجه تاخیر فاز دارد، لذا Ie منشا اصلی خطای ترانسفورماتور جریان است. تاثیر I_e پس فاز شدن جریان I_L می باشد. جریان Ie باید بسیار کمتر از I_H/n یعنی جریان اولیه ارجاع شده به سمت ثانویه باشد.



شکل ۳-۷ نمودار برداری مدار معادل ترانسفوماتور جریان

۳-۲-۲ خطاها

دلایل خطاها در ترانسفوماتورهای جریان کاملا متفاوت با موارد متناظر در ترانسفوماتوهای ولتاژ هستند. در واقع، امپدانس جریان دارای همان تاثیر بر دقت دستگاه نظیر ترانسفوماتور ولتاژ نمی باشد و فقط با امپدانس سری خط جمع شده و قابل صرفنظر خواهد بود. خطاهای حاصله اساسا 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 ۳-۷ برابر I_3 یعنی جزئی از Ie همراستا با Ie می باشد خطای فاز که با θ نشان داده می شود به Iq یعنی جزئی از Ie عمود بر I_L بستگی دارد. مقادیر خطای دامنه و فاز به موقعیت نسبی Ie و I_L وابسته بوده ولی هیچیک از آنها نمی توانند از خطای برداری Ie فراتر روند. باید توجه نمود که یک بار سلفی نسبی، با Ie و I_L تقریبا هم فاز دارای خطای فاز کوچکی بوده و جزء تحریک تقریبا 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 ۳-۶ (ب) می توان دید که ولتاژ دو سر امپدانس مغناطیس کننده، ES، مستقیما 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) محدوده خطا برای ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری

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) محدوده خطا برای ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی

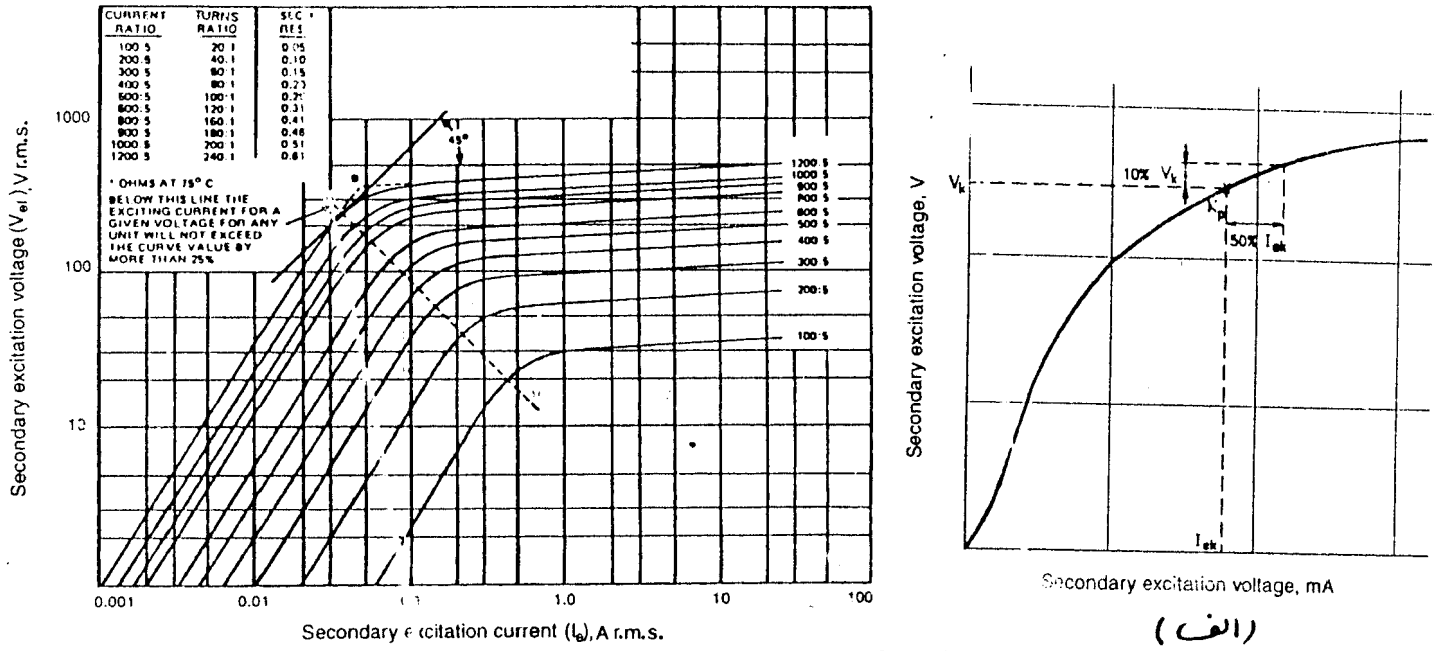
Class	Current error (%) at proportion of rated primary current shown				Phase error (minutes) at proportion of rated primary current shown			
	1.0	0.5	0.2	0.1	1.0	0.5	0.2	0.1
5P and 5P ext	1.0	—	1.5	2.0	60	—	90	120
10P and 10P ext	3.0	3.0	—	—	120	120	—	—

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 ترانسفوماتور جریان بررسی می گردد جریان تحریک باید در مقادیر مختلف ولتاژ اندازه گیری شود. به این اندازه گیری اصطلاحا تزریق مدار ثانویه گویند. معمولا به مدار ثانویه ولتاژ متغیری اعمال نموده و سیم پیچی اولیه را باز می گذارند. شکل ۳-۸ (الف) رابطه بین ولتاژ ثانویه وجریان تحریک را که از این طریق تعیین شده است بطور نمونه نشان می دهد. در استانداردهای اروپایی نقطه KP روی منحنی به نقطه اشباع یانقطه زانویی معروف بوده و به عنوان نقطه أی 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 ٤٥ درجه، مطابق شکل ۳-۸ (ب) مشخص می گردد. نقطه زانویی اروپایی در ولتاژی بالاتر از نقطه زانویی / ANSI IEEE قراردارد.

۳-۲-٤ توان خروجی

توان خروجی یک ترانسفوماتور جریان مقدرا امپدانس سمت ثانویه آن برحسب اهم بوده که ناشی از رله ها و اتصالات بین VT و رله ها می باشد. بعنوان مثال، توان خروجی استاندارد ترانسفوماتورهای جریان با جریان ثانویه نامی ٥ 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 ۳-٤ (الف) و ۳-٤ (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 با جریان اولیه می باشد. یعنی $\{(CTR \times I_2) - I_1\} \div I_1(\%)$ که درآن I1 جریان اولیه بر حسب آمپر، I2 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 CTبا 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 مقدارنامی معین شده روی پلاک مشخصات هستند .

جدول ٤-٣ توان خروجی استاندارد برای ترانسفورماتور جریان حفاظتی با جریان ثانویه 5A

علامت اختصاری	مقاومت (?)	اندوکتانس (mH)	امپدانس (?)	ولت آمپر (در ٥ آمپر)	ضریب قدرت
B-1	./٥	٢/٣	١	٢٥	٠/٥
B-2	١	٤/٦	٢	٥٠	٠/٥
B-4	٢	٩/٢	٤	١٠٠	٠/٥
B-8	٤	١٨/٤	٨	٢٠٠	٠/٥

٤-٢-٥ *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 عرضه می نماید . ولتاژ ثانویه E_S در شکل ٤-٦ (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 (٤-١) $V_S = I_L (Z_L + Z_C + Z_B)$ که در آن :

V_S = 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 = امپدانس خارجی متصل شده

Z_L = امپدانس سیم پیچی ثانویه

Z_C = امپدانس سیم کشی های رابط

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

هرچه فاصله بین CT و دستگاههای اندازه گیری کمتر باشد ZL 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 :

$$V_S = 4.44\ f\ A\ N\ B_{max}\ 10^{-8} \quad V \quad (٤-٢)$$

که در آن :

f = فرکانس برحسب هرتز

A = سطح مقطع هسته (۱ اینچ مربع)

N = تعداد حلقه ها

Bmax = 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 ، Vs از معادله (٤-۱) بدست آمده و B_{max} به کمک رابطه (٤-۲) محاسبه می گردد . اگر Bmax از چگالی اشباع فراتر رود ، خطای قابل توجهی در جریان ثانویه می تواند رخ دهد و لذا CT انتخاب شده مناسب نخواهد بود.

مثال ٤-۱

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 CTدر مقابل جریان ۳۵۰۰۰ آمپر در ۵۰ هرتز اشباع می گردد.

حل:

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

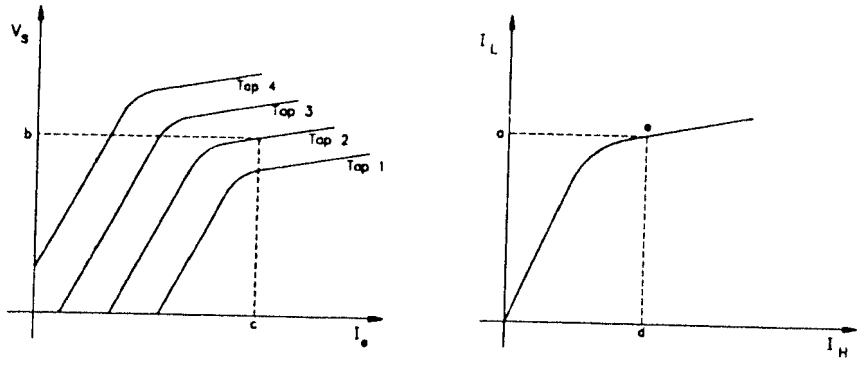
$V_S = 87.5(0.31 + 2) = 202.1V$ خواهد شد. با استفاده از معادله (٤-۲)، Bmax محاسبه می گردد.

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

چون ترانسفورماتور این مثال دارای هسته آهنی با نفوذپذیری زیاد است، لذا این شدت فلوی نسبتا 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 تپ خاص، مطابق شکل ۳-۹ می باشد.



شکل۳-۹ استفاده از منحنی مغناطیسی

الف- یک مقدار برای I_L فرض کنید.

ب- $IH = n(I_L + I_e)$

ج- $V_S = I_L(Z_L + Z_C + Z_B)$

د- نقطه متناظر را روی منحنی مشخص کنید.

مثال ٤-٢

حداکثر جریان خطا در شبکه ای ۱۲۰۰ آمپر می باشد . نسبت تبدیل نامی CT برابر $\frac{120(}{5}$ بوده و قرار است که از تپ $\frac{80(}{5}$ ترانسفورماتور جریان استفاده می گردد. کلاس CT برابر C-200 ، مقاومت ثانویه ۰/۲Ω ، کل بار ثانویه ۲/٤Ω و ضریب قدرت ۰/٦ 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 A ۱۰۰ تجاوز نکند قابل صرفنظر می باشد. برای این مثال $I_L = 12000\ (\frac{5}{800}) = 75A$ است.

بار مجاز طبق رابطه زیر بدست می آید:

$$Z_B = (N_P V_{(.)}) \div 100$$

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

بنابراین:

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

چون بارگذاری مدار ثانویه ۲/٤ Ω بیشتر از مقدار مجاز ۱/۳۳Ω می باشد، لذا خطا می تواند از ده درصد در موقع جریان اتصال کوتاه A ۱۲۰۰ بیشتر شود. این جریان منجر به جریان ثانویه حداکثر ۷۵A 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.

٤-٢-٦/ اشباع DC

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

شکل ٤-۱۰ 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= ولتاژ در نقطه زانویی منحنی مغناطیس شوندگی، که از امتداد بخش خطی منحنی بدست می آید.

I= جریان متقارن ثانویه (آمپر - موثر)

R= مقاومت کل مدار ثانویه

T= 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

هـ- 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 Ie 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.

هـ- 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 نظرنگرفتن 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.

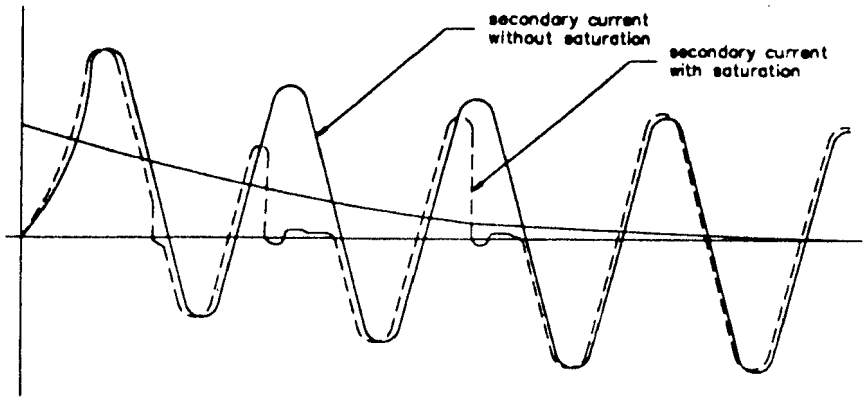
- *کلاسهای دقت تعریف شده توسط استانداردهای ANSI*

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 و 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 اثرچشمگیری 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 ۱Ω یعنی $1\Omega \times 5A \times 20 = 100V$ 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 صرفا 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.

IRNPOWER



شکل ٤-١٠ تاثیر اشباع DC روی جریان ثانویه

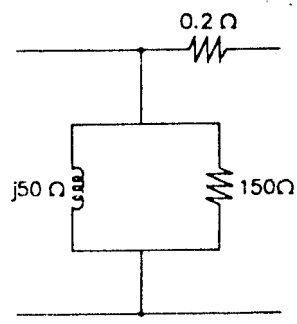
اشباع DC خصوصا در طرحهای حفاظتی پیچیده اهمیت می یابد، زیرا در حالت خطاهای خارجی، جریانهای شدید اتصال کوتاه درون CT ها گردش می کند. اگر اشباع در CT های مختلف متناظر با یک ساختار حفاظتی خاص رخ دهد، ممکن است سبب گردش جریانهای ثانویه نا متعادل گردیده که موجب عملکرد غلط سیستم حفاظتی خواهد شد.

٤-٢-٧ 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 مدارثانویه یک CT می تواند سبب اضافه ولتاژهای خطرناک گردیده که موجب آسیب به افراد یا صدمه دیدن تجهیزات گردد. چون ترانسفورتورهای جریان طوری طراحی شده اند که در مدارهای قدرتی که دارای امپدانسی 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 ١٣/٢ KV ارائه می گردد.

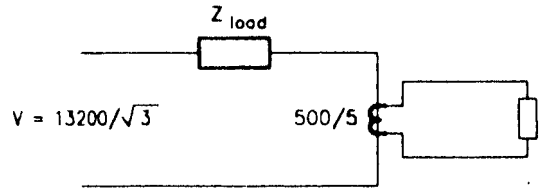
مثال ٤-٣

یک فیدر ١٣/٢ KV را دارای بار ١٠ MVA در ضریب قدرت ١ 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 ١٠ VA تغذیه می نماید. مدار معادل CT ارجاع شده به سمت ثانویه در شکل ٤-١١ 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.

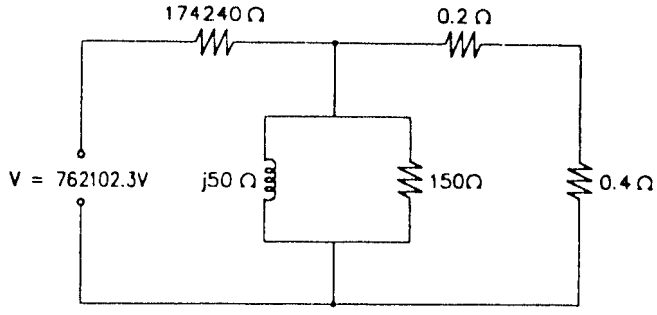


شکل ٣-١١ مدارمعادل CT ارجاع شد به سمت ثانویه برای مثال ٣-٣

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



شکل ۳-۱۲ نمودار تک خطی، مثال ۳-۳



شکل ۳-۱۳ مدار معادل شکل ۳-۱۲

با ارجاع مقادیر به سمت ثانویه CT داریم:

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

$$ZLoad = \frac{13.2^2}{10} \times (\frac{500}{5})^2 = 174240 \quad \Omega$$

$$Zmeter = \frac{10}{5^2} = 0.4\,\Omega$$

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

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

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:

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

بنابراین، ولتاژ تقریبا ۱۲۰ برابر شده است.

$$E_T = (12)(5.099) = 61.2\ V$$

$$I_e = 0.894\ A$$

$$E_2 = 60.1\,V$$

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

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

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

$$Z_T = 15 + j2 = 15.13\angle 7.6^{o}$$

$$E_T = (4)(15.13) = 60.5\,V$$

$$I_e = 0.814\,A$$

$$E_2 = 57.6\,V$$

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

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

د) اتصال کوتاه و افزایش بردن:

E_T=181.6 V
I_e=9.21 A
E_2=99.5 V
I_2=99.5/15.13 =6.58 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) $I_1 = 1200 \quad Z_L = 4.9 + j0.5\Omega$

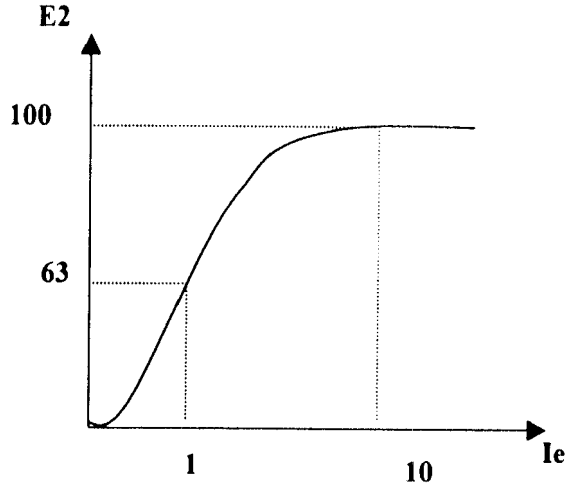
ج) $I_1 = 1200 \quad Z_L = 14.9 + j1.5\Omega$

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

حل:

الف)

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



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

$$\begin{cases} 63 = \dfrac{(1)A}{B+1} \\ 100 = \dfrac{(10)A}{B+10} \end{cases} \Rangle \Rightarrow \begin{cases} A = 107 \\ B = 0.698 \end{cases}$$

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

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

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

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

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

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

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

ب) (نسبت به حالت الف جریان زیاد شده)

فصل چهارم: ساختمان داخلی رله ها

٤-١ 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 ازتیمهای شرکت کننده در آن بخشی از مسیر را می دوند) 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 تجهیزی 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 (استاندارد۱۹۶۶:BS۱۴۲)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 مقدارعملکرد رله بیشتر است . این رله ها عموما کالیبره نمیشوند اما برای تعیین مقدار حداقل ورودی عملکرد؛ مورد تست عملکرد قرار می گیرند. عملکرد اینگونه رله ها معمولا 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 امپدانسی ، دامنه جریان سیستم با دامنه ولتاژ آن مقایسه می شود در حالیکه کالیبراسیون رله براساس نسبت این دو کمیت (که همان امپدانس است) صورت می گیرد. در یک رله **mho** ، زاویه فاز بین دو کمیت نیز اندازه گیری شده ودر نتیجه ، منحنی مشخصه رله پیچیده تر خواهد بود. کالیبراسیون این نوع رله ها بر اسا س امپدانس به ازای زاویه ای مشخص انجام می شود.

بر اساس نوع مقایسه ای که در رله صورت می گیرد (اعم از دامنه ،زاویه،فازو...)، 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 درموردنشانگرهایی 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.

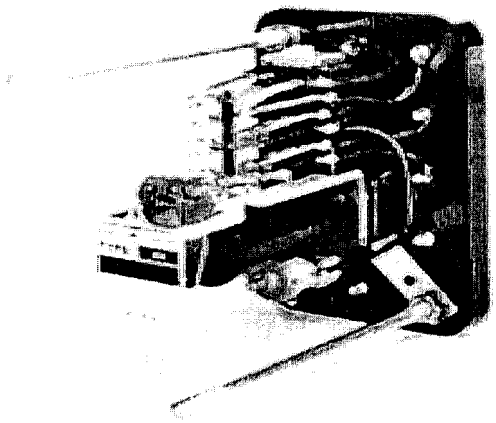
جریان نامی و ولتاژ نامی رله، مقادیری هستندکه عملکرد رله بر مبنای آنها می باشد. این مقادیر بر روی رله ثبت می شوند و نشان دهنده مقادیر نامی مربوط به ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان یا ولتاژ نامی باتری ای که رله با آن کار می کند، می باشند . در رله هایی که مستقیماً نصب می شوند ، مقدار نامی ولتاژ همان مقدار 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.

٤-٢ :انواع اصلی رله ها

رله ها عموماً بر اساس وظیفه أی که بر عهده دارند، مشخص می شوند. برای مثال، می توان به رله های جریان زیاد و یا رله های امپدانسی 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:

١-٢-٤: 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 شکلهای **A** –۱–۲–۴ تا **k** –۱–۲–۴ نشان داده شده اند. شکل **A** –۱–۲–۴ 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 تیغه‌ای که در انتهای قاب ایجاد شده است، صورت می گیرد.



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

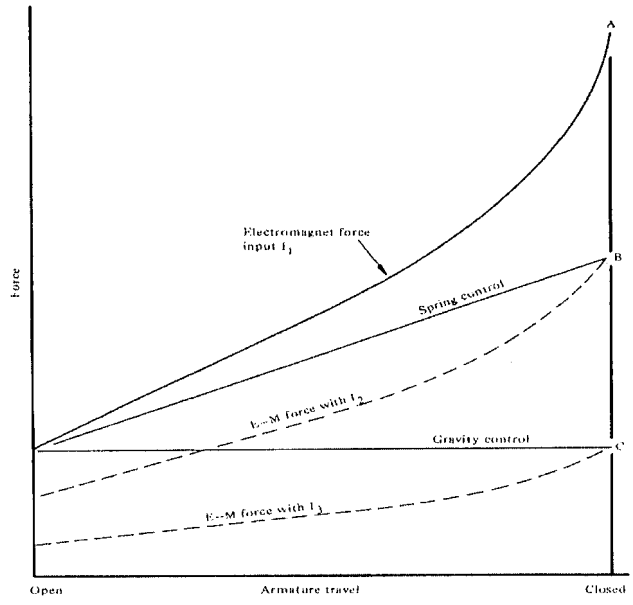
ممکن است کنتاکتها بر روی آرمیچر قرار گیرند اما معمولاً آرمیچر از طریق یک زائده عایق، یکی از کنتاکتها را به سمت دیگری فشار داده و به آن متصل میکند. نیروی اعمالی به آرمیچر برابر است با :

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

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.

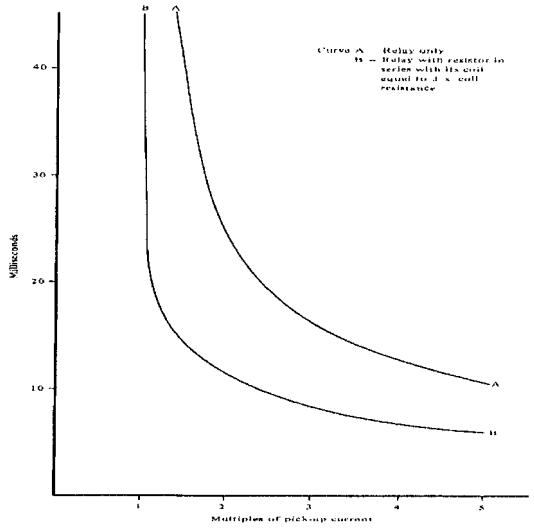
با تنظیم فنر به گونه أی که با بسته شدن آرمیچر، مقاومت آن به سرعت افزایش یابد، می توان با کاهش اندک جریان (طبق شکل B –۱-۲-۴) رله را **RESET** کرد. در این شکل منحنی **A** ، بیانگر نیروی جاذبه مغناطیسی وارده به آرمیچر است . نیروی ذخیره شده در فنر ، با خط مستقیم **B** نمایش داده شده است . فاصله **AB** نشان دهنده نیروی عدم تعادل در هنگام بسته بودن رله است . جهت **RESET** کردن رله ،بایدجریان تا مقدار **I2** (معادل نقطه **B**) کاهش داده شود . در صورتیکه نیروی مقاوم ثابتی معادل نقطه **C** اختیار شود ، جریان **RESET** مقداری کمتر و برابر با **I3** 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.



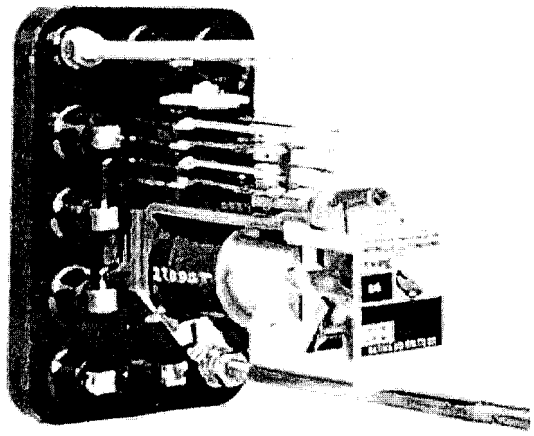
شکل B –۱-۲-٤: تأثیر مقاومت فنر بر سرعت بازگشت

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** –۱-۲-۴ 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 أی که برای اندازه گیری ولتاژ طراحی می شود، ویا رله کمکی أی که با باتری تغذیه می شود، ممکن است به قرارگیری مقاومتی سری با سیم پیچ خود، نیازی پیدا نکند. عملکرد چنین رله أی به همین علت کند است. این اثر با دو منحنی شکل **C** –۱-۲-۴ نمایش داده شده است.



شکل C –۱-۲-٤ :منحنی مشخصه یک رله با آرمیچر جذبی



شکل 4 -2-1-D: رله با آرمیچر جذبی

شکل D -۱-۲-٤: 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 سیم 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 .

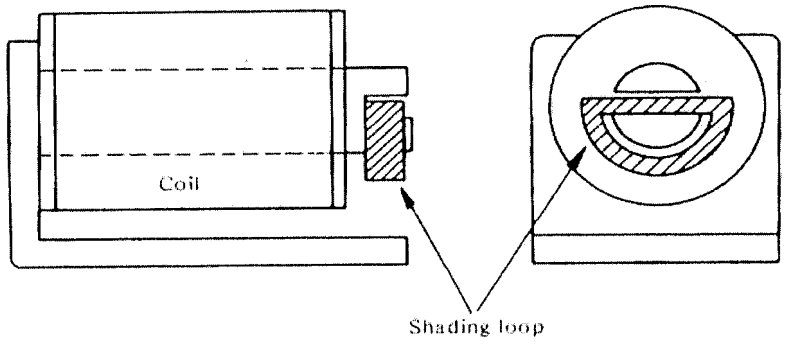
در عمل ، قراردادن زائده مذکور بر روی قطب و آرمیچر هم در **pick-up** و هم در **drop-off** تأخیر ایجاد می کند . در صورتیکه زائده در پشت کویل (سیم پیچ) باشد ، تأثیربیشتری بر **drop-off** دارد تا **pick-up** با موازی کردن یک مقاومت یا یک دیود با کویل ، میتوان در زمان **reset** شدن نیز تأخیر ایجاد کرد . شارهای 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 أی غیر مغناطیسی بر روی آرمیچر قرار داد تا از بسته شدن کامل مدار مغناطیسی ممانعت کند . با ایجاد فاصله أی در حدود **05. mm** میتوان تا حد زیادی ازاثر 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 أی 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 پلاریته معکوس تغذیه می شود . جریان در حالت **reset** به اندازهای 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 أی **reset** میشود .بهمین علت رله نویز 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**-۱-۲-۴).

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 کویل از یک یکسو ساز تمام موج استفاده کرد .



شکل E-۱-۲-٤ :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 **05.** تا **2.** وات ،عمل کرده و **PICK-UP** آن در محدوده **01.**تا **04.**ثانیه میباشد. رله های **AC** در **PICK-UP** خود ،معمولاً برای عمل کردن توانی در حدود **5.**تا۳ 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.

اجزاءسریع-رله هایREED

با کاستن از جرم آرمیچر و کم کردن فاصله أی که کنتاکت باید بپیماید،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 –۱-۲-۴ ساختار کلی این نوع رله ها را نشان میدهد.دو فنر مغناطیسی قابل انعطاف در دو طرف تیوپی 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 تیوپ 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 اینچنینی در یک تیوپ میتوان یک رله چند کنتاکتی (مولتی کنتاکت)ایجاد کرد.

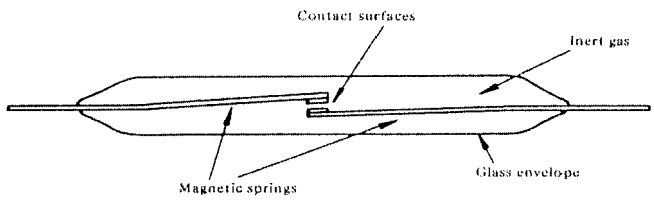
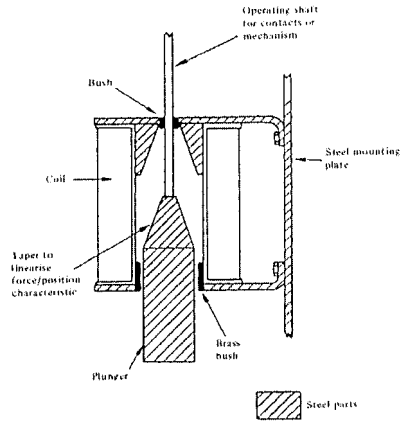


Fig. 6.2.1F *Reed relay*

شکل F-۱-۲-٤ :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 (شکلG-۱-۲-۴) 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-۱-۲-٤ :رله سولونوئیدی

رله های با آرمیچر پلاریزه مغناطیسی:

رله هایی که در فوق شرحشان رفت نسبت به پلاریته 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 CARPENTERمیباشد(شکلH-۱-۲-۴)با یک ساختار متقارن،رله ای با قابلیت RESETکردن (BISTABLE) ساخته میشود. با اتصال آرمیچر به هر یک از دو طرف،مداری مغناطیسی با رلوکتانسی پایین ایجاد میگردد. با تغذیه کویل، شاری همجهت با شار مغناطیسی دائم ایجاد میگرددکه این دو شار یکدیگر را تقویت نموده،باعث حرکت آرمیچر میگردند.با اتصال آرمیچر،به علت پایین آمدن رلوکتانس مسیر مغناطیسی ایجاد شده، حتی در صورت قطع تغذیه کویل، آرمیچر در وضعیت خود باقی مانده و همچنان رله بسته میماند.برای RESETکردن رله میتوان کویل را با پلاریته معکوس تغذیه نمود.

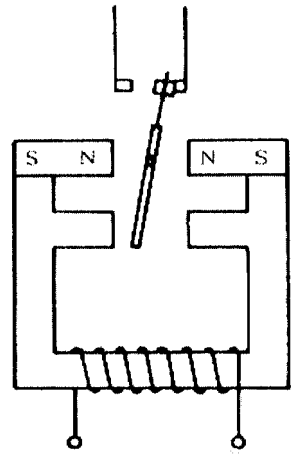
این نوع رله میتواندبا توانی کمتر از یک میلی وات عمل کندو زمان عملکرد آن میتواند کمتر از یک میلی ثانیه باشد. فاصله کنتاکتها بسیار کم و در محدوده۰,۰۰۱ تا۰,۰۰۴ اینچ است.بدیهی است که این فاصله برای ولتاژ نامی کوچکی مناسب است. شکل I -۱-۲-۴ رله ای را نشان میدهد که اساس کار آن مشابه رله CARPENTER میباشد. این نوع رله که برای مقاصد حفاظتی بکار میرود، توان مصرفی بین 3.5 تا۲۰ میلی وات داشته و زمان کنتاکت آن مشابه رله های اولیه است. حساسیت بالای رله‌های پلاریزه تا حد زیادی از عملکرد شار مغناطیسی ایجاد شده توسط مغناطیس دائم ناشی می شود.

رله های VANE (پره دار):

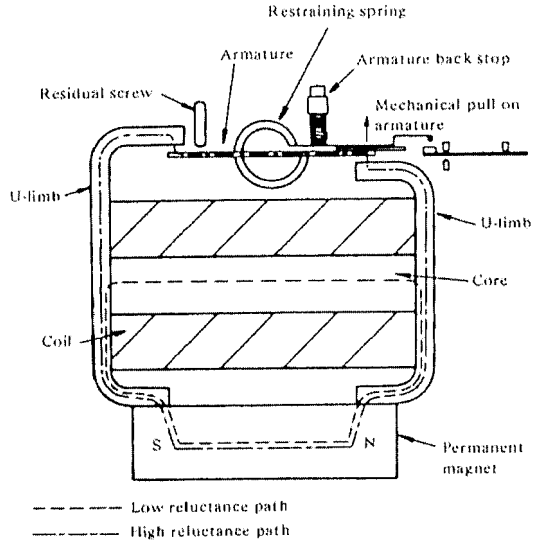
در شکل J-۱-۲-۴ ،رله ای متفاوت با رله های آرمیچر جذبی نشان داده شده است. در این رله ها از یک پره آهنی نازک استفاده می‌شود که این پره تحت میدان یک آهنربای الکتریکی میتواند دوران کند.

رله های با اهرم متعادل (BALANCED BEAM):

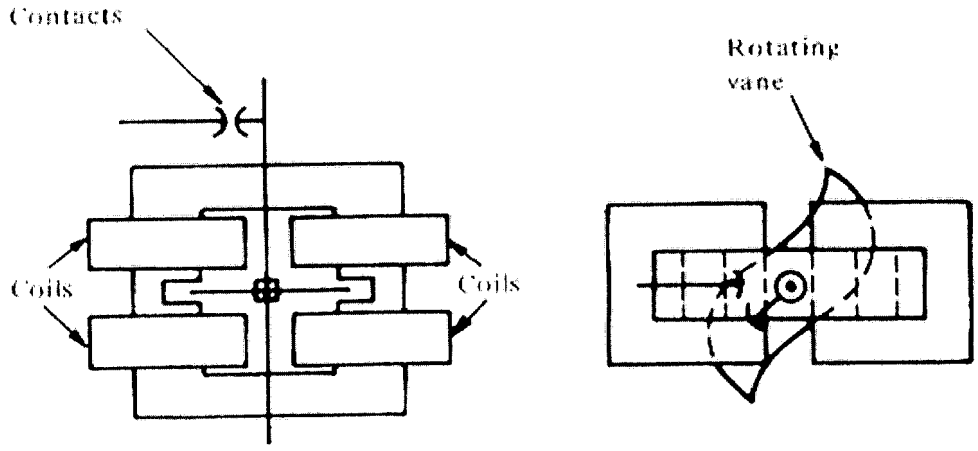
میتوان برای مقایسه دو کمیت، از دو سیستم الکترومغناطیسی جدا گانه در دو طرف یک اهرم استفاده کرد. برای این نوع رله ها هم از الکترومغناطیس های سولونوئیدی و هم از الکترومغناطیس های نوع آرمیچری استفاده شده است. به این نوع رله ها، رله های الاکلنگی نیز گفته می شود. یک نمونه از نوع سولونوئیدی ساخته شده است که 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 ؛امپدانسی؛ و همچنین در سیستمهای حفاظتی دیفرانسیل استفاده می شد(شکلK –۱-۲-۴) این رله ها در شرائط 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.



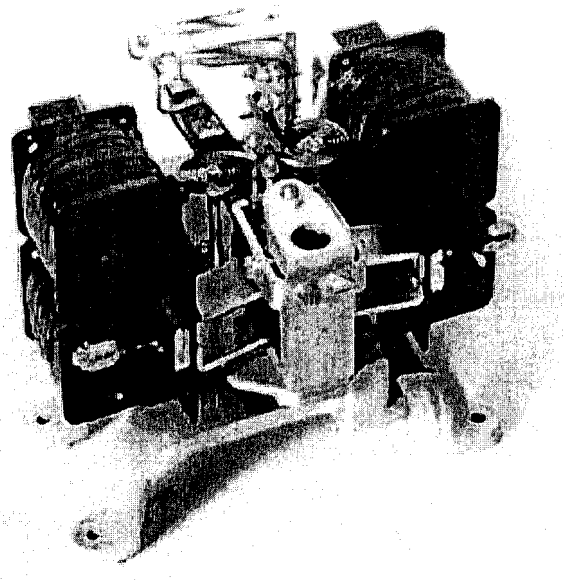
شکلH –۱-۲-٤ :رله CARPENTER



شکلI-۱-۲-٤ :رله پلاریزه با آرمیچر متعادل



شکل J-1-2-٤ :رله با پره دوار(ROTATING-VANE)

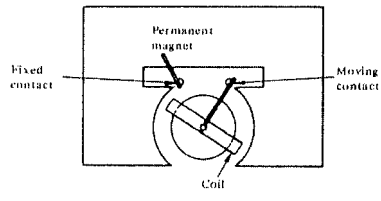


شکل K-1-2-4: نمونه ای از یک رله با اهرم متعادل پیشرفته

شکلK-1-2-٤ :نمونه ای از یک رله با اهرم متعادل

۲-۲-٤:رله های با سیم پیچی متحرک:

عملکرد موتوری هادی حامل جریان در یک میدان مغناطیسی،سیستم متحرک را پدید می‌آورد 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 (شکلA-۲-۲-۴).



شکل A-۲-۲-٤: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:

$$T=Blwni \quad (\text{نیوتن-متر})$$

T=گشتاور ، B=چگالی شار ،l=طول سیم پیچ ، w=عرض سیم پیچ ،n=تعداد دور سیم پیچ ، i=جریان سیم پیچ.

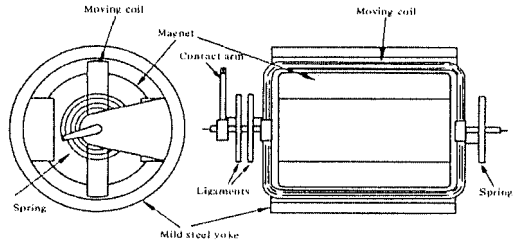
با قرار دا دن یک کنتاکت متحرک بر روی سیم پیچ گردان میتوان این وسیله را به یک رله تبدیل کرد.چنین رله هایی برای کار در ولتاژ نامی پایین مناسبند. همچنین مسایلی از قبیل قطر سیم پیچ و فاصله اندک میان سیم پیچ و قطبهای مغناطیسی در ساخت این رله ها محدودیت ایجاد میکنند.

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

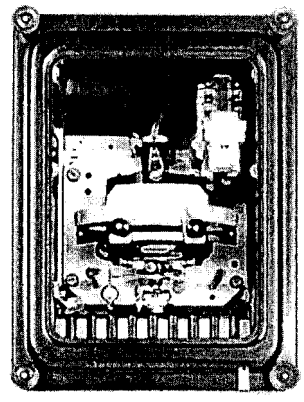
در رله ها ،اندازه قطبهای مغناطیسی دائم بزرگ میباشد که در نتیجه آن با انرژی کمی،سیم پیچ گردان به حرکت در می‌آید.برای گردش کامل(180درجه)انرژی مصرفی این رله ها در حدود 0.3 میلی وات و در نوع بسیار حساس،انرژی مصرفی در حدود ۵۰ میکرو وات است.

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 محدوده‌ای 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 D-۲-۲-۶).

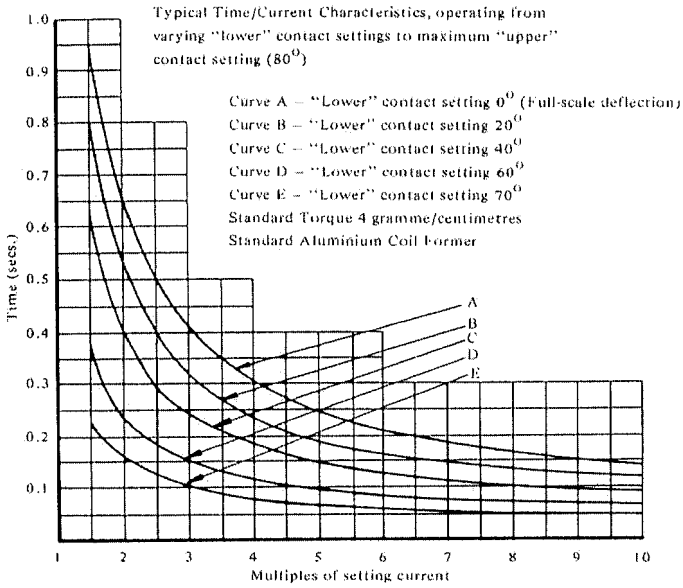


شکل B-۲-۲-٤ : رله با سیم پیچی متحرک برای استفاده در طرحهای حفاظتی



شکل C-2-2-4 : رله با سیم پیچی متحرک

شکل c-۲-۲-٤ : رله با سیم پیچی متحرک

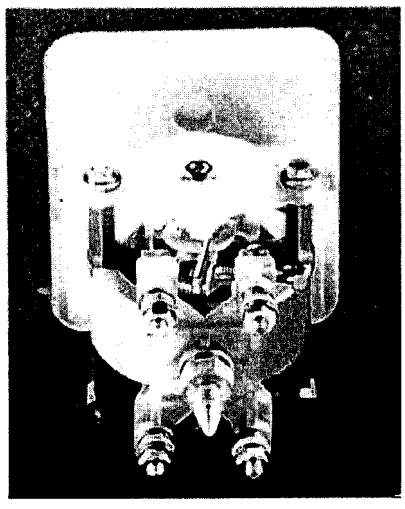


شکل D-۲-۲-٤ : مشخصه جریان-زمان رله با سیم پیچ متحرک

شکل E-۲-۲-۴ یک رله با سیم پیچ متحرک کوچکتر را نشان میدهد و همانطور که دیده میشود،چندان از لوازم اندازه گیری بزرگتر نیست. شکلF-۲-۲-۴ 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:

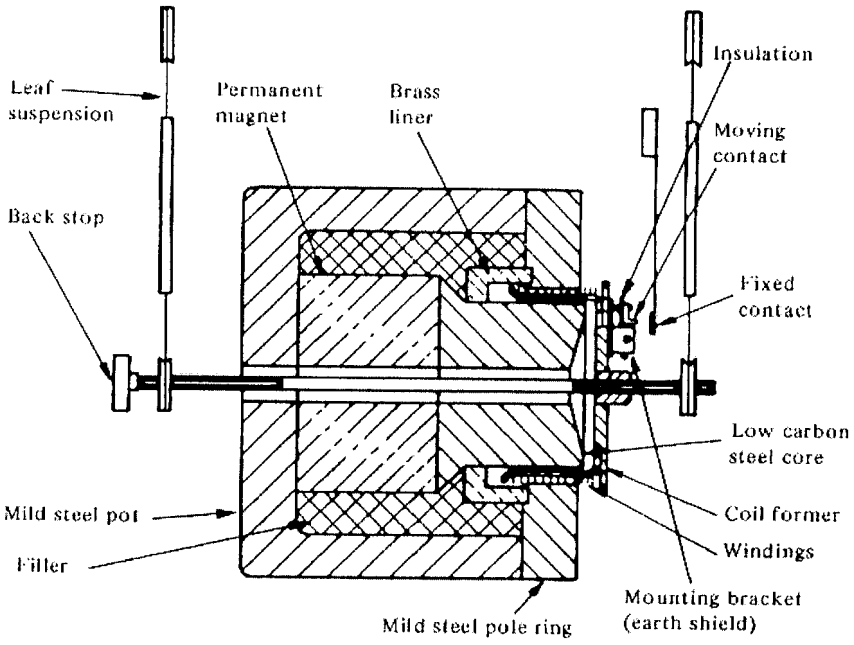
$$F = \pi\, Bdni \quad \text{(نیوتن)}$$

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-۲-۲-٤ :رله با سیم پیچ متحرک کوچک ،برای مقاصد حفاظتی



شکل F-۲-۲-٤ :رله سیم پیچ متحرک با حرکت محوری سیم پیچ

در این رله ها،توان ورودی عملکرد در محدوده 0.1 تا0.4 میلی وات است. دراین نوع رله ها فاصله جابجایی کنتاکت 1.5 میلی‌متر است در حالی که در نوع با سیم پیچی گردان این فاصله 48میلی متر (80درجه) میباشد. 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،DCبوده 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 تغذیهACرله)،نمیتوان به حداکثر سرعت ممکن رله در حالتDC 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 ا ینصورت لازم است تا ورودی ها(ورودیهای AC) به گونه ای محدود شوندکه نوسانات زیادی را در کویل باعث نگردندو یا اینکه ورودیهای یکسو شده، flat گردنده در هر یک از این روشها زمان عملکردی کمتر از یک یا دو سیکل،سیکل موج منبع،قابل دسترسی نخواهد بود.

۳-۲-٤:رله های اندوکسیونی

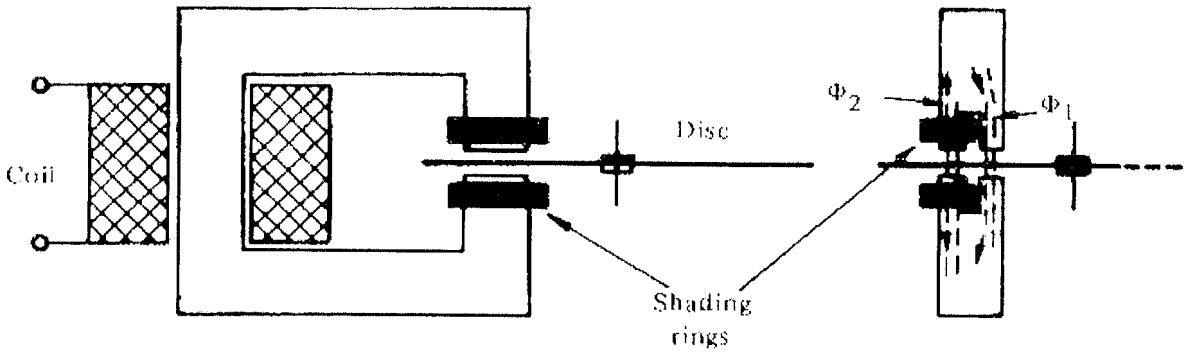
اساس کار رله های اندوکسیونی انتقال اثر میدان میباشد که این ایده ابتدا توسط Ferraris ارائه و سپس توسط Shallenberger برای طراحی اولین وسیله اندازه گیری اندوکسیونی، مورد استفاده قرار گرفت.با جایگزینی یک فنر کنترل و سیستم کنتاکت بجای ثبات این لوازم اندازه گیری، رله های اندوکسیونی ساخته شد.اساس کار رله های 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:

$$T=k\,\varphi 1\,\varphi 2\,\sin\beta$$

که T=گشتاور ، φ1 و φ2 = دو شار اثر گذار بر یکدیگر و β =زاویه فاز بین دو شارمذکور هستند. با توجه به فوق، هنگامی که اختلاف شارها 90درجه باشد،بیشترین گشتاور وهنگامیکه 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 0تا۹۰درجه، مطلوب ما است.

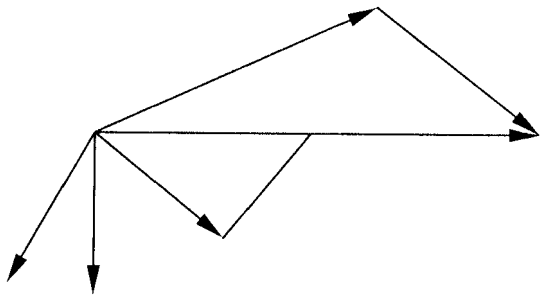
یک روش ساده برای دست یابی به دو شار مختلف از یک منبع(همانند رله های جریان زیاد)استفاده از یک حلقه مسی و دو تکه کردن قطبها میباشد(همانند شکلA-۳-۲-۴) به این ترتیب و به کمک حلقه مسی یا هادی اتصال کوتاه شده،میتوان شاری متفاوت با شار اصلی ایجاد کرد.



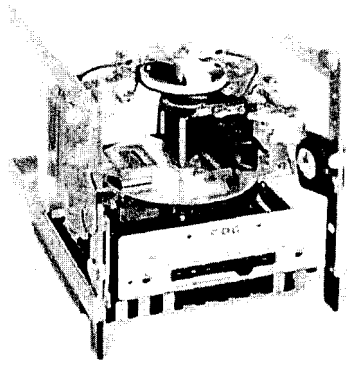
شکلA-۳-۲-٤: رله دیسکی القایی با قطب حلقه دار

همان گونه که در شکل B-۳-۲-۴ نشان داده شده است، حلقه اتصال کوتاه شده در شار قسمت قطعه حلقه گذاری شده قطب تاخیر فازی ایجاد میکند. در این شکل بردار OAبیانگر کل شار تولیدی توسط آهنربای الکتریکی است که مقدار OBاز آن در صورت باز بودن حلقه مسی از قطعه حلقه دار قطب عبور میکرد.

نیروی محرکه الکتریکی تولید شده در این حلقه برابر با OEبوده 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 φ1 ($oc=\varphi_1$) پدید می آید.تأثیر جریان حلقه بر شار کل کم میباشد و میتوان از آن صرفنظر کرد بنابر این با کسر کردن شار φ1 ازشار کل φ2 پدید می آید . به این ترتیب دوشار φ1 و φ2 با اختلاف زمانی و مکانی ایجاد شده بر دیسک گشتاو ر Ferraris ایجاد میکنند. شکل C-۳-۲-۴ ،رله ای از نوع گفته شده در فوق را نشان میدهد که مورد استفاده فراوان قرار می گیرد.



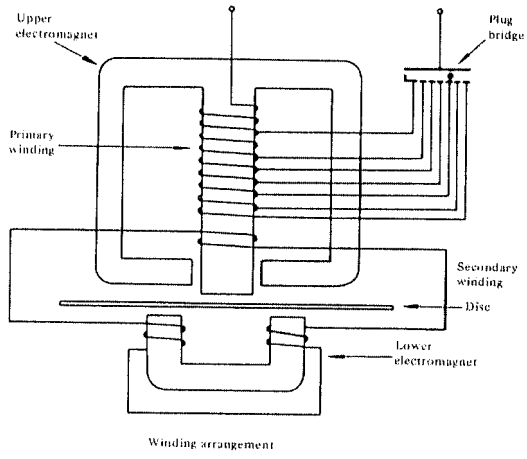
شکلB-۳-۲-٤ :دیاگرام فازوری رله با قطب حلقه دار



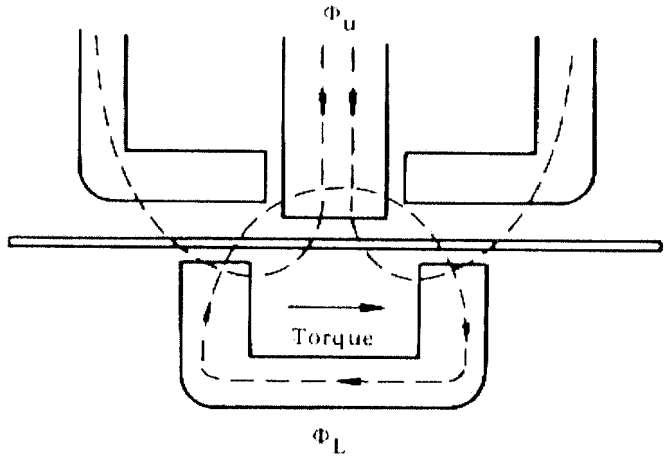
شکل 4-2-3-C: رله جریان زیاد با مشخصه معکوس

شکل C-۳-۲-٤ :رله جریان زیاد با مشخصه معکوس

ترتیب دیگری در شکل D-۳-۲-۴ نشان داده شده است. در این سیستم ها میتوان مغناطیس های الکتریکی فوقانی و تحتانی را با منابع مختلف تغذیه نمود که در این صورت در شار متفاوت ایجاد میگردند. از این وسیله می توان برای رله های جهت دار استفاده کرد.

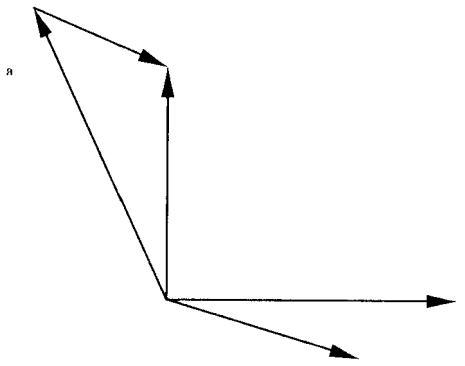


Winding arrangement



Operating fluxes showing crossing of component fields

شکل D-۳-۲-٤ :نوع دیگری از رله اندوکسیونی(بصورت رله جریان زیاد)



شکل E-۳-۲-٤ :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 فیزوری این اثر،در شکل E-۳-۲-۴ نشان داده شده است جریان ورودی Iu ،شار φu در قطب فوقانی تولید کرده و نیروی محرکه الکتریکی Es را در سیم پیچ ثانویه القاء مینماید.عملکرد این مغناطیس همانند یک CT است.از الکترومغناطیسی تحتانی که نسبت X/Rآن ثابت است،جریان Il گذشته و شار φL را ایجاد میکند. به این ترتیب، شارهای φu و φL با زاویه مناسبی به یکدیگر اختلاف فاز پیدا میکنند که در نتیجه گشتاور کافی برای گردش دیسک ایجاد میگردد.

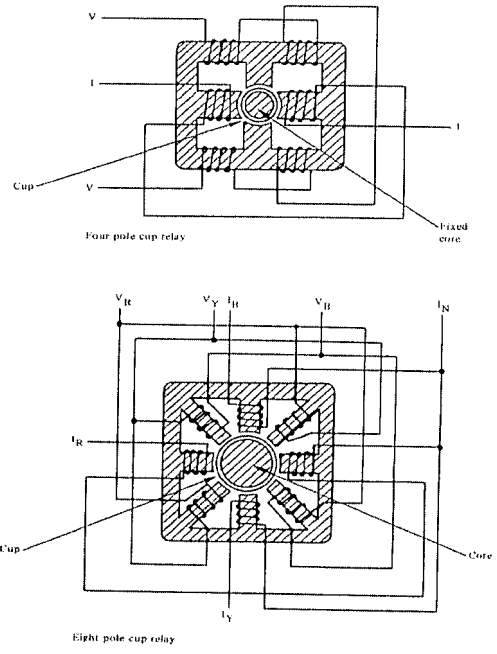
در شکلهای F-۳-۲-۴ و G-۳-۲-۴ طرح سومی از یک وسیله القایی نشان داده شده است. در این نوع الکترومغناطیس،از یک ساختار متقارن چهار قطبی تشکیل شده است و شباهت زیادی به یک موتور دارد.قطبهای حفره استوانه ای را بوجود می آورند که در داخل آن هسته ثابت قرار میگیرد.روتور یک قاب (فنجان) آلومینیومی سبک است که بین الکترومغناطیس 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

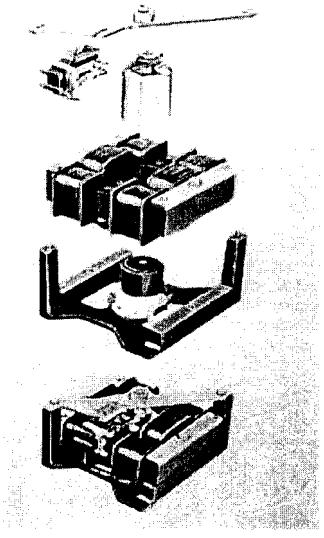
رله هایی که کالیبراسیون مشخصی دارندبرای کنترل setting نیازمند یک مهار کننده مکانیکی اند.حتی یک رله جهت دارحساس بایدپس از قطع تغذیه،باید به حالت استاندارد اولیه باز گردد.برای این منظور از یک فنر حلزونی از جنس برنز فسفری استفاده می‌شود. با استفاده از تپ میتوان جریان سیم پیچ عمل کننده رانیزتنظیم کرد.در اصل،رله به ازای آمپر دور مشخص ورودی به سیم پیچ عمل می‌کند.برای ایجاد رنجی از تنظیمات،فقط کافی است بتوانیمتعداد دور خاصی انتخاب نماییم طوری که با هر یک از مقادیر جریان نسبت معکوس داشته باشد.در عمل 7مقدارsetting برای جریانتعیین 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 میشودکه 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 (یعنی۱ : 4)به معنی استفاده از فقط بخش کوچکی از کل سیم‌پیچی در هنگام استفاده از یکتپ کوچک میباشد.به این ترتیب الگوی توزیع شار نشتی در اطراف بخش برقدار شده سیم پیچ نسبت به دیگر قسمتها فرق می‌کند.در نتیجه شار فعال عبوری از قطبهای مغناطیسی بسته به آمپر دور مورد نظر در نقاط مختلف سیم‌پیچ فرق میکند.و به این ترتیب تغییرات شار در آهن باعث تغییرات درجه اشباع در نقاط مختلف آن می‌شود.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 می‌شوند.به این ترتیب ۱۲ سیم پیچ کاملاً مشابه بدست می‌آید. این هادیها با یکدیگر بصورت سری متصل می‌شوند.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 آورداما 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.

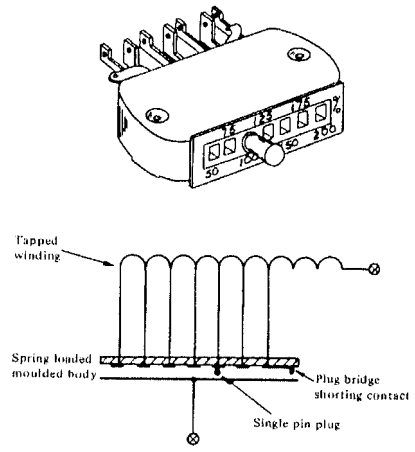


شکل F -۳-۲-٤ : رله اندوکسیونی با قاب گردان



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

شکل G -۳-۲-٤ :اجزای مختلف یک رله اندوکسیونی با قاب گردان 4 قطب



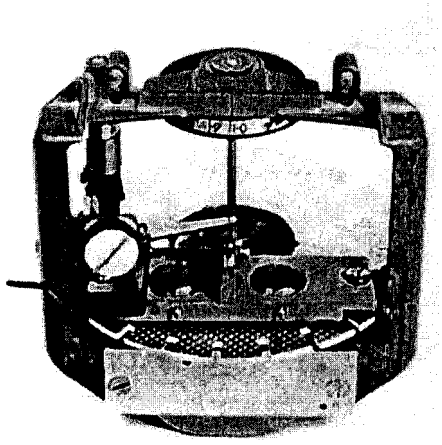
شکل H -۳-۲-٤ :پل سوکتی برای انتخاب تپ

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 فنر 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 شودکه 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 نمی‌شود.

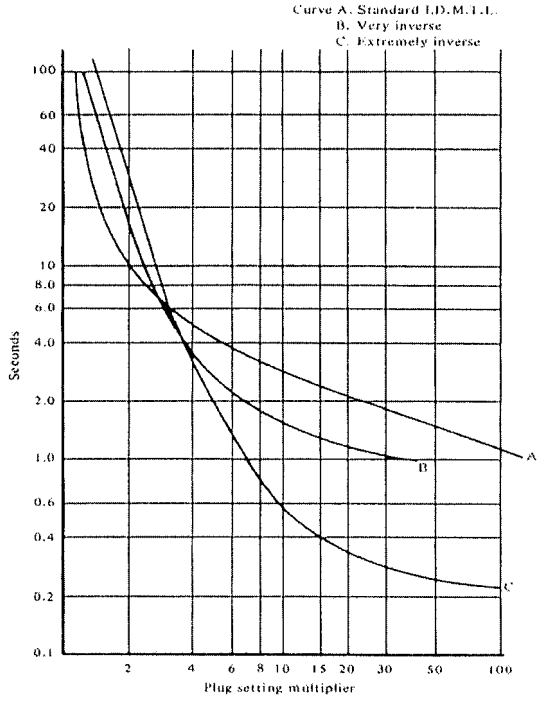


شکل I-3-2-4 : رله دیسکی القایی با ترمز آهنربایی قابل تنظیم

شکلI-۳-۲-٤ :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،سیم‌پیچ الکترو مغناطیس القاء کننده از یک ترانس جریان تغذیه شده و همانگونه که قبلاً گفته شد در آن از تپهای ۵۰ تا ۱۰۰ درصدویا برای تنظیم Earth-fault در محدوده ۱۰ تا ۴۰ درصد یا ۲۰ تا ۸۰ درصدجریان نامی ترانس جریان،استفاده می‌شود. نیروی مقاوم، توسط گروهی فنر و یک ترمز فوکو ایجاد می‌شود.سرعت عملکرد اینگونه رله ها با تنظیم زاویه حرکت دیسک تنظیم می‌شود.مقیاس تعیین گردیده که بین صفر و یک تغییر کرده و اثر این تنـظیم را برای منحنی معـکوس جریان-زمان(شکل j-۳-۲-۴)نشان میدهد.



شکل J-۳-۲-٤ : منحنیهای مشخصه 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 می‌کند.از آنجا که گشتاور مقاوم فنر با تغییر زاویه(تغییر وضعیت) دیسک تغییر میکند،از میزان مؤثر گشتاور گرداننده کاسته می‌شود.برای جبران این امر دیسک را طوری میسازند که با فشرده شدن 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 میشودکه در جریانهای مساوی مقدار setting زمان عملکرد رله بینهایت خواهد شد . رسیدن به این شرائط 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 جریانsetting برابر است ،عمل نخواهد کرد .این مسأله با استاندارد انگلیس که طبق آن"رله نباید در هنگام برابری جریان با جریانsettingعمل 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 می‌شود.

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 j-۳-۲-۴ نشان داده شده اند. این مشخصه ها با عملکرد الکترومغناطیس در چگالی شار پایینتر حاصل می‌شوند.

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 فوکو 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 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 D -۳-۲-۴ 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 حاصلضرب 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:

$$T=KVI\cos\theta$$

که θ ، زاویه ضریب توان سیستم است. به این ترتیب این رله همانندانداره گیرهای اندوکسیونی،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 A-۳-۲-۴ 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 D-۳-۲-۴ ،برای جهت دار کردن رله ، کنترل مشابهی انجام میگیرد.در این مورد، سیم‌پیچ 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 K-۳-۲-۴ ،دیاگرام قطبی مربوط به یک رله نشان داده شده است.رله های خطای فاز (fhase 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 میگیرد. نتیجه این عمل بوجود آمدن یک m.t.a ،45 درجه (جریان پس فاز از

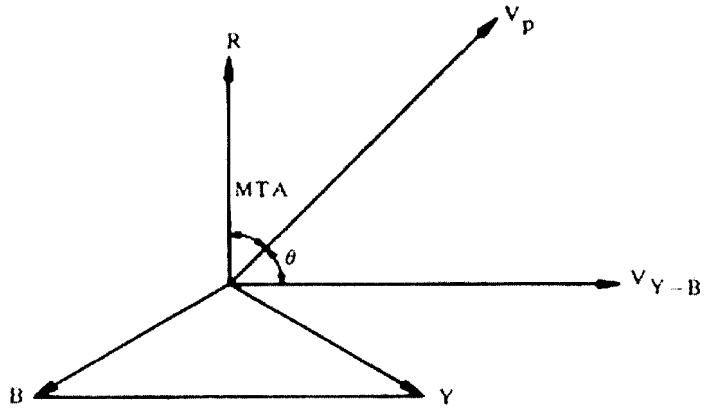
ولتاژ) است که برای بیشتر کاربردها مناسب است.البته در برخی موارد به m.t.a، ۶۰ درجه نیاز است. برای نیل به این مقصود از ولتاژ فاز زمین استفاده نمیشود.

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 آنهامستقیماً بدون مقاومت صورت میگیرد،از انجا 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 تتتایین شده با حساسیت و ولتاژ بالا ضروری است.از آنجا که cos30=0.866 ،هر گاه زاویه خطا به اندازه 30درجه 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 1تا۲ در صد ولتاژ نامی عملکرد صحیحی داشته باشند.

رله های دیفرانسیل نوع اندوکسیونی

دراین 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 -۳-۲-۴ نمونه ای از یک رله دیفرانسیل درصدی نشان داده شده است.که اساس کار ان اختلاف جریان حلقوی است.گشتاور تولید شده توسط الکترومغناطیس A بر خلاف جهت گشتاور ناشی از الکترومغناطیس B می‌باشد.ازالکترومغناطیس A ،تفاضل جریانها و از الکترومغناطیس B کل جریان حلقه میگذرد.هنگامی که گشتاور عملکرد از گشتاور مقاوم بزرگتر شود،رله عمل میکند.چنین شرائطی هگامی بوجود می آید که اختلاف جریانها از مقدار خاصی بزرگتر می‌شود.



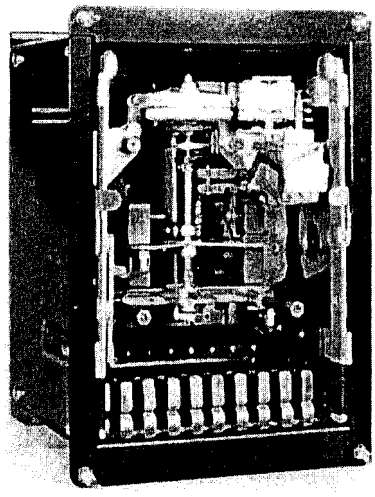
θ = Phase advance in polarising voltage

Phasor Diagram for R phase.

شکل k-۳-۲-٤ :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 الکترومغناطیسها انجام می‌گیرد.رله اولیه mho که توسط Warrington از این قاعده پیروی میکرد و ورودیهای آن، $V_i \cos \varphi$ و V_2 بوده اند و شرائط عملکرد آن، $K_1V_1 \cos \varphi > K_2V_2$ بود.مشخصه این رله ها از رابطه زیر پیروی میکند:

$$K_2v / k_1v = \cos \varphi$$



شکل L-3-2-4 : رله دیفرانسیل درصدی

شکل L -۳-۲-٤ :رله دیفرانسیل درصدی

٤-۲-٤: 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 می‌شود،از رله های حرارتی استفاده می‌شود.

در این رله ها از تغییرات حرارتی ای که در تجهیزات بوجود می آیند استفاده میشود.تاثیراتی که در این رله ها برای آشکار سازی مورد استفاده قرار میگیرند،عبارتند از :

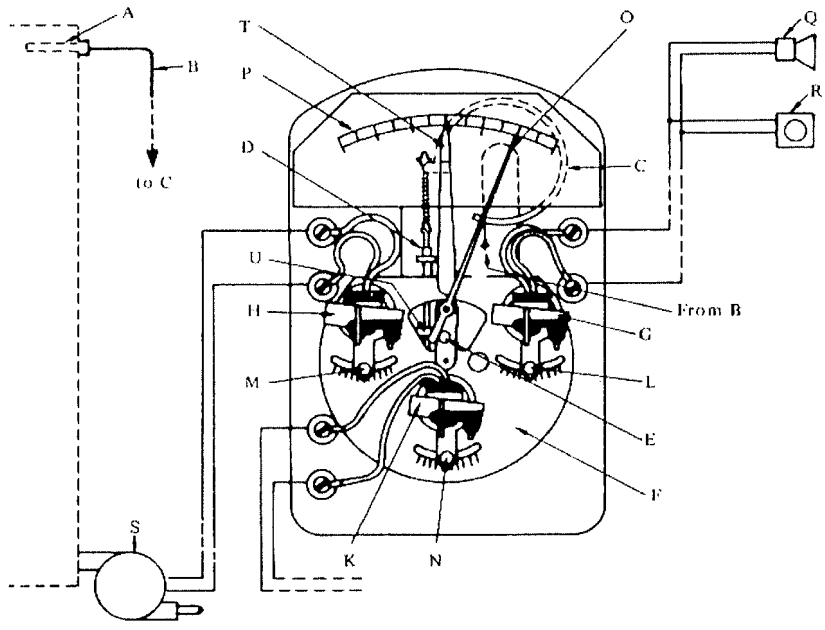
- انبساط یک ماده جامد یا مایع
- تغییرات مقاومت یک فنر
- تغییرات مقاومت یک مقاومت حساس
- نیروی محرکه الکتریکی ترمو الکتریک

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 A-۴-۲-۴ ،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.c از یک طرف ثابت و از طرف دیگر آزاد می باشد.با افزایش دما ، جیوه منبسط شده و فشاری در لوله ایجاد میکندکه 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 می‌گیرد .این تیغه در محل اتصال لوله Bourden و صفحه Bourden قرار میگیرد.

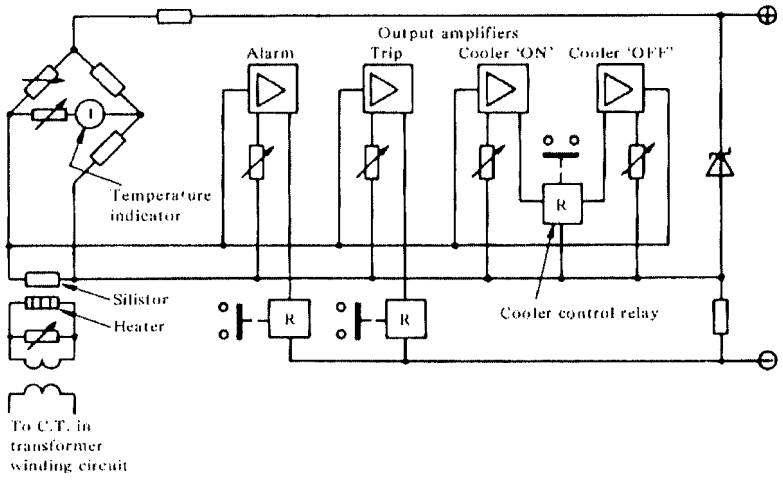
نشان T دمای حباب و نشانگر O حداکثر دمایی که تا کنون به سیستم اعمال شده است را نشان میدهد.

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 -٤-٢-٤ : ابزاری برای اندازه گیری مستقیم دما

در دسته ای از لوازم اندازه گیری عملکردی مشا به .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 می‌شود.تغییرات مقاومت سیلیستوردر 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) .

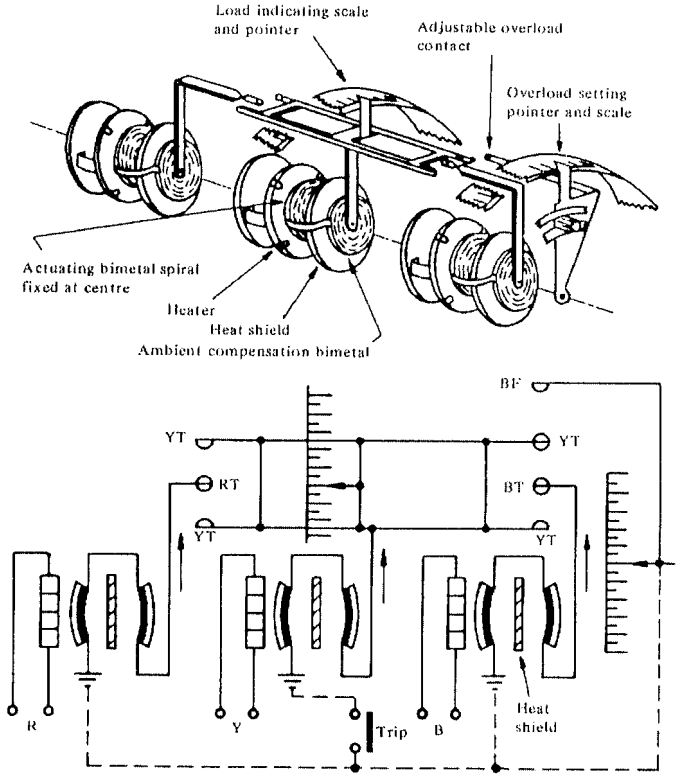


شکلB -٤-٢-٤ : رله حرارتی سیلیستوری

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 می‌شود.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 براثردمای هوا.کنتاکت کردن تیغه اصلی بی اثرمیشود.برخی رله های حرارتی .در میان سیم پیچ هیتر.هسته نازکی قرارگرفته وآرمیچری در نزدیکی آن نصب می‌شود که در صورت افزایش بیش از حد جریان. آرمیچر جذب شده و رله سریعاً عمل مینماید .در شکل C -۴ -۲-۴ 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 -۴-۲-۴ این قاعده را نشان میدهد.

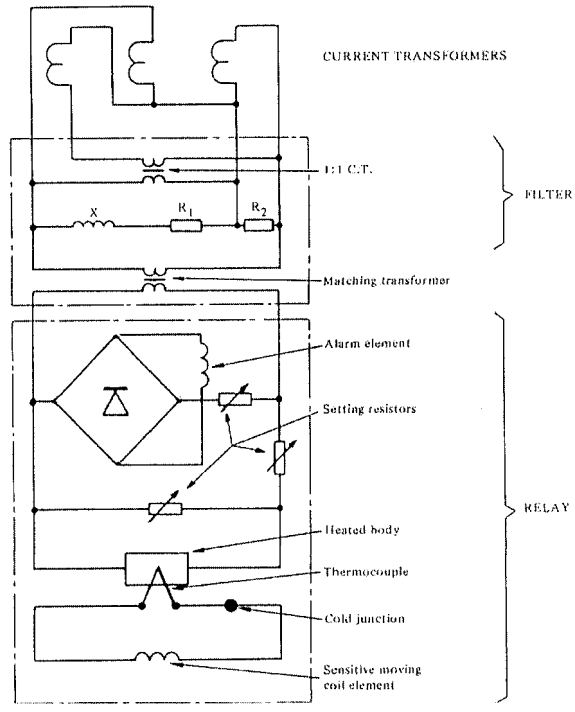


شکل D -٤-٢-٤ : سیستم ارتباطی رله حرارتی سه قطبی

رله های ترمو الکتریک:

میتوان به کمک ترموکوپل.اساس دیگری برای ساخت رله های حرارتی ایجاد کرد. توسط ترموکوپل یکemf 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 -۴-۲-۴ .بر این اساسو همچنین بنا بر عملکردشبکه.یک خروجی متناسب با جز، ترتیب منفی ایجاد ممیشود.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 شرائط 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-٤-٢-٤ : 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 برقدار 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.

٥-٢-٤ : رله های با عملکرد موتوری

از یک موتور الکتریکی مینیاتوری میتوان برای انجام حفاظت های گوناگون استفاده کرد.بر خلاف رله های القایی که بر اساس خاصیت موتوری بنیان نهاده شده اندوشرح آن گذشت.رله های موتور دار در نقش کمکی یا کنترلی مورد استفاده قرار میگیرند.بعنوان نمونه ای ازعملکرداین رله ها.میتوان ایجادزمان تأخیرطولانی را نام برد.

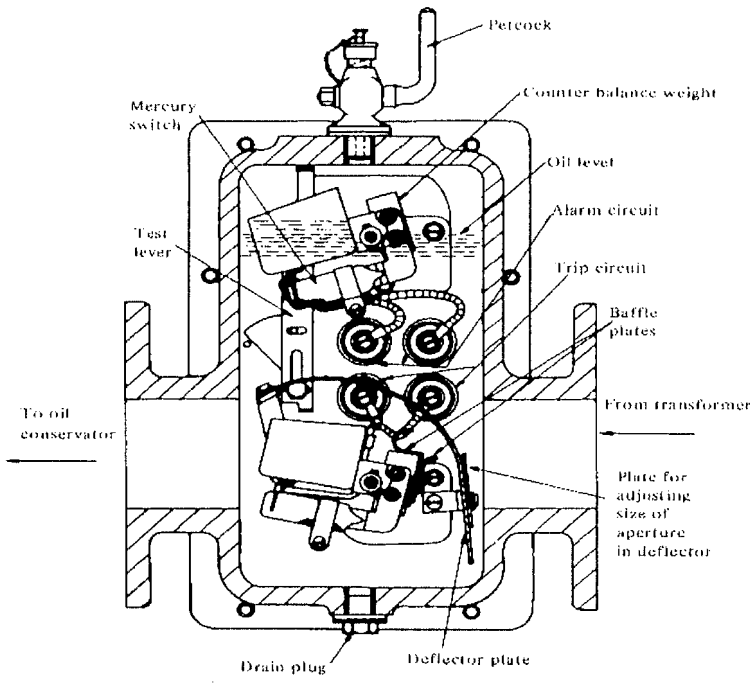
٦-٢-٤ : رله با عملکرد روغنی و گازی (بوخهلتز)

بروز خطا در داخل تجهیزات الکتریکی أکنده از روغن مانند ترانسفورماتورها.منجر به تولید گاز میشود.در صورتیکه این خطاها شدید باشند.جابجایی روغن نیز رخ خواهد داد.رله بوخهلتز نسبت به این گونه شرائط از خود عکس العمل نشان میدهد وقابلیتهای مختلفی از حفاظت را فراهم میکند.این گونه رله ها بروز اولین خطا ها 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 انها میشودو هر کدام یک کلید جیوه ای را در بر میگیرد.تحت شرائط استاندارد تعادل وزن سطلها باعث باز 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.سطلهای سرباز لبریز از روغن شده و در نتیجه حالت شناوری انها از دست میرود و در نتیجه سطح عمودی روغن افت پیدا میکندو 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 می‌شود.

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 الارم و عمل کردن کنتاکت قطع میشود.در طرحهای دیگر از تانکهای شناور تو خالی وسر بسته یا پلاستیک جامد استفاده می‌شود.



شکل A –٦-٢-٤ : 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 می‌شود.این نوع رله ها در سه اندازه مختلف.متناسب با لوله های روغن قطر ۱یا۲ اینچ ساخته میشود. حجم قسمت هشدار دهنده متناسب با حجم گاز جمع شده از ۱۰۰تا۲۰۰سانتیمتر مکعب متفاوت است.سرعت قسمت قطع بر اساس سرعت روغن.از ۷۰تا۱۶۰سانتیمتر بر ثانیه است.

زاویه لوله های روغن و شیب رله دارای تأثیر مشخص و اندازه گیری شده ای در کارآیی و عملکرد رله هستند.برای رله های شناور منفرد.افزایش زاویه از ۲تا۵درجه مجاز است.برای رله های شناور دوبل این محدوده بین ۳تا۷درجه 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 أنها.و برای لوله های در سمت حفاظ.حداقل سه برابر قطر داخلی أنها 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 نا خواسته دیگر میگردند که توجه در هنگام طراحی.باعث کاهش این مشکلات خواهد شد.

۳-٤ : 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 مقدیر 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 درحین 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 نمی‌دهد.

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)

۱-۳-٤: محدودیتهای ولتاژ عملکرد

یک باتری معمولی با ولتاژ نامی ۲ولت.هنگامی که تحت بارگیری کامل قرار گیرد دارای ولتاژ کمتر از ۱٫۸ولت 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 ۲٫۳تا۲٫۵ولت حفظ شود.نزدیک ترین مقدار عددی در این شرائط را میتوان.بعنوان ولتاژ نامی در نظر گرفت.برای مثال یک باتری با۵۵خانه دارای مقدار نامی ۱۲۵ولت است و محدودیتهای کاری باتری بصورت درصدی از ولتاژ نامی بیان میشود.مثلاً با در نظر گرفتن محدودیتهای کاری ولتاژ ۱۱۰ولت 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 ۸۰٪ولتاژ نامی یا ۷۰٪ولتاژ واقعی تنظیم میشوند.رله های قطع کننده باید تحت ۶۰٪ولتاژ اسمی یا ۵۳٪مقدار واقعی ولتاژ تنظیم شوند.اگر شارژ باتری افزایش یابد.ولتاژ هر پیل (خانه) به ۲٫۷ولت نیز میرسد و در نتیجه ولتاژ یک باتری ۵۵خانه ای به ۱۵۰ولت میرسد.با این حال باتری قادر به تغذیه کردن برای مدت زمان بیش از ۲۰دقیقه نخواهد بود.

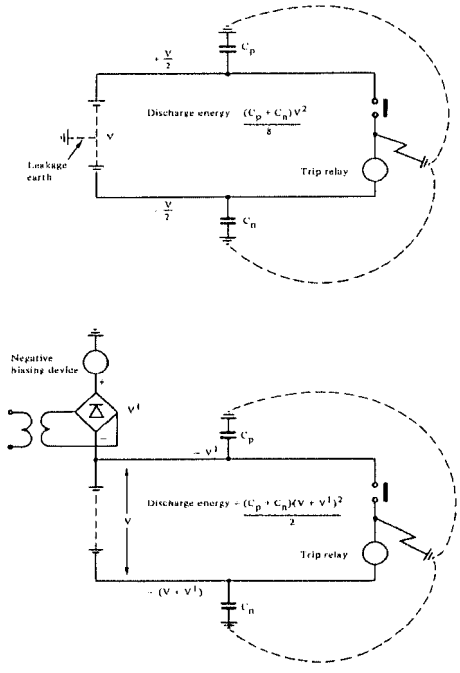
عملکرد همه رله ها و کنتاکتها تحت این ولتاژ تا ۱۲۰٪مقدار واقعی قابل تصحیح و تنظیم است.سیم پیچی رله قادر به تحمل ۱۱۵٪مقدار واقعی بطور دائم است.هنگام تعمیرات در وضعیتی که باتریها قابل شارژ نباشند.ولتاژ واقعی تا ۲ولت در هر خانه باتری کاهش می یابد و در این حالت توجه به اضافه ولتاژ چندان ضروری نیست.

۲-۳-٤ : 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 نشتی باعث بوجود آمدن پتانسیل منفی در مرکز باتری می‌شود.دو سر باتری نیز دارای پتانسیل V/2و V/2-میشود.

اگر ظرفیت خازنی بر روی قطبهای مثبت و منفی را با C_PوC_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 V1 خواهد شد و انرژی تخلیه در این حالت به مقدار $(C_P+C_N)(V+V1)^2/2$ 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-۲-۳-٤: 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.مبین این امر است که طی آن رله های قطع کننده ملزم به عدم عملکرد خواهند بود.هنگامی که در معرض تخلیه خازنی معادل ۱۰۰میکرو فاراد که با ولتاژ ۱۵۰ولت 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 شرائط خطا در نظر گرفته شده است.قابل ذکر است که شرائط فوق تنها به رله های قطع عادی مربوط نبوده.بلکه برای رله های واسطه و نیز کنتاکتورهایی که برای قطع بکار می‌روند.نیز این شرائط یکسان و بسیار با اهمیت است.

۳-۳-٤: رله های قطع کننده(Tripping)

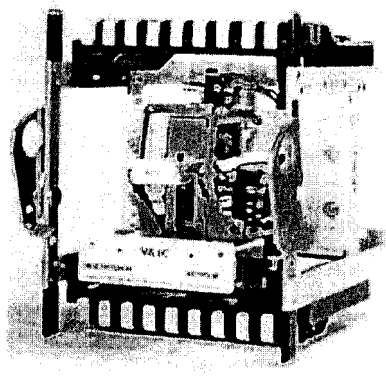
این رله ها از وع رله های کمکی هستند که در بخشهای مستقل.مهیا میشوند تا خروجی های مربوط به انجام عمل قطع یکی از رله های حفاظتی را هماهنگ کنند.عملکرد رله های Tripping به شرح زیر است.

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 افرادمختلف قابل انتقال به بیرون باشد.همچنین در برخی حالتها .نظارت یک کارشناس برای جدا کردن متعلقات سوئیچگیر مورد نیاز است.در هر صورت. 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 عملکردسریع 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.



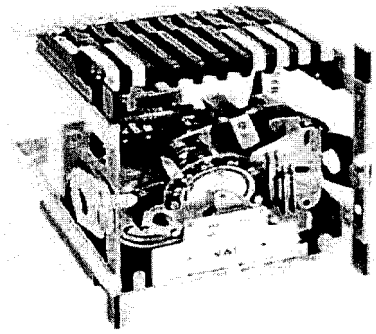
شکل 4-3-A : رله سرعت بالا با ۸کنتاکت

شکل A-۳-۳-٤ : رله سرعت بالا با ۸کنتاکت

یک نمونه از رله های قطع با reset دستی یا الکتریکی در شکل A-۳-۳-۴ نشان داده شده است.این رله ها دارای ۸ کنتاکت خروجی هستند که هر کدام از أنها 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 أنها گذشت پایداری مساوی دارد.در برخی از رله ها لازم است تا رله با یک مقاومت با اندوکتانس کم موازی شود تا ایمنی لازم در هنگام تخلیه فراهم شود.

٤-۳-٤: رله های تأخیر زمانی

رله های تأخیر زمانی.معمولاً برای فراهم کردن زمان تمایز در طرحهای حفاظتی مهم بکار برده میشوند.همچنین أنها 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 ألارمها.فقط بخاطر شرائط گذرا تنظیم میکنند.زمان تأخیر را بوسیله روشهای گوناگون می‌شود ایجاد کرد.یک تأخیر کوتاه مدت را میتوان توسط یک رله أرمیچر جذبی که در بخش A –۱-۲-۴ شرح داده شده ایجاد کرد.ایجاد یک تأخیر زمانی برابر۰٫۰۵S در Pick-up براحتی صورت میگیرد.تاخیر درDrop-off میتواند طولانی تر و از 0.1تا۰ 3. ثانیه بطول انجامد.تاخیر 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 ط.ولانی 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 –۴-۳-۴ نشان داده شده است که از طریق یک الکترومغناطیس.قدرت لازم برای پیچاندن 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 A-4-3-4 : رله تاخیری

شکل A –٤-۳-٤ : رله تأخیری

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

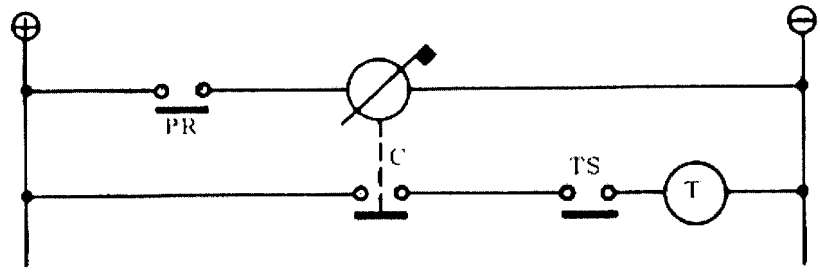
زمان نشست (Setting Time) نیز با جابجایی موقعیت بازوهای عمل کننده قابل تنظیم است.همچنین با استفاده از نسبت تبدیل های مختلف دنده های متفاوت نیز.میتوان به تنظیم زمانی مطلوب دست یافت. بازه تنظیم زمان با استفاده از روشهای مختلف در حدود۰.6تا۱۲۰S میباشد.زمان کل عملکرد را بصورت حاصل جمع زمان عملکرد الکترومغناطیس و زمان حقیقی

عملکرد مکانیزم تعریف می کنند.میتوان با استفاده از مقدار انرژی مناسب و استفاده از اجزا، با اینرسی پایین در سیستم پیچش فنر.زمان اخیر را کوتاه کرد.زمانهای تأخیر طولانی معمولاً توسط موتورهای کوچک ایجاد میشود.این موتورها به طرزی مناسب با شافت عملکرد کنتاکتها درگیر شده اند.موتورها دارای یک دیسک القای هستندو میتوانند در نقش یک موتور مینیاتوری 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 گشتاور های 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 چرخا ند.مدت زمان Reset شدن مستقل از زمان تأخیر است و این عمل بصورت آنی و با رها کردن یک کلاچ الکترومغناطیسی صورت میگیرد.

٤-٣-٥: Repeat contactors

اینگونه از کنتاکتورها.برای ا فزایش 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 –٥-٣-٦ یک ترتیب بسیار واضح از Repeat circuit موازی را نشان می دهد.



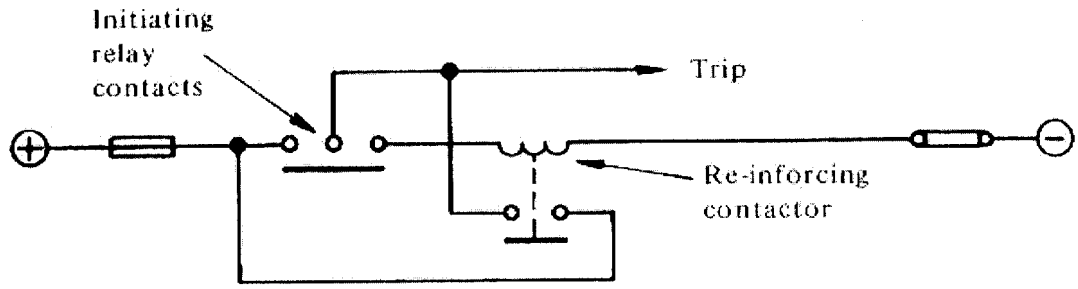
PR Protective relay
C Contactor
T Circuit breaker trip coil
TS Circuit breaker auxiliary switch

شکل A -٥-٣-٤ : کنتاکتور تکرار موازی (شنت)

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

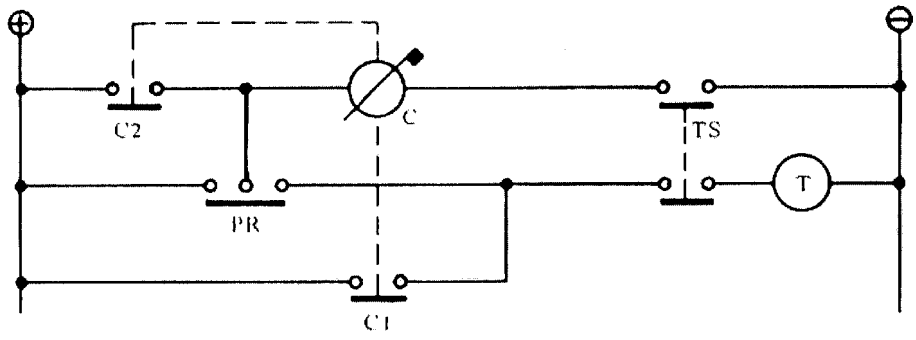
مطابق شکل.رله های حفاظتی منجر به بر قرار شدن سیم پیچهای کنتاکتورها می شود و بر اثر عملکرد کنتاکتورها کلید قطع می گردد. این مدار ساده دارای این نقص است که زمان عملکرد کنتاکتور به زمان عملکرد رله اصلی افزوده می شود. همچنین بر اثر عملکردهای اضافی کنتاکتورها قابلیت اطمینان سیستم کاهش می یابد.

کنتاکتورها.بایددارای یک سیم پیچ مناسب باشند.زیرا خطرات ناشی از بروز خطا غیر قابل چشم پوشی است.این مشکلات در مدارات موازی تقویت شده مطابق شکلB-٥-٣-۴ کاهش می یابند.



شکل B-۵-۳-٤ : 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–۵–۳–۴ نشانگر استفاده وسیع از کنتاکتهای اصلی است که درأن 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 سوئیچهای کمکی بکار برده میشود.



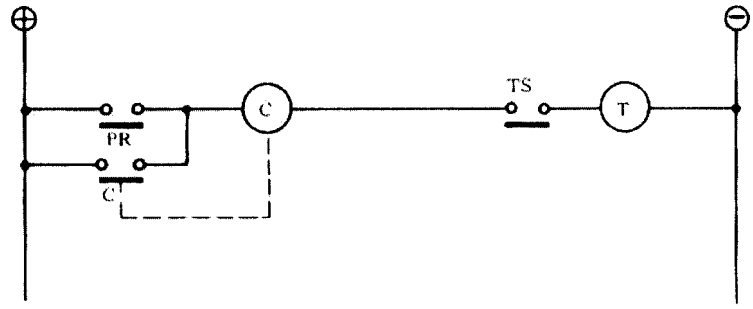
PR Protective relay
C Auxiliary contactor
T Circuit breaker trip coil
TS Circuit breaker auxiliary switches

شکل C -۵-۳-٤: 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 –۳–۵–۶) سیم پیچی کنتاکتور طوری طراحی میشود که افت ولتاژ منبع در حین قطع مدار 5٪ شود.

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

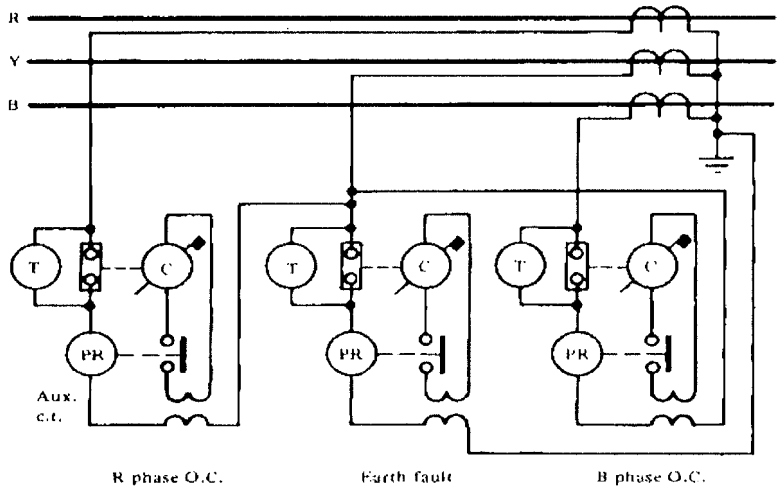


PR Protective relay
C Contactor
T Circuit breaker trip coil
TS Circuit breaker auxiliary switch

شکل D -۵-۳-٤ : 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 -۵-۳-۴) طبیعتاً کنتاکتهای کنتاکتور.در این طرح دارای نقشی اساسی هستند کلیه کنتاکتورها و تریپ کویلها و سایر المانها برای هر فاز. بصورت جداگانه بکار برده می‌شوند.



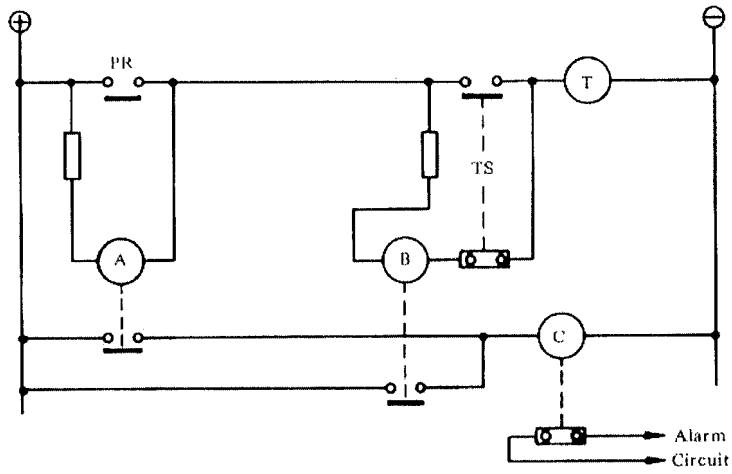
PR Protective relay
C Contactor
T Circuit breaker trip coil

شکل E-۵-۳-٤: مدار قطع کننده A.C ترانسفورماتورهای جریان

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

٦-٣-٤ : 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 ان 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 B و A-٦-٣-۴ نشان داده شده است.رله ها بصورت سری کار می کنند و هر دو أنها باید Reset شوند تا منجر به خروج رله C شوند.ره اخیر دارای یک زمان تأخیر کوتاه برای پوشش دادن به حالتهای گذرا است.در هر حالت چه کلید باز یا بسته باشد عملکرد نظارت همچنان حفظ خواهد شد.



A, B, C	Auxiliary relays
PR	Protective relay
T	Circuit breaker trip coil
TS	Circuit breaker auxiliary switches

شکل ٦-٣-٤ : طرح نظارت مدار قطع کننده

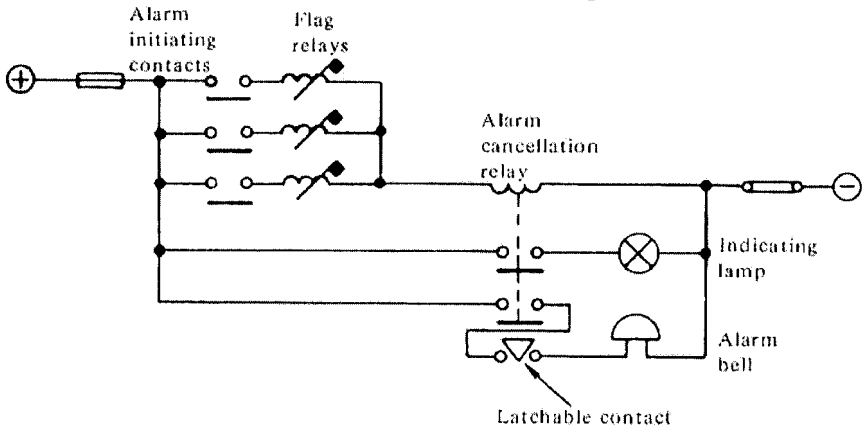
C و B و A = رله های کمکی TS =کلید کمکی PR=رله محافظ T=سیم پیچ قطع کلید

٧-٣-٤: رله های هشدار دهنده

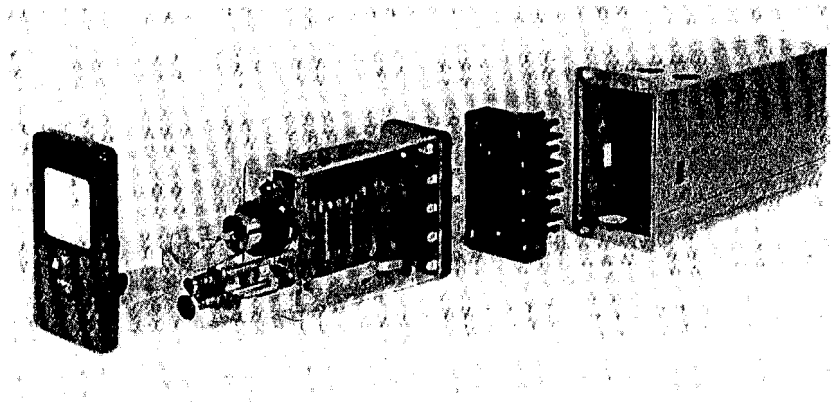
رله های با توانایی هشدار صوتی و تصویری معمولاً برای جلب توجه به عملکرد رله های اولیه بکار برده میشوند.طرح ألارم ممکن است یک طرح ساده برای مراکز کوچک ولی پر اهمیت باشد.بهتر است که در ألارمهای مختلف.تمایز وجود داشته باشد .یک طرح هشدار دهنده که تو.انایی لغو و باطل شدن را دارا باشد باید دارای دو کنتاکت خود reset از نوع N.O (NORMALY 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 الارم 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 برقدار 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 آلارم 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 می‌کند که کنتاکتهایی که سیستم آلارم را در لحظه اول راه اندازی میکنند به سرعت RESET نمیشوند و در نتیجه ترتیب آلارمهای آمده قابل درک نیست.

ترتیب رله های لغو کننده آلارم 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 -۷-۳-۴). این رله را میتوان همانند یک رله لغو آلارم که برای چند آلارم معمول است بکار برد.یا همانند یک رله نشان دهنده منفرد یا همانند یک رله لغو کننده آلارم مورد استفاده قرار داد در حالت اخیر.اثر تلفیق پرچمها و لغو آلارمهای مربوط به طرح.در شکل A -۷-۳-۴ نشان داده شده است.



شکل A -۷-۳-٤ : طرح یک مدار اعلام آلارم ساده

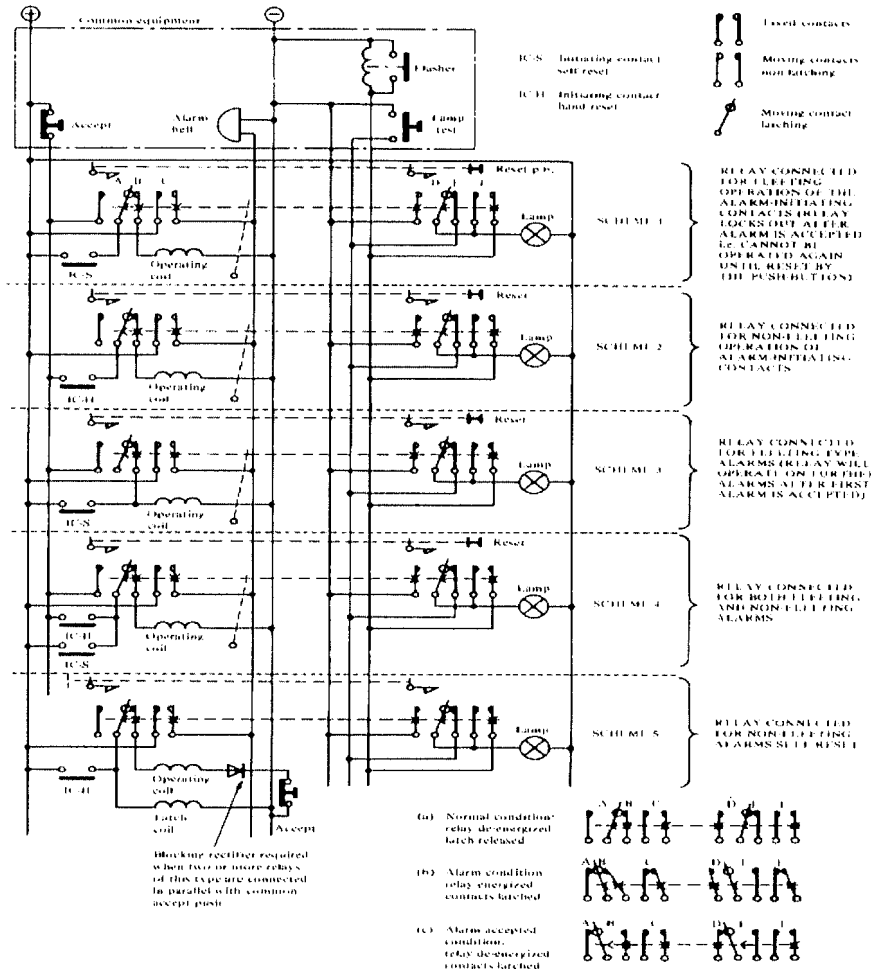


شکل B -۷-۳-٤ : رله هشدار دهنده (ساخت شرکت Reyrolle)

علاوه بر آن این طرح دارای این مزیت است که هر شماره از آلارمها 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 میگیردیعنی ممکن است این رله توسط کنتکتهای self reset یا hand reset یا ترکیبی از آنها برقدار 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 برقدار شدن این المان مکانیزم عملکرد فعال می شود در نوع HAND RESET این بخش توسط یک أهنربای دائم کنترل می شود در نوع SELF RESET یک الکترو مغناطیس نیز به أن اضافه می شود که سیم پیچی أن توسط منبع وقوع ألارم 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 آلارم در نظر گرفته شده است یک رله روشن کننده جدا نیز برای روشن شدن لامپ در هنگام عملکرد رله آلارم بکار می رود.کنسل شدن آلارمهای 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.

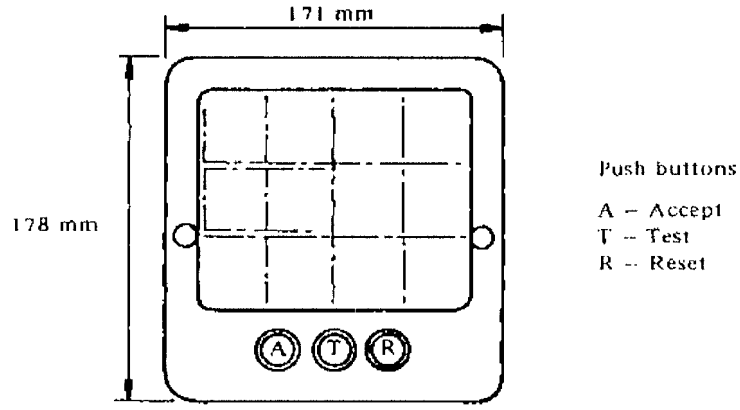
در شکل C-۷-۳-۴برخی ازکاربردهای این رله وروش عملکرد آن بصورت شماتیک بیان شده است در نیروگاه و پستهای مهم تعداد زیادی از نمادهای آلارم در اتاق فرمان مورد استفاده قرار می گیرند. بهتر است طراحیبه نحوی باشد که تابلوهای آلارم کمترین فضای ممکن را اشغال کنند و در عین حال.در هنگام بروز خطا به اپراتور هشدارهای واضح و ارائه کنند.و 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 می‌شوند.

در ابتدای عملکرد سیستم آلارم.یکی از لامپهای تابلو روشن می شوند و همراه با آن نیز یک صدای : صفحه ۳۰ 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 –۷–۳–۴). به منظور تایید ألارم.نور شدید که بر اثر روشن شدن لامپ ایجاد شده بود همچنان تداوم می یابد تا برچسب 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 -۷-۳-٤ : دیاگرام مدار رله هشدار دهنده شکل C -۷-۳-٤ (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 –۷–۳–٤ نمونه ای از یک صفحه آلارم ۱۲ حالته

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 ۱۸,۱۲,۹,۶ نماد 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.

٤–٤ : ملاحظات کلی طرح

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

۱–٤–٤ : مقادیر نامی سیم پیچها

جریان نامی سیم پیچی رله ها بر طبق گفته استاندارد فوق از 2.1 تا 5 أمپر می باشد.رله های با جریان نامی 5 أمپر 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 شرائطی که جریان اولیه دارای مقدار نامی زیادی باشد استفاده از ترا نس جریان با ثا نویه کمتر از 5 أمپر نا مطلوب است. بر طبق مطالب فوق می توان گفت که استفاده از سیم پیچی با جریان نامی۱أمپر یا حداکثر۲أمپر ارجح تر است. این امر باعث کاهش Burden اضافی می شود و از تأثیر گذاشتن روی رله جلو گیری 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.

۲–٤–٤ : 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.

۳۰ VDC سیستم های توزیع

۵۰ VDC تجهیزات رسانه ها

۱۱۰VDC سیستمهای بزرگ و همه مراکز شبکه

۱۱۰VDC تا ۲۴۰ نیروگاهها

۳-٤-٤: تنظیم رله ها

یکی ازمعمول ترین روشهای تنظیم رله استفاده از تپ سیم پیچی رله یااستفاده 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 ان Set . تفاوت چندانی با حالتهای 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 أن نظیر زمان عملکرد و ... می توان استفاده نمود.

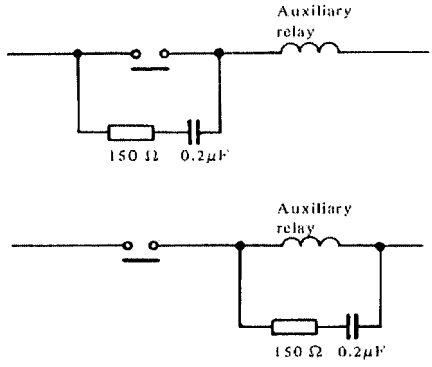
٤-٤-٤: کنتاکتها

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 أنها 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 هانیز افزایش می یابد و در نتیجه خطای عمل کرد سیستم حفاظتی افزایش می یابد.بر طبق دلایل فوق وهمچنین برطبق 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 تاثیر منفی بر روی نقره خواهد داشت در نتیجه کنتاکتهای نقره بر اثر فشار یا ساییده شدن تغییر شکل خواهند داد و سطح موثر تماس أنها کاهش خواهد یافت.برای افزایش سختی نقره معمولاً ۵تا۱۰ 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.

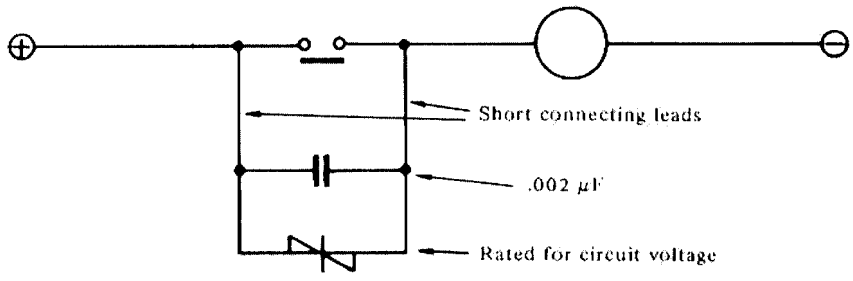
در برخی از کنتاکتها در حالتهای خاص بویژه هنگامی که بار اندوکتیو باشد از جرقه گیر استفاده می شود.مدار نشان داده شده در شکل A -۴-۴-۴عموماً بعنوان جرقه گیر بکار برده می شود.اگرچه مقادیر داده شده بعنوان نمونه بوده و تعیین مقادیر واقعی آنها از طریق تجربه و آزمایش امکان پذیر است.



شکل A-٤-٤-٤ : دو نوع اتصال مختلف برای مدارهای قطع کننده قوس الکتریکی

هنگامی که کنتاکت 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 کنتاکت 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 ولتاژ های گذرای زیاد تولید خواهد شد که این امر منجر به صدمه زدن به عایق یا بروز قوس در فاصله هوایی بین کنتاکت خواهد شد.ظرفیت خازنی معمولاً 0.2 میکرو فاراد در نظر گرفته می شود .مقاومت کنتاکتها 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-۴-۴-۴) و میتوانند بصورت موثر در برخی از وضعیتها مورد استفاده قرار گیرند.اما هنگامی می توان أنها را با کنتاکتهای 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 002. میکرو فاراد باشد.در هنگام استفاده از رله های أرمیچر جذبی ظرفیت این خازن حدود 0050.میکرو فاراد میباشد



شکل B-٤-٤-٤ : طرح یک نوع مدار قطع کننده قوس الکتریکی

٥-٤-٤: 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 در ین سیستم با استفاده از یک کنتاکتور سریع که پرچم بر روی آن نصب شده برای آزاد کردن پرچم استفاده می شود.

در شرائط خاص که نیاز به عملکرد چندین رله باشد باید پرچمهای جداگانه ای مورد استفاده قرار گیرد.عملکرد پرچمهای مکانیکی مقارن با عملکرد کنتاکت 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.

٦-٤-٤: 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 چفت و بستهای مکانیکی یا از نیروهای مغناطیسی الکترومغناطیسها 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 بر قرارشدن منجر به رفع موانع و reset کردن رله می گردد.

٥-٤: رله های استاتیکی

این رله ها.در سالهای دهه۳۰ (۱۹۳۰) 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 أنها امکان ایجاد رله با مشخصه های مختلف وجود داشت.
- تعداد عملکرد این رله ها بر روی کارأیی انها 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 حفاظتهای خاص استفاده می شود.

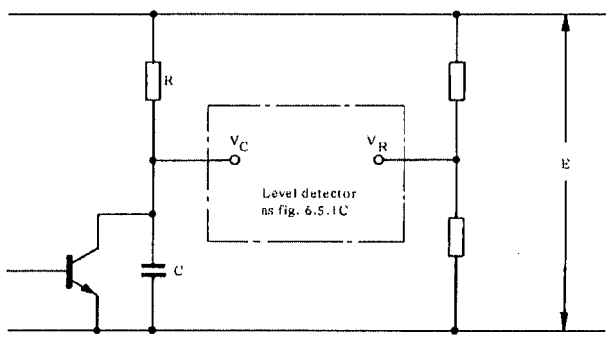
۱-۵-٤ : مدار های پایه مورد استفاده

مشابه طرحهای الکترومکانیکی که عموماً بر اساس اجزا، مجزا از هم نظیر.دیسک اندوکسیونی.استکان القایی.رله های أرمیچر 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 أنها.باعث شده است که این رله ها بصورت تجهیزت مناسب برای رله گذاری شبکه ها بکار روند.

۱-۱-۵-٤ : تایمرها

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



شکل A -۱-۵-٤ : زمان سنج مقاومتی خازنی

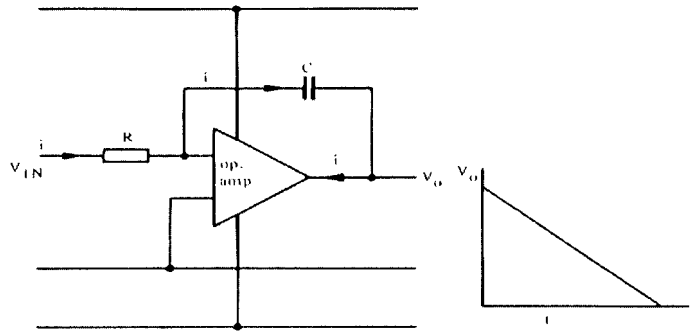
زمان رسیدن به یک ولتاژ ثابت.مستقیماً به مدار R بستگی دارد که با تنظیم آن میتوان به تأخیر زمانی متفاوتی دست یافت.این تایمر به دوطریق شروع به کارمی کند

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-۱-۵-۴ نشان دهنده یک تایمر از نوع MILLES است که در أمپلی فایر بکار می رود.در این مدار با یک مدار معینR .ولتاژ خروجی بصورت خطی کاهش می یابد و با اعمال ولتاژVm بصورت معکوس عمل می کند.



شکل B -۱-۵-٤ : مدار زمان سنج با استفاده از OP-Amp

۲-۱-۵-٤ : آشکار سازهای سطح

مقایسه گر سطحD.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 می‌شودومقدار آن حدود ۱ میکرو امپر است.در این هنگام رله آرمیچر جذبی که در خروجی واقع شده است عمل میکند.شکل C -۱-۵-۴ .نشان دهنده مداری است که سطح drop-off آن نسبت به سطح pick-up به مقدار جزئی کوچک تر است.

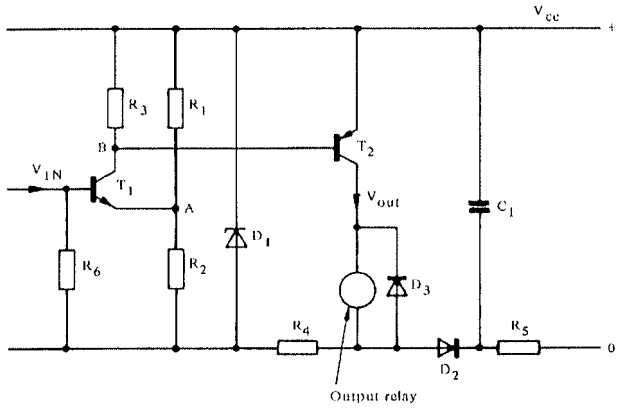
شکل های D وE-۱-۵-۴ نشان دهنده انواع دیگر مقایسه گر سطح اند که سطح drop-off آنها کسر ثابتی از سطح ولتاژ عملکرد آنهاست.برای یجاد تفاوت در سطحdrop-off میتوان از یک فیدبک که بین خروجی و سطح تنظیم شده آنها قرار گرفته است استفاده نمود.

۳-۱-۵-٤ : مقایسه گرهای پلاریته

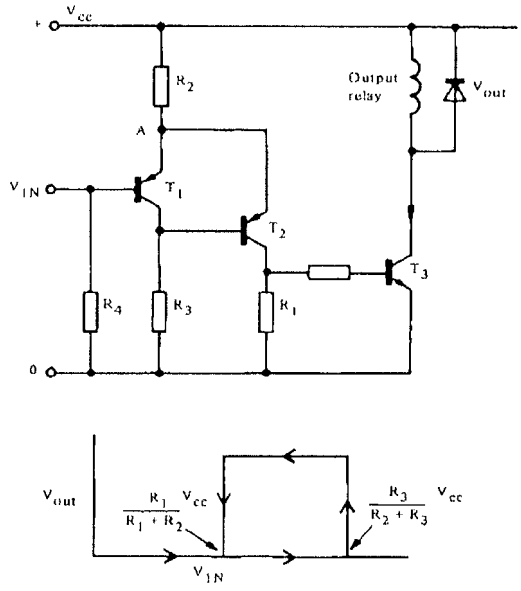
مقایسه گر پلاریته برای امواج ac و هنگامی بکار برده می شود که نیاز به تشخیص زمان عبور موج از نقطه باشد.

مدار مربوط به این مقایسه گر در شکل GوF-۱-۵-۴ 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 أنها بر مبنای یک مقاییییسه بسیار دقیق

موج ولتاژ با مقدار مرجع است.مورد استفاده قرار داد.شکل F-۱-۵-۶ 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 ببرد.

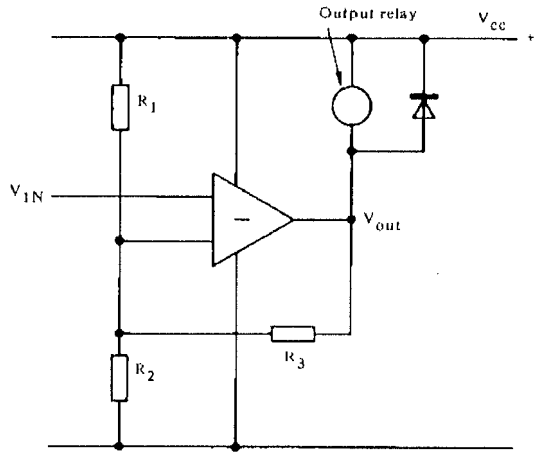


شکل C -۱-۵-٤

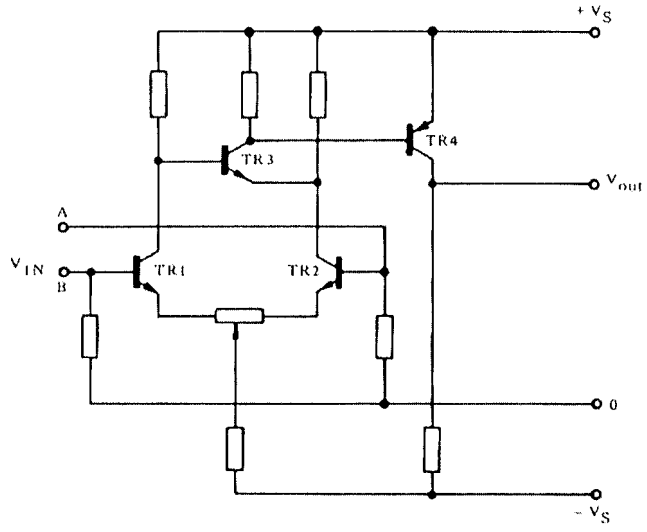


شکل D-۱-۵-٤ : أشکار ساز سطح با مقدار تنظیمی مشخص اختلاف سطح

حتی توسط تقویت کننده نیز میتوان یک مقایسه کننده خیلی حساس ایجاد کرد که دارای فید بک نیز نباشد .(شکل G-۱-۵-۴) در این حالت اگر پلاریته ورودی تغییر یابد پلاریته خروجی نیز معکوس می شود.و از ۱۳V+ به ۱۳V- تغییر می یابد.



شکل E-۱-۵-٤: نوع دیگری از أشکار ساز سطح با مقدار تنظیمی مشخص اختلاف سطح



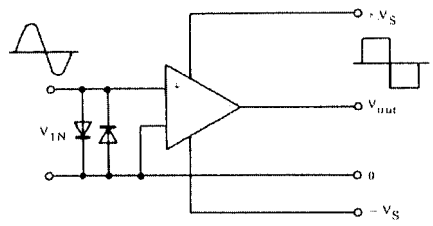
شکل F-۱-۵-٤ : أشکار ساز پلاریته(با استفاده از ترانزیستور)

٤-۱-۵-٤: 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 می‌توان برای تولید امپدانس غیر مستقیم و نیز دستیابی به مشخصه های گوناگون رله های دیستانس استفاده کرد.(شکل D-۷-۸-۶) 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-۷-۸-۴ أورده شده اند.در این مقایسه گرها اندازه خروجی توسط میزان کردن ورودی ها تغییر می یابد و مقدار لحظه ای أن همیشه کمتر از دو ورودی است.خروجی شامل یک قسمت AC و یک جز، DC مربوط به حالت ماندگار است.پلاریته بخش DC هنگامی که اختلاف فاز دو موج ۹۰ درجه باشد تغییر می یابد.در این اختلاف فاز پریود زمانی هنگامی که خروجی مثبت است با پریود زمانی هنگامی که خروجی منفی است برابر است.

مدار لاجیکی مورد استفاده که توسط مدارات مجتمع ایجاد شده در شکل H-۱-۵-۴ نشان داده شده است.دو گیت ex-or (یای ا نحصاری) بازای موج مربعی ورودی .دارای نقطه عبور صفر یکسانی هستند.شکل سیگنالهای خروجی این گیتها AوCتوسط BوC 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 ۹۰ +و۹۰- لازم است هنگامی که نسبت mark space موج خروجی از مقدار واحد گذشت را تعیین نمود.



شکل G-۱-۵-٤ : آشکار ساز سطح با استفاده از Ap-Amp

اگر ورودی نرمال باشد سیگنالهای موج مربعی xو Y بین مقادیر مثبت ومنفی موج ولتاژ نوسان می کنند. ولی اگر ورودی صفر باشد موجهای xوy 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 -۱-۵-۴ در زیر دیاگرام أورده شده است.موجهای مربعی YوX مشابه دو موج ورودی بوده ودارای تغییرفاز نسبی هستند.این دو موج همراه با موج خروجی E در شکل H-۱-۵-۴ نشان داده شده اند.

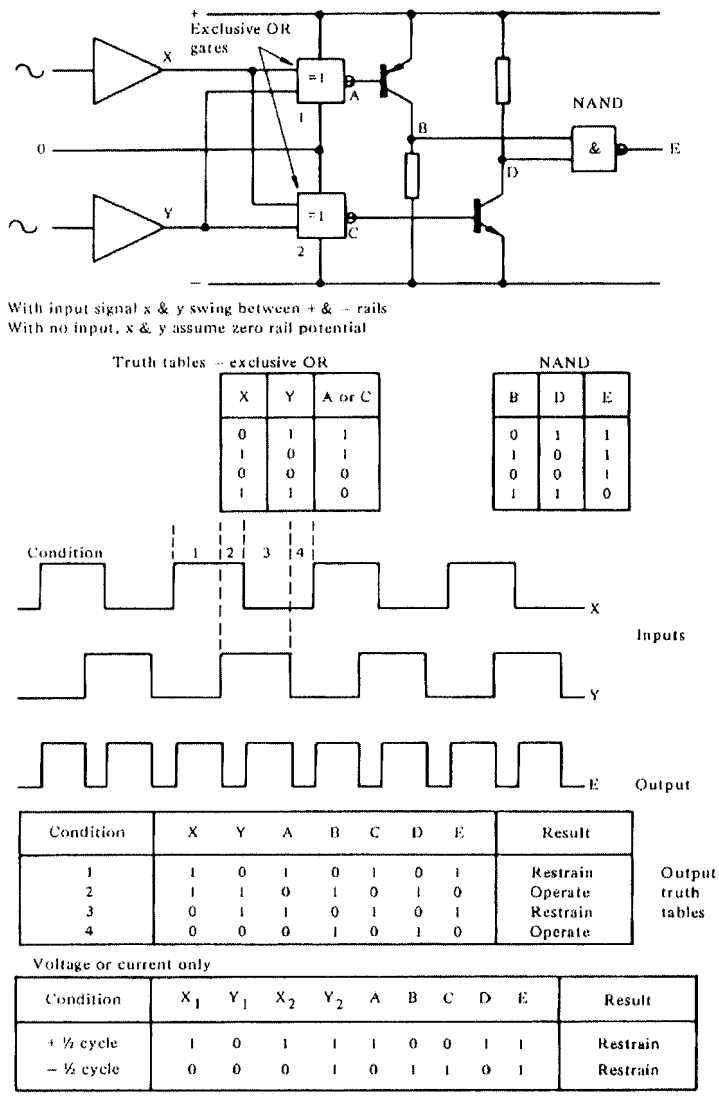
جدول درستی مربوط به موج خروجی نحوه عملکرد مدار را در حالتهای مختلف برای ایجاد این موج بیان می کند.در یک سیکل با ترکیب پلاریته های مختلف چهار حالت ایجاد می شود که این حالتها با اعداد یک الی چهار مشخص شده اند.پاسخ هر یک از این چهار حالت نیز در شکل آورده شده است.باید به خاطر داشت که ترانزیستورها عملکرد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

شاید در مراحل اولیه به نظر آید که فرایند تکرار در عملکرد این مدار ضروری نیست اما به منظور پوشش دادن به حالتهای 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 شرائطی که در آن ضریب قدرت پایین است قابل تمایز نیست. آخرین جدول درستی نشان می دهد که این شرائط چگونه توسط فرایند تکرار در مراحل اولیه مقایسه پوشش داده می شود.در این حالت ورودی y 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.

۵-۱-۵-٤ : انتگرال گیر

شکل I-۱-۵-۴ یک بلوک دیاگرام کامل از مدار مقایسه کننده را نشان میدهد أشکار 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(شکلG-۱-۵-۶) سرعت شارژ و دشارژ خازن در أن یکسان خواهد بود وخروجی به شکل مثلثی بدون جزءDC 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 اشکار کردن این حرکت از یک آشکار کننده سطح مطابق شکل D-۱-۵-۴ یا E-۱-۵-۴ استفاده می شود.لازم است که مقدار Drop off از مقدار Pick up کمتر باشد تا بتوان از تداوم موج خروجی مطمئن بود.



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

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

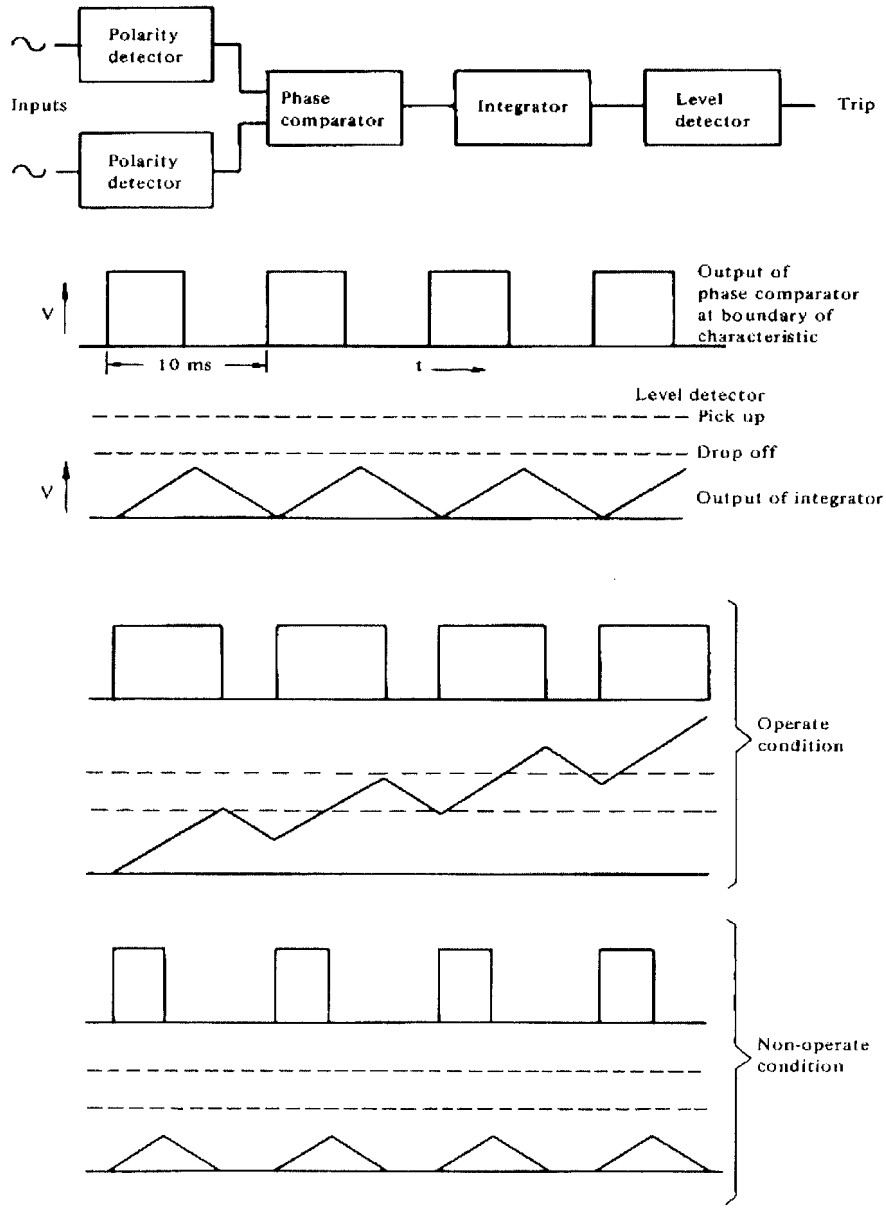
Voltage or current only

Condition	X_1	Y_1	X_2	Y_2	A	B	C	D	E	Result
+ ½ cycle	1	0	1	1	1	0	0	1	1	Restrain
− ½ cycle	0	0	0	1	0	1	1	0	1	Restrain

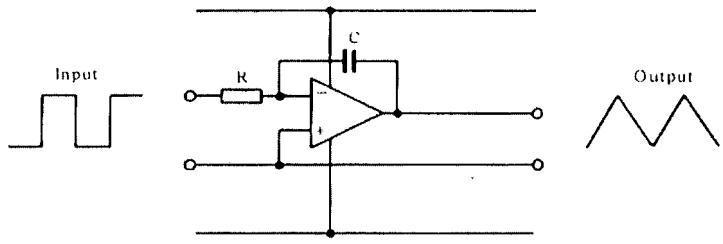
شکل H-۱-۵-٤ : مقایسه گر فاز مورد استفاده در منطق واحد

۴-۵-٤ :اجزا، 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.بمنظور پشتیبانی از این طرح شیوه های مختلف تست پایداری اجزا، ساخته شده ابدا، 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 اجزا، 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 ۱-۱-۵-٤: عملکرد آشکار ساز فاز



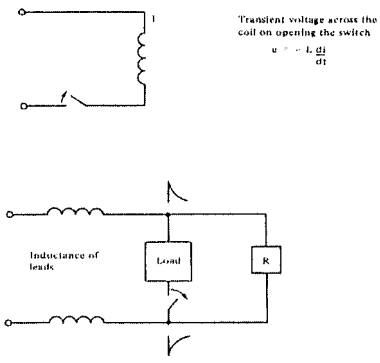
شکل ۱-۱-۵-٤: مدار انتگرال گیر

۳-۵-٤: اضافه ولتاژهای واثرات تداخل انها

عناصر نیمه هادی تحت جریان وولتاژ نامی دارای عملکرد مطمئنی هستند.اما به علت پایین بودن جرم حرارتی انها براثرافزایش پیک ولتاژحتی بصورت أنی وزودگذربشدت أسیب خواهند دید.بنابر این باید در برابر هر گونه اضافه ولتاژ گذرا حفاظت شوند.همچنین مداخله امواج با فرکانسهای بالا نیز برای تجهیزات زیان أور 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.

۱-۳-۵-٤ : منبع ولتاژهایی گذرا

شکل A-۳-۵-۴ 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 -۲-۳-۴ 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.

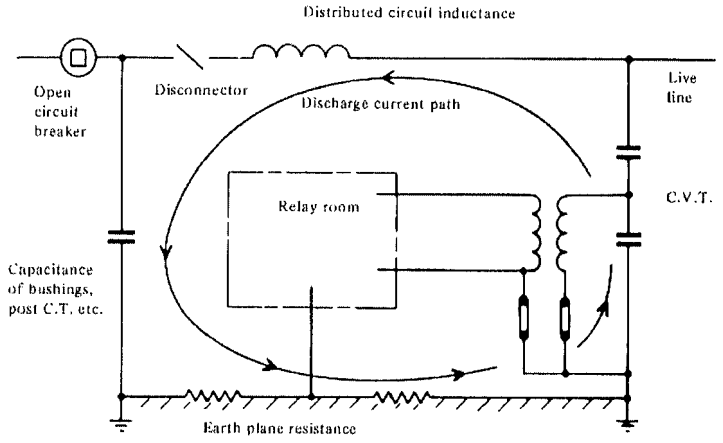


شکل A-۳-۵-٤ : ولتاژ سوزنی القایی بوسیله سوئیچینگ بارهای کمکی

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-۳-۵-۴ نشان می دهد که چگونه باز کردن یک کلید باعث ایجاد یک جریان گردشی در بین ظرفیتهای خازنی بوشهای C.V.T و C.Tواندوکتانس مدار می شود.

۲-۳-۵-٤ : تستهای استاندارد

به منظور مطمئن بودن از عملکرد رله ها تحت شرائط 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 اجزا، رله تولید می شود که اجزا، 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.امپدانس 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.



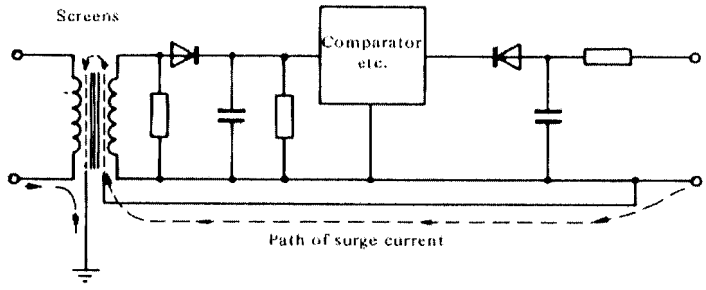
شکل B-۳-۵-٤ : دشارژ نوسانی بوسیله ایزولاتور بسته

أزمایش دوم نیز تحت شرائط یکسان و با یک رله برقدار شده صورت می گیرد.این آزمایش برای چک کردن عملکرد رله و با اعمال ولتاژ های ضربه با فرکانس بالا به رله صورت می گیرد.فرکانس این ولتاژها حدود ۱مگاهرتز 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 می‌کند کاهش داد.امواج سوزنی با پریود 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 C-۳-۵-۴ شکل خلاصه شده یک فیلتر عبور دهنده جریانهای فرکانس بالا را نشان می دهد.



شکل C-۳-۵-٤ : فیلتر عبور دهنده جریانهای فرکانس بالا

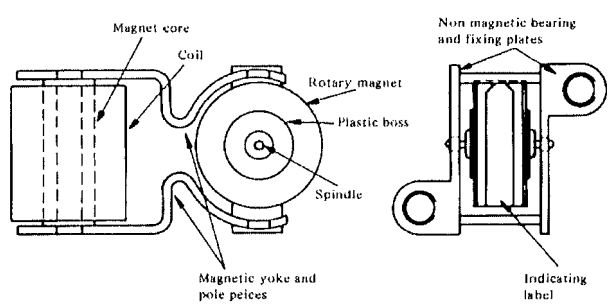
٤-٥-٤: مدارهای خروجی و أشکار ساز

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

- عملکرد سریع در کمتر از ۲تا۳میلی ثانیه
- قابلیت قطع دادن مستقیم بریکر
- قابلیت عملکرد برای دفعات زیاد و نگهداری أسان

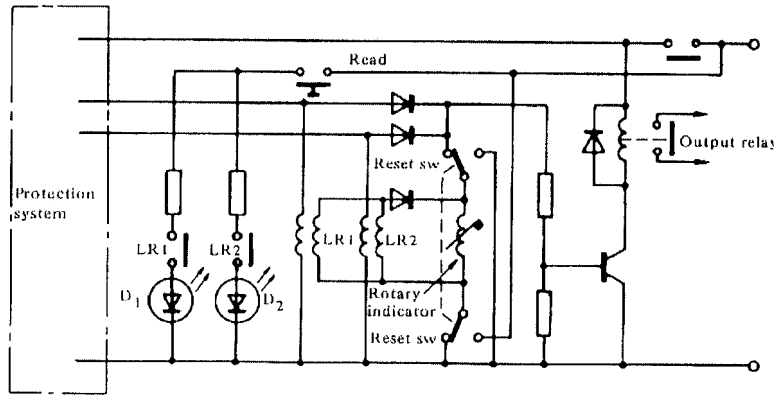
تریستورها برای برأورده کردن نیازهای فوق مناسبند اما برای عملکرد با قابلیت اعتماد بالای مدارهای تریستوری باید این مدارها را با مدارهای پیچیده ای پوشش داد.طرحهای مختلفی برای این منظور ساخته شده اند.رله های mercury-wetted-reed و dry reed از این دسته اند.

در شکل A-۴-۵-۴ أشکار ساز دورانی الکترومغناطیسی برای نشان دادن عملکرد رله های استاتیکی نشان داده شده است.در این أشکار 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 برقدار شدن سیم پیچ حول محور خود دوران کند.برای Reset کردن این آشکارسازها میتوان سیم‌پیچ را با جریانی معکوس تغذیه کرد.

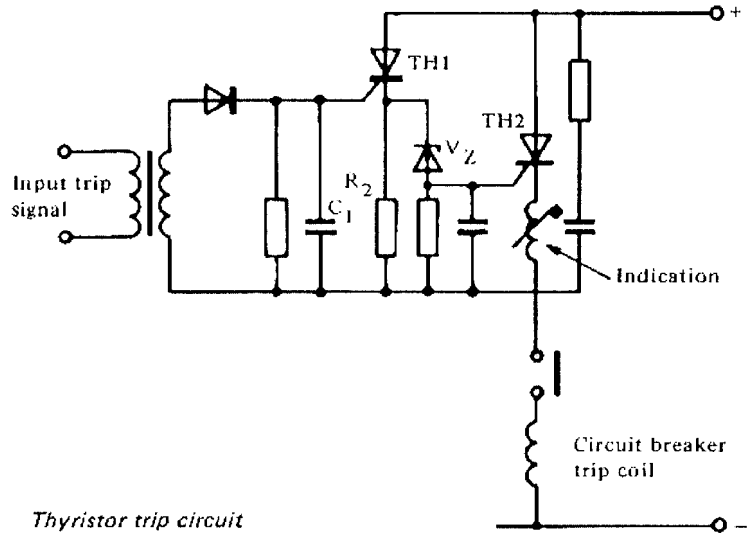


شکل A -٤-٥-٤ : أشکار ساز عملکرد

در طرحهایی که چنین المان حفاظتی در انها 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 B-۴-۵-۴ مدار یک آشکارساز با دو ورودی از این نوع نشان داده شده است. در شکل E-۴-۵-۴ یک مدار خروجی تریستوری تک کاناله نشان داده شده است.پالس آتش تریستورها از طریق یک ترانسفورماتور ایزوله کننده.اعمال میشودو C1 مانع از پالسهای اضافی می شود.



شکل B-٤-٥-٤ : مدار خروجی آشکارساز با LED



شکل C-٤-٥-٤ : مدار قطع تریستوری

٤-٦ : کاربردها و مشخصه ها

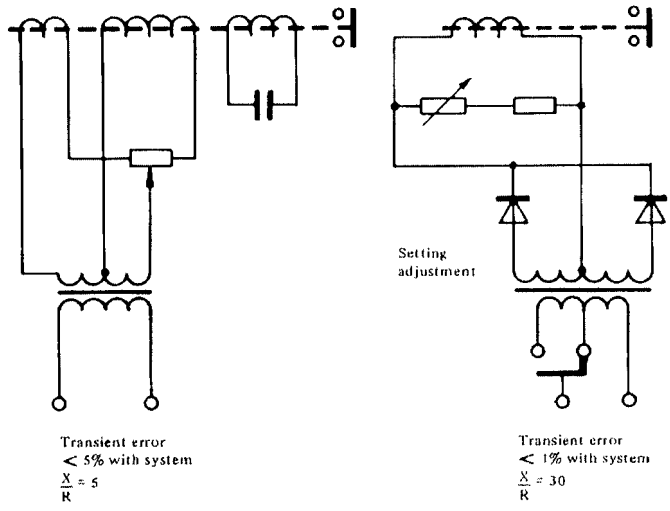
در این فصل تاکنون رله ها به عنوان تجهیزاتی ایزوله مورد بررسی قرار گرفت و در زمینه ای غیر از کاربردهای ضروریشان بحث نشد.میتوان از اجزا، مختلف رله برای ایجاد مشخصه های متنوع استفاده کرد.در این بخش به بحثی تخصصی در مورد مشخصه های رله ها می پردازیم.رله ها معمولاً گیتهایی از سیستم قدرتی که در آن قرار دارند 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)

۱-٦-٤: رله های جریان و ولتاژ آنی (Intantaneous)

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 هایمختلف ثابت است.اما در حالت فنر متغیر.بسته به setting های مختلف .این مقدار فرق می کند زیرادر مقاومتهای 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 امپدانس 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 شرائط گذرا.بایدsetting رله متناسب با این شرائط در نظر گرفته شود.شکل۱-۶-۴ مدار رله هایی که برای ایجاد ایمنی بسیار بالا در برابر شرائط گذرا مورد استفاده قرار می گیرند.نشان می دهد.



شکل ۱-٦-٤: رله های آنی مخصوص شرائط گذرا

۲-٦-٤:اندازه گیری دو کمیت

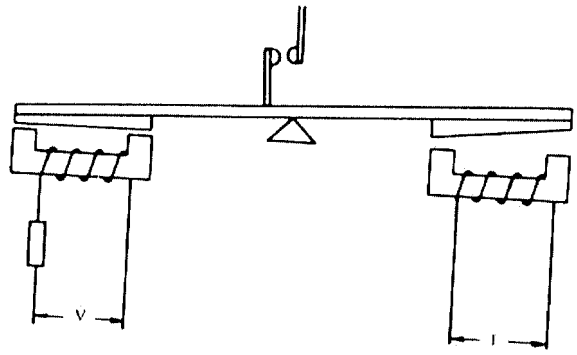
در ابزار های اندوکسیونی .اندازه گیری حاصلضرب کمیتهای ورودیصورت می گیرد.برای مثال اگر با ولتاژ و جریان سیستم تغذیه شوند.پاسخی متناسب با VicosΦ می دهند. رله نوع الاکلنگی که در شکل ۲-۶-۴ نشان داده شده است بر اساس اختلاف مقادیر اندازه گیری شده کارمی کند چرا که در گشتاورهای ایجاد شده از هر یک .با یکدیگر مخالفت میکنند.هنگامی که نیروهای ایجاد شده از این دو کمیت با هم برابرند(در تعادل هستند) داریم:

$$K1V=K2I$$

یعنی

$$V/I=K2/k1$$

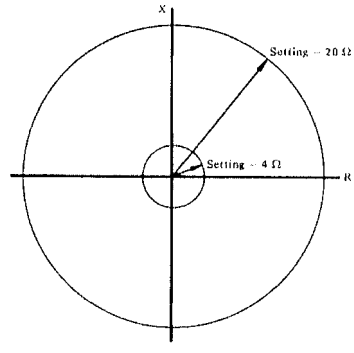
اگر المان متحرک حساسیت کافی را داشته باشد.در صورت وجود عدم تعادل بین دو کمیت.اهرم به یکی از جهات متمایل خواهد شد.در عمل.در رله های دیستانس ساختار فوق به گونه ای سازماندهی می شود که در صورتیکه نسبت از مقدار کالیبراسیون کمتر شود.رله عمل نماید.ولتاژ به سیم پیچ مقاوم و جریان به سیم پیچ عمل کننده اعمال می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



شکل ۲-٦-٤: اصول رله های الاکلنگی

۳-٦-٤ : 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 أنها می تواند نسبت به ضریب توان و زاویه فاز حساس باشد.در این موارد میتوان نسبت ولتاژ به جریان را بصورت امپدانس در نظر گرفته و آن را متناسب با زاویه فاز نمایش داد.این کار را می توان با رسم دیاگرامArgand 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. شکل۳-۶-۴ مشخصه یک رله امپدانسی 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.



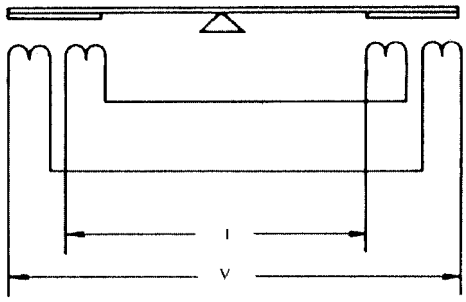
شکل۳-٦-٤: منحنی مشخصه کار رله امپدانسی

٤-٦-٤: مقایسه گرهای چند ورودی

رله الاکلنگی (اهرم متعادل) را می توان طوری ساخت که بصورت یک مقایسه گر فاز عمل کند.شکل۴-۶-۴ رله ای را نشان می‌دهد که در هر سمت آن دو سیم پیچ وجود داشته و با سیگنالهای مختلف تغذیه می شوند.شرائط تعادل هنگامی برقرار است که:

$$K1V+K2I=K1V-K2I$$

تا زمانی که VوI با پلاریته نشان داده شده باشند.سمت چپ رابطه فوق از سمت راست أن 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 اندوکسیونی 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.



شکل٤-٦-٤: رله الاکلنگی 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 باتوجه به رابطه $(R+JX)$ $= V/I = Z$ داریم :

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

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

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

$$K_1^2+K_2^2R^2+2K_1K_2R-K_3^2-K_4^2R^2-2K_3K_4R+K_2^2X^2-K_4X^2=0$$

$$(K_2^2-K_4^2)R^2+(K_2^2-K_4^2)X^2+2(K_1K_2-K_3K_4)R+(K_1^2-K_3^2)=0$$

می توان رابطه فوق را با معادله دایره بصورت :

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

مقایسه کرد. جایی که $X=R$, $Y=X$

$$g=(k_1k_2-k_3k_4)/(k_2^2-k_4^2)$$

$$h=0$$

$$C_2=(K_1^2-K_3^2)/(K_2^2-K_4^2)$$

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

$(k_3k_4-k_1k_2)/(k_2^2-k_4^2)$, 0

و شعاع

$\sqrt{(g+h-c)}=(k_1k_4-k_2k_3)/(k_2^2-k_4^2)$

خواهد بود.

اگر $K1=K3$ شعاع دایره برابر$g-$ خواهد بود و از مرکز می گذرد.

اگر $K1=K3$ شعاع دایره از مرکز عبور نخواهد کرد.

اگر $k1=k3$ و $K2=-K4$ باشد خواهیم داشت:

$$-g=(k_3k_4-k_1k_2)/(k_2^2-k_4^2)$$

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

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

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) .

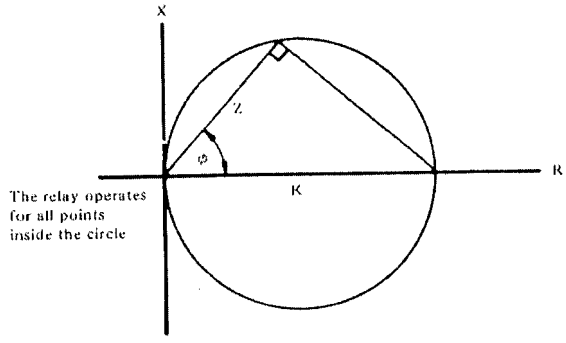
۵-۶-٤ : رله دیستانس

در بخش قبلی دیدیم که چگونه رله می تواند به امپدانس سیستم پاسخ دهد.رله امپدانسی ساده مشخصه دایره ای و هم مرکز با مرکز مختصات دارد.(شکل۳-۶-۴) رله mho که توسط Warrington اختراع شده است .از یک رله اندوکسیونی همراه با یک مغناطیس عملکرد واتمتر و یک الکترومغناطیس تغذیه شده ولتاژ تشکیل می شود.رله بر اساس رابطه زیر عمل می کند.

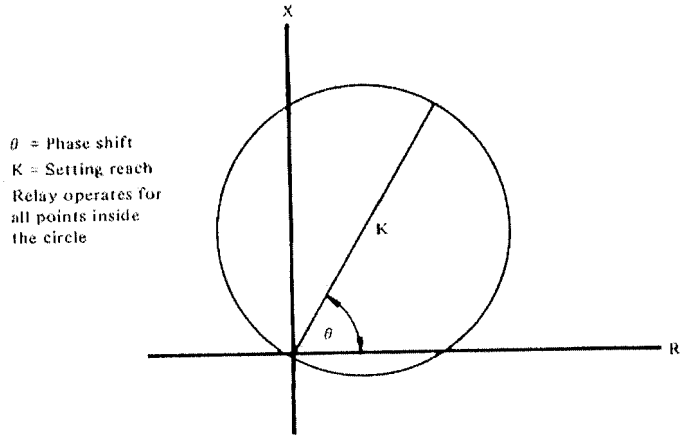
$KVI\cos\Phi = V^2$ و $\cos\Phi = V/(KI)=Z/K$

شکل۵-۶-۴-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(شکل۵-۶-۴-B) به طریقی مشابه قاعده عملکردی بصورت $VI\sin\Phi = KI^2$ و $\sin\Phi = K/Z$

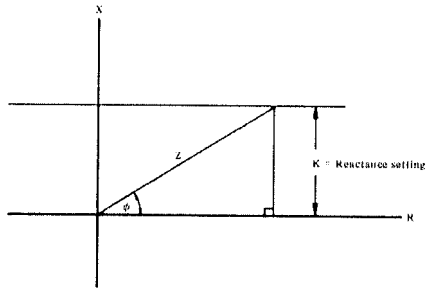
بیانگر خط راستی است موازی با محور R و با فاصله K از آن .این امر حاکی از راکتانس ثابت ویا Setting مستقل از مقدار مقاومت در امپدانس اندازه گیری شده است.(شکل ۵-۶-۴-C) عبارت اخیر ایده آل گونه است که هر رله ای رنج عملکردی متناهی دارد.



شکل۵-۶-٤-A: مشخصه رله اولیه mho



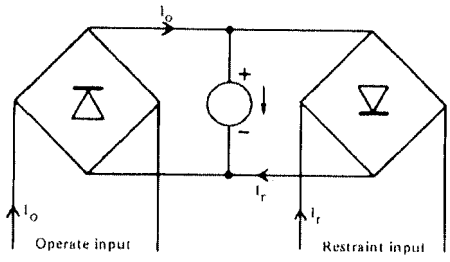
شکل ۵-۶-٤-B: نمونه از مشخصه mho اقتباس شده از شکل ۵-۶-٤-A با استفاده از ایجاد انتقال فاز در زاویه طبیعی ولتاژ سیستم

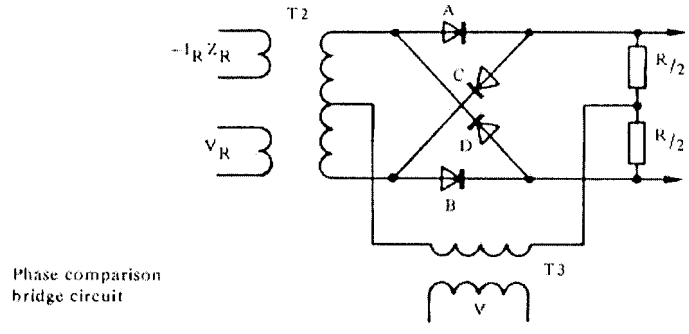


شکل C-٥-٦-٤: رله راکتانسی

٦-٦-٤: مقایسه گرهای پل یکسو ساز (Rectifier)

مقایسه گر دامنه بکمک شبکه های پل دو کمیت را با هم مقایسه میکنند. در شکل ٦-٦-٤ 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.ب تغذیه ترانسفورماتور ورودی با سیگنالهای مختلط با استفاده از سیم پیچهای اولیه دوبل میتوان منحنی مشخصهای از نوع mho ایجاد کرد.



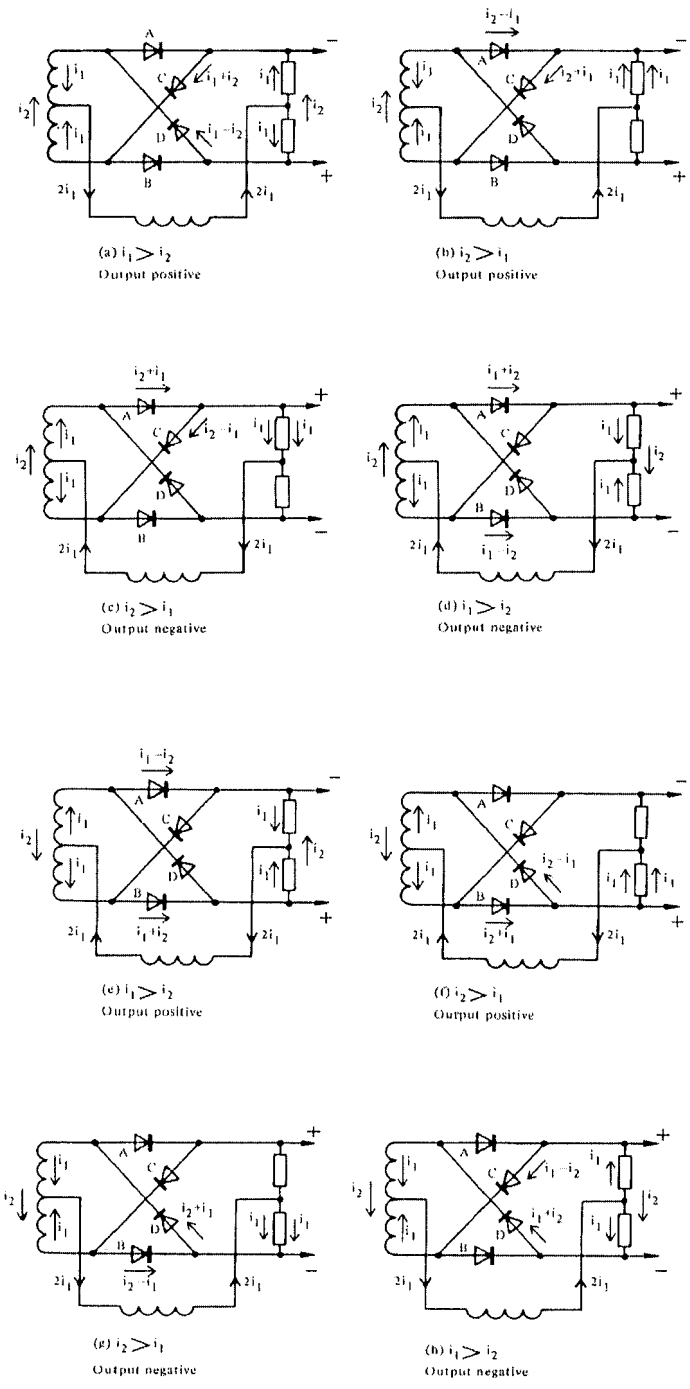


شکل ٦-٦-٤: مقایسه گر پل یکسو ساز

٧-٦-٤: پل مقایسه فاز

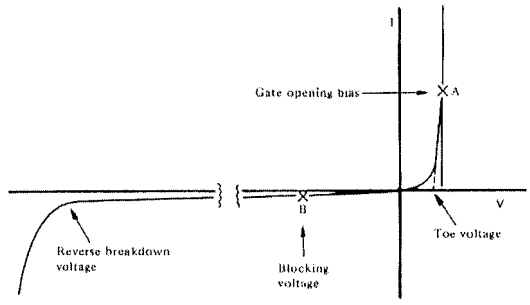
در شکل A-٧-٦-٤ مدار یک پل مقایسه گر فاز نشان داده شده است.برای پی بردن به چگونگی عملکرد این سیستم مروری بر مشخصه ولتاژ و جریان دیود ضروری است (شکلB-٧-٦-٤) . تغییر سریع مقاومت در نزدیکی جریان صفر برای یکسو سازی مناسب است. شکل A-٧-٦-٤ دو ورودی I_2 و I_1 به پل را نشان می دهد .دردوره (a) i_1 از i_2 بزرگتر 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 درنتیجه آمپر دوری تولید نمی شود. افت ولتاژ ناشی از I_1 در دیودهای Cو D .در دیودهای Aو D بصورت یک پتانسیل متضاد عمل کرده و مانع از عبور جریان I2 از آنها می شود.به این ترتیب جریان I_2 از دیود D به سمت بالا رفته ا زمقاومت R و دیود c عبور کرده و بر R.ولتاژ I2R ایجاد می شود. در دوره (b) I_2 از I_1 بزرگتر می باشد. جریان I_2 از دیودهای A,C عبور کرده و باعث باز شدن أنها 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_1R+ ایجاد می کند. دوره (c) مشابه دوره b بوده .تفاوت آن در i_1 است .

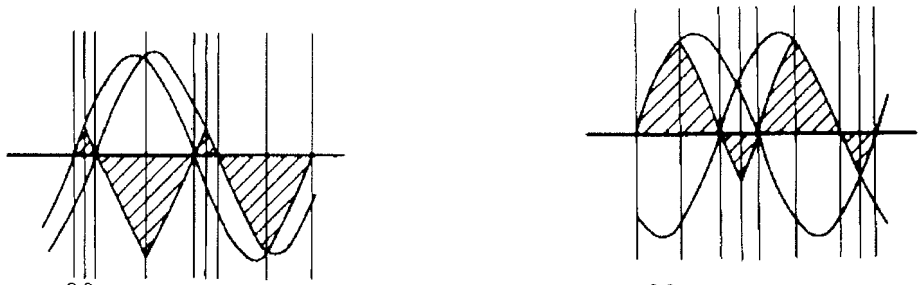


شکل A-۷-٦-٤: اصول رله های مقایسه گر فاز

به این صورت که در این حالت جریان مثبت بوده و درخلاف جهت جاری می شود. ولتاژ خروجی برابر با i_1r- خواهد بود. در طی دوره i_1. d از i_2 بزرگتر بوده و هر دو مثبت .i_1 دیودهای a.bرا 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 باI_2R – خواهیم داشت .و خروجی مقایسه گر در شکل بصورت هاشور زده نمایش داده شده است.

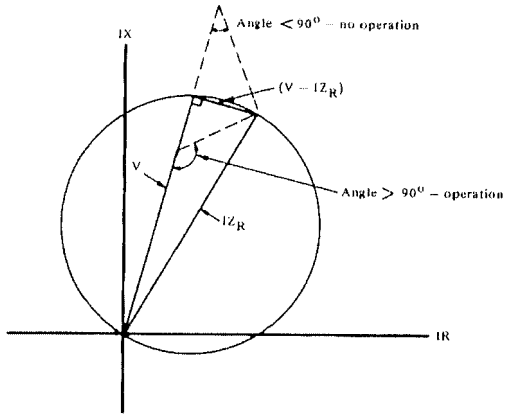


شکل B-۷-٦-٤: مشخصه یک دیود یکسو ساز



جابجایی فاز بیشتر از 90 درجه | **جابجایی فاز کمتر از 90 درجه**

شکل C-۷-٦-٤ : خروجی های کل مقایسه گر فاز بزای جابجایی فاز کمتر و بیشتر از 90 درجه



شکل D-۷-٦-٤ : بر گرفته شده از مشخصات mho پل مقایسه گر

۸-٦-٤: 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

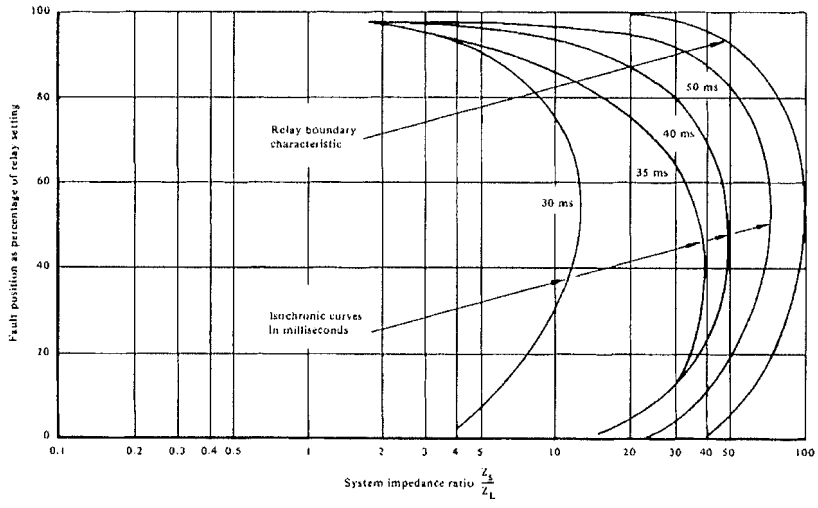
ممکن است نتواند این مقدار را به درستی اندازه گیری نماید.زیرا انرژی ورودی ممکن " خیلی کمتر از انرژی مورد نیاز برای حرکت باشد یا ولتاژ از مقدار عملکرد یکسو ساز کمتر باشد."

کاهش ولتاژ در تقاضای حفاظتی.بسته به امپدانس منبع پشت نقطه حفاظتی رله اتفاق می افتد.امپدانس ZS منبع و امپدانس حفاظت شده خط Z1 شامل یک پتانسیومتر و رله متصل به نقطه تپ می باشد.بنابراین ولتاژ رله برابر :

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

که عبارت ZL/ (ZS+ZL) ضریب رنج نامیده می شود.که عبارت است از ضریب تقسیم emfسیستم .در هنگام پایین بودن ظرفیت .یا در شرائط 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 ذروری به نظر می رسد.و ولتاژ عملی داده شده به سیستم با شرح خطای واقعی باشد.دو عبارت باید تعیین شوند.ضریب ZL/ (ZS+ZL) به عنوان نسبت امپدانس سیستم نامیده می شوند.معمولاً ضریب به صورت ساده شده ZS/ZLمی باشد.(ZSدر مقایسه با Z1در کلیه شرائط بحرانی بزرگتر است) عبارت فوق تعیین شده در (BS 395) سیستم محافظتی الکتریکی در حوزه a.c مقدار ماکزیمم "نسبت امپدانس سیتم "برای رله داده شده می تواند اندازه گیری شود و عمل می شود با دقت مشخص شده در " مشخصه نسبت امپدانس" اجرا با ملاحظه صحت و عمل در زمان فشرده بوسیله منحنی دستگاه رسم همزمان بصورت جمع از سیستم نسبت امپدانس و اختلاف فاصله از شکست فاصله تنظیمی می باشد.بعنوان مثال :



شکل۸-٦-٤ : منحنی رنج برای رله اندازه گیری mho

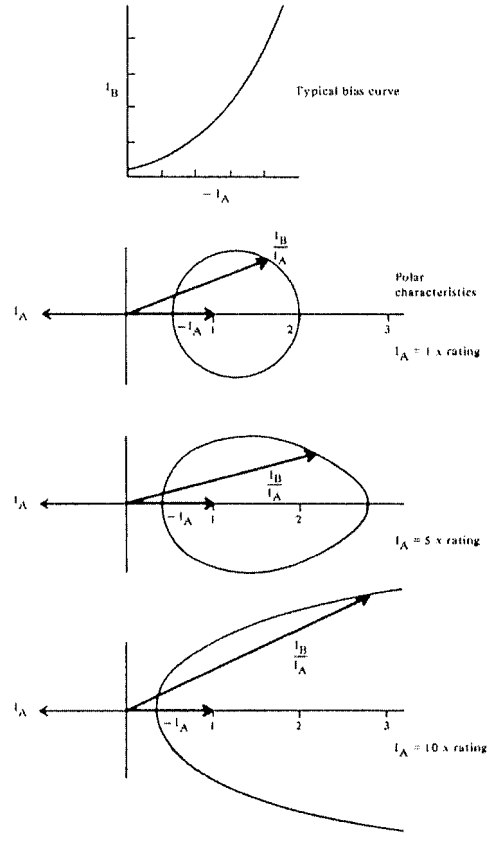
۹-٦-٤: رله های دیفرانسیلی

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 .تلورانسی 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 شرائط عادی اختلاف جریانها صفر بوده و رله عمل نمیکند.اگر اختلاف جریانها به اندازه کافی زیاد باشند گشتور 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.

۱۰-٦-٤ : 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 IA مرجع انتخاب شود و نسبت IB/IA رسم گردد.IB بصورت پریونیتی ازIA رسم می گردد(شکل ۱۰-٦-٤) . 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 نا مشخص .و رله به اپراتور حالت مقایسه فازها را بیان می کند.



شکل ۱۰-٦-٤: حفاظت دیفرانسیل نوع یک طرفه

۱۱-٦-٤ : حفاظت تابعیت (ترادف) منفی

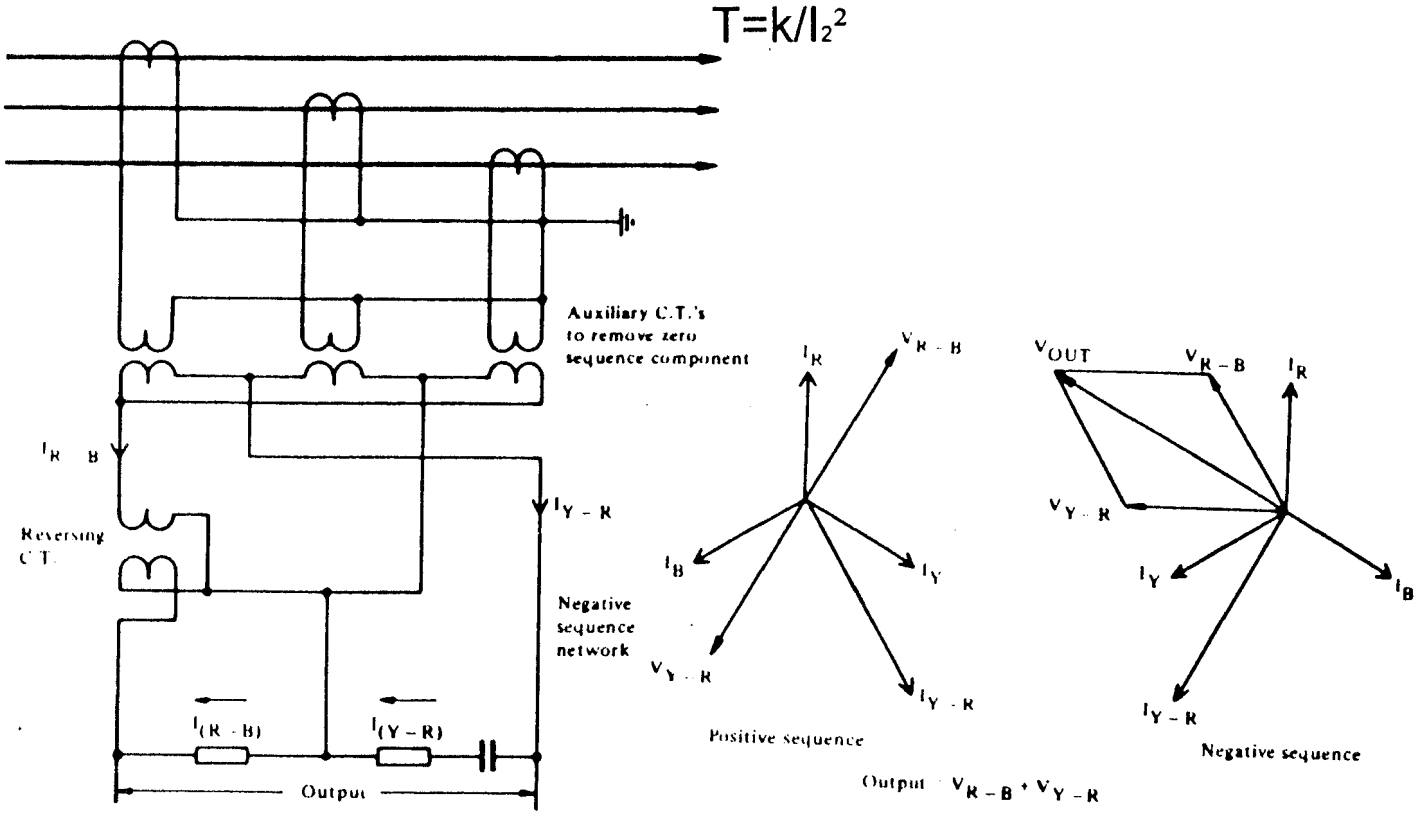
جریان نامتعادل در هر سیستم سه فاز می تواند بصورت هر سه ترادف مثبت ومنفی و صفر باشد. این سیستم با سه ترادف فازی است.ممکن است اجزا، ترادف با موج تغییر شکل داده شده مقایسه شوند یا بصورت ریاضی و تئوری باشند اما در واقعیت و عمل بوسیله فیلترهایی جدا می شوند. ترتیب توالی مثبت در همه وضعیت ها چه میزان وچه غیر میزان اتفاق میافتد. تحت هر دو حالت خطا وعادی ممکن است بنا بر این فقط در دامنه اصلی ساخته می شود توالی منفی فقط در حالت غیر عادی اتفاق میافتد.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 وچه غیر میزان اتفاق میافتد. تحت هر دو حالت خطا وعادی ممکن است بنا بر این فقط در دامنه اصلی ساخته می شود توالی منفی فقط در حالت غیر عادی اتفاق میافتد.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 منتجه گروهی که از CT های اتصالهای منتجه 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 توانند عملی باشند یا آشکار سازی وضعیت غیر نرمال در شرائط 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 ۱۱-٦-٤ 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

فصل پنجم

حفاظت جریان زیاد Overcurrent Protection

حفاظت جریان زیاد را می توان برای تجهیزاتی مانند ترانسفورماتور و مخصوصا خطوط توزیع بکار برد. ابزار جهت حفاظت 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 ـ 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 ـ جریان مدارهایی است که محافظت می‌نمایند. استفاده از فیوزها سبب خواهد شد که تجهیزات در مواقع بروز خطا یا اضافه بار از مدار خارج گردیده و بدینترتیب 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 نمی‌توان آنها را نمی‌توان آزمایش نمود. معمولا در تأسیسات مهم آزمایشی تجهیزات حفاظتی پس از نصب آنها ضروری است.

بدین ترتیب رله‌های با مشخصات زمان ـ جریان معکوس شبیه فیوز برای حفاظت جریان زیاد و اتصال زمین ساخته شدند. این رله‌ها که از ترانسفورماتورهای جریان تغذیه می‌شوند در هنگام ضرورت با برقرار کردن مدار سیم‌پیچی قطع کلیدهای قدرت موجب بازشدن آنها می گردند.

رله های جریان زیاد

رله های جریان زیاد با مشخصات زمان ـ 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 پشتبان در طرحهای پیچیده بکار رفته‌اند. جریان و زمان رله های جریان زیاد قابل تنظیم بوده و بدینوسیله می‌توانند برای تمایز صحیح در هنگام خطا و ا اضافه بار همانند فیوزها استفاده شوند. در بعضی موارد بهره‌گیری از طبقه‌بندی 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 رله‌های جریان زیاد جهت‌دار و رله های اتصال زمین استفاده می کنند. مشخصه های جریان زیاد را می توان به چندین بخش تقسیم کرد:

ـ حفاظت جریان زیاد آنی

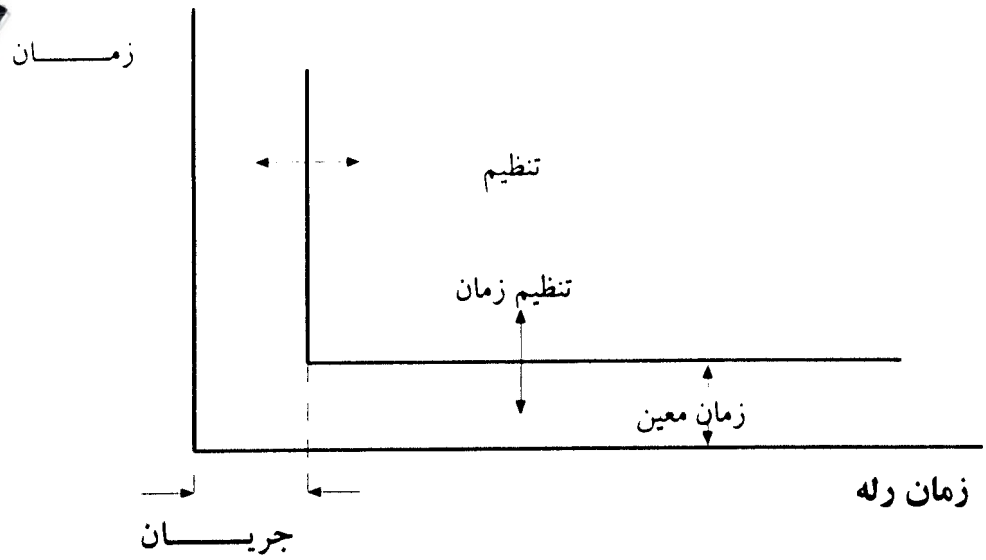
ـ حفاظت جریان زیاد با تأخیر معین

ـ حفاظت جریان زیاد با مشخصه معکوس

رله های القایی دیسکی برای حفاظت جریان زیاد با طبقه‌بندی زمانی به کار می‌روند. این رله‌ها دارای مشخصه زمان ـ جریان معکوس هستند و همچنین مجهز به ابزاری برای تنظیم زمان عملکرد و جریان عملکرد هستند.

۵ـ۱ رله های جریان زیاد زمان معین Difinite Time Over Current (DTOC)

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 سیم‌پیچی قطع کلید قدرت قرار می‌گیرد. مشخصه زمان ـ جریان رله در شکل ۵ـ۱ نشان داده شده است.



شکل (۵ـ۱) : رله جریان زیاد زمان معین

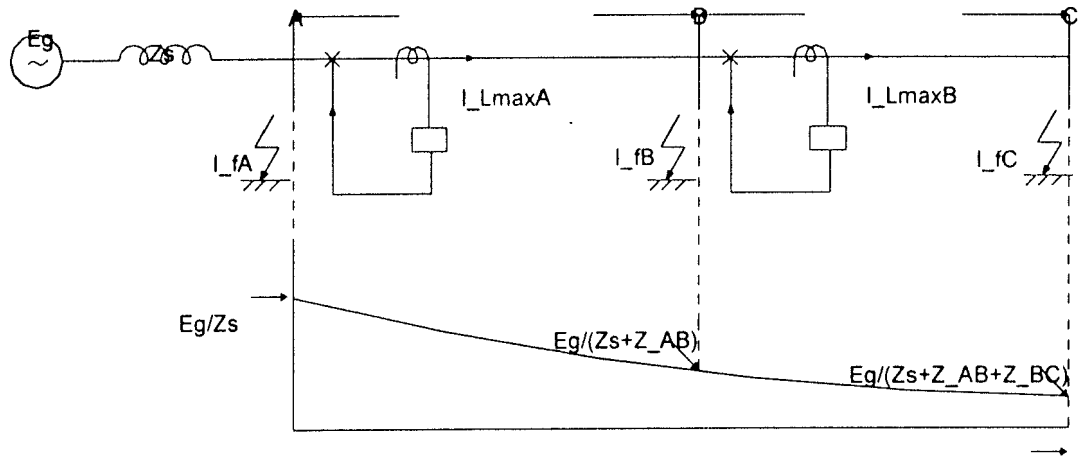
نحوه قرار گرفتن رله در شکل (۵ـ۲) ارائه گردیده است. Eg ولتاژ داخلی ژنراتور، Z_S امپدانس منبع و Z_{AB} و Z_{BC} به ترتیب امپدانس خطوط AB و BC هستند. Eg ولتاژ داخلی ژنراتور بر اثر تغییر تولید تغییر خواهد کرد. جریان خطا بر روی باسهای مختلف عبارتند از :

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

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

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

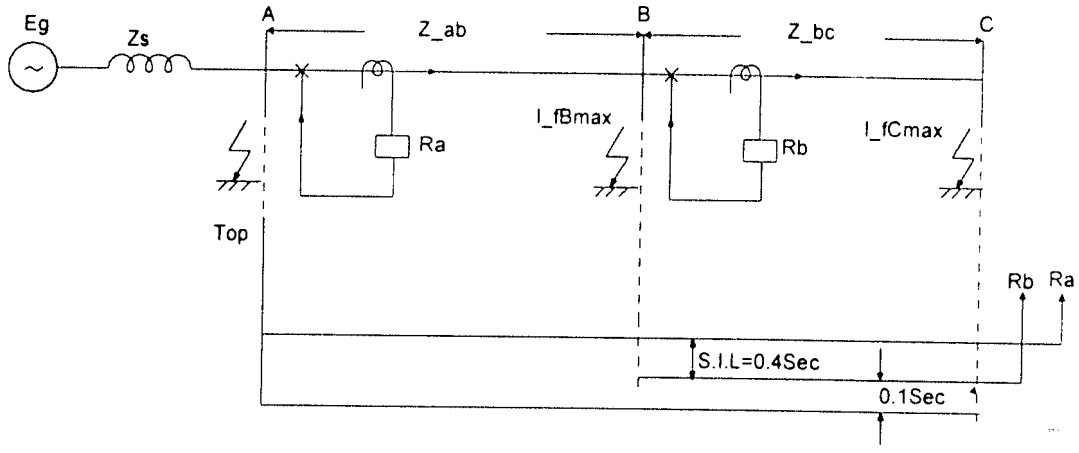
در شکل (۵ـ۲) همچنین جریان خطا بر حسب محل آن در طول خط نشان داده شده است. جریان قبل از خطا در خطوط در زمانهای مختلف متفاوت بوده و حداکثر آنها در محل رله ها با I_{LmaxA} و I_{LmaxB} مشخص شده اند.



شکل (۵ـ۲) 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 موقعی 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 (۵ـ۳) را در نظر بگیرید. برای سهولت فرض می‌شود که نسبت تبدیل CTها ۱:۱ باشد جریان خطا برای اتصالی های واقع بر روی باسهای A، B، C روی شکل نشان داده شده اند.



شکل (۵ـ۳) تنظیم رله های DTOC

رله های R_B حفاظت اصلی را بر عهده داشته و R_A حفاظت پشتیبان می‌باشد. 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 می‌توان رله B را از نوع آنی قرار داد. آنی به معنای آن است که تأخیر زمانی عمدی در رله وجود ندارد. معمولا رله جریان زیاد آنی را ۰/۱ ثانیه قرار می‌دهند تا بدین ترتیب عملکرد اشتباه نیز در نظر گرفته شود.

زمان عملکرد رله B برابر ۰/۱ثانیه در نظر گرفته می شود. اکنون بایدمقدار 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 زیرصدق می کند:

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

نامساوی سمت چپ ضامن عدم عملکرد رله در جریان بار حداکثر در محل رله بوده و نامساوی دوم تضمین کننده ان 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 می‌سازد. اگر فرض شود که حفاظت اصلی خط BC به درستی عمل می کند آنگاه زمان رفع خطا برای اتصالی‌های 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 بازشدن کلید B و برابر ۰/٤ 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 می‌آید. بدین ترتیب تنظیمات نهایی برای R_A عبارتند از:

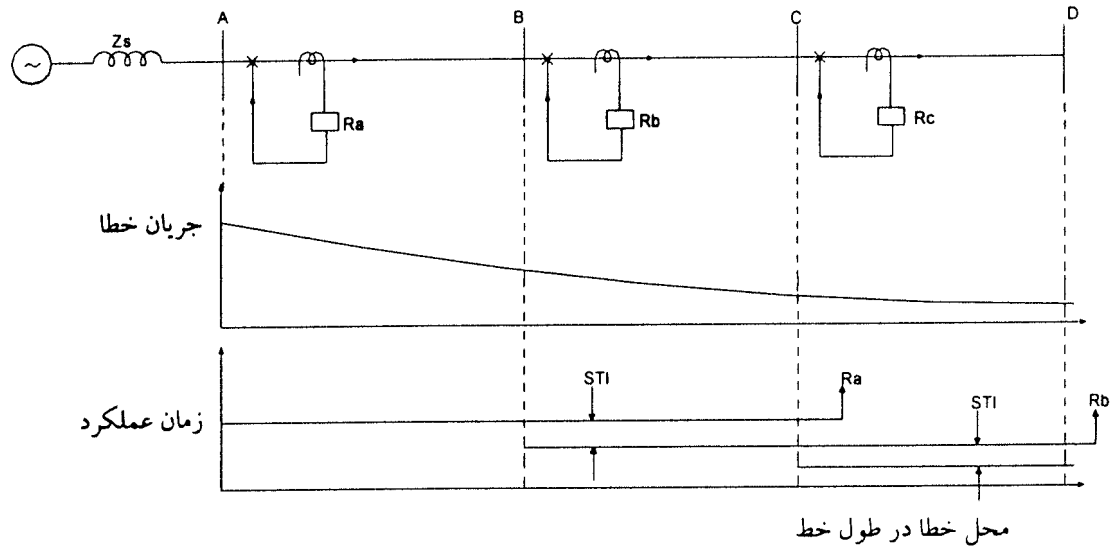
الف : $I_{L_{max}} A < I_{pick-upA} < I_{f\,min\,busC}$

ب : ثانیه ۰/۵ < زمان عملکرد

۵ـ۲ـ رله های جریان زیاد IDMT

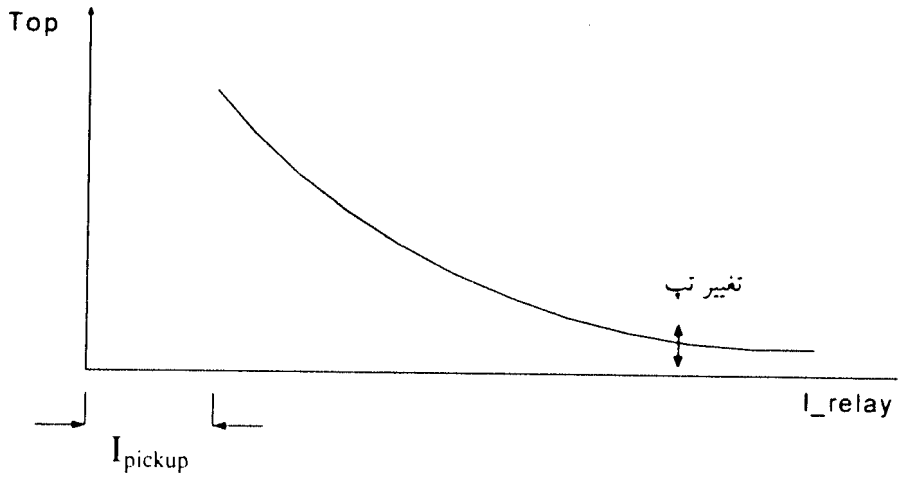
برای سالها رله های DTOC به طور گسترده ای جهت حفاظت خطوط کوتاه به کار رفته اند. در خطوط بلند رله های DTOC دارای این ضعف عمده هستند که با نزدیک شدن رله ها به منبع زمان عملکرد آنها طولانی میگردد. به عبارت دیگر در جایی که جریان خطا حداکثر است برای ایجاد تمایز باید رله ها در بالاترین زمان عمل می‌نمودند. برای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

شکل (٤ـ٥) سه خط شعاعی AB، BC و CD را که از سمت A تغذیه می‌شوند 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.



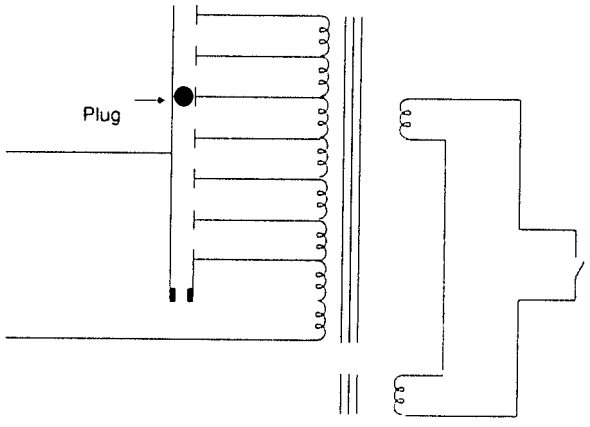
شکل (٤ـ٥) : سه خط شعاعی با رله های DTOC (معایب)

همانگونه که از شکل پیداست با حرکت محل خطا به سمت منبع جریان خطا افزایش یافته ولی زمان عملکرد رله هم زیاد می شود. این بر خلاف 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 رله‌ها با نزدیک شدن خطا به منبع زمان قطع کاهش چشمگیری می‌یابد. رله IDMT یک رله تک ورودی با مشخصه زمان ـ جریان معکوس مطابق شکل (٥ـ٥) است.



شکل (٥ـ٥) : مشخصه زمان ـ جریان یک رله IDMT

به منظور تنظیم جریان، سیم پیچی رله دارای تپ های مختلف می‌باشد وقتی که Plug در مکان اول باشد تمامی سیم پیچی در مدار بوده و لذا بالاترین حساسیت را دارد. لذا شکل (٦٥) رله جریان زیاد IDMT را نشان می دهد که در آن تپ‌های مختلف برای تنظیم جریان مشخص شده‌اند. در مکان هفتم فقط یک چهارم سیم پیچی در مدار بوده و لذا رله ٤ برابر بیشتر جریان برای ارائه همان پاسخ نیاز دارد. تپ اول معمولا برای تنظیم ٥٠٪ مقدار نامی رله به کار می‌رود و از تپ هفتم در ٢٠٠٪=٥٠×٤ استفاده می گردد. مکانهای تنظیم به ترتیب ٥٠٪، ٧٥٪، ١٠٠٪، ١٢٥٪، ١٥٠٪، ١٧٥٪، ٢٠٠٪ می باشند.



شکل (٦٥) : تنظیم جریان در رله های جریان زیاد IDMT

اگر نسبت تبدیل CT برابر ٥٠٠/١ باشد تپ ٥٠٪ برابر ٢٥٠ آمپر اولیه یا ٥٪ آمپر ثانویه به عنوان تنظیم خواهد بود. بهمین ترتیب ٢٠٠٪ به معنای ١٠٠٠آمپراولیه یا ٢ آمپرثانویه 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 ٢٠٠٪ بسته می شود و لذا مسیر جریان CT بسته می‌ماند. زمان روی منحنی عملکرد رله زمانی است که دیسک رله باید ١٨٠درجه 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 رلـه بـه ازای آن در ۱۰ ثانیـه عمـل کنـد آنـگاه بـا تنظیـم فاصلـه کنتاکت ثابت و متحرک می توان کاری کرد که دیسک نصف راه را بپیماید 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 ۳ sec=۱۰ sec×۳۰٪ خواهد شد.

رله های استاندارد دارای مشخصه ای بصورت :

$$t = \frac{3}{\log(P.S.M)} \qquad (۱_۵)$$

هستند. در این رابطه P.S.M ضریب تنظیم زمان است. این به معنای آن است که با ۲برابر جریان نامی عملکرد t=۱۰ sec و با ۱۰ برابر جریان تنظیم زمان عملکرد t=۳sec خواهد بود.

ضریب تنظیم زمان (TMS) از ۰/۰۵ تا ۱ می باشد. در رابطه (۵ـ۱) .P.S.M عبارتست از:

$$P.S.M. = \frac{I_{fault}}{I_{set}} \qquad (۲_۵)$$

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

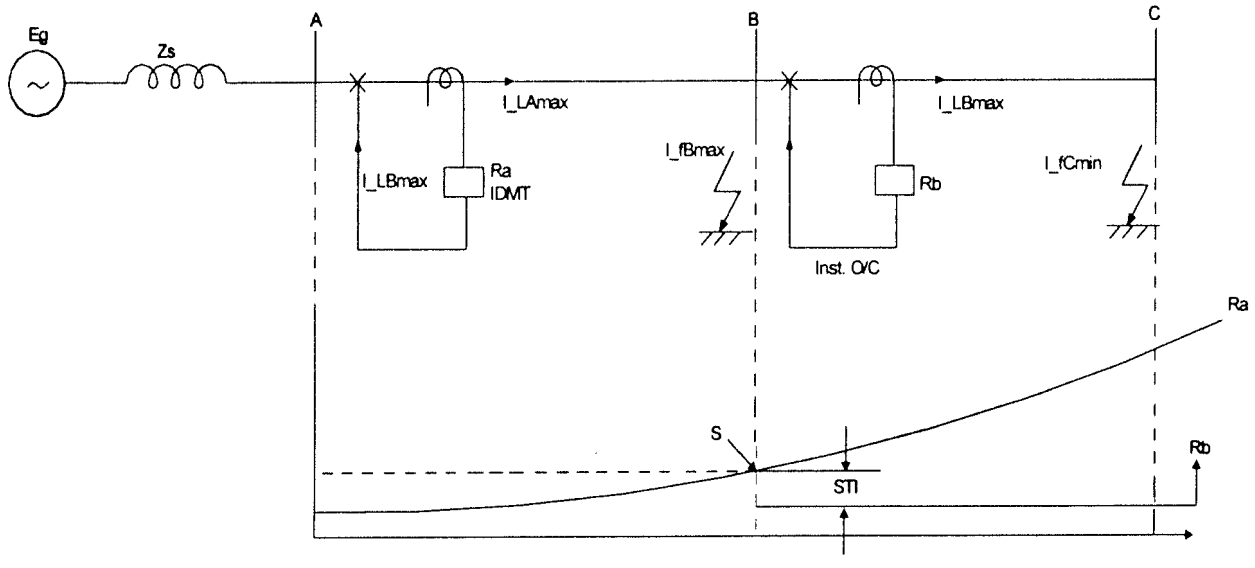
۵ـ۳ـ تنظیم رله های جریان زیاد:

شکل (۵ـ۷) 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 بـرای حفـاظت خـط BC جریـان زیـاد آنـی 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 زمـانی تمـایز مسـاوی زمـان عملکرد کلید قدرت B به علاوه زمان جهش (Over Shoot) برای رله R_A خواهد بود.

در شکل ۵ـ۷ زمان رله IDMT بر حسب محل خطا در طول خط همراه با تمایز حاصل شده بر اثر خطـا روی بـاس B نشـان داده شده است.



شکل (۵ـ۷) : نحوه تنظیم رله های جریان زیاد

اگر رله R_A، DTOC بود زمان عملکرد آن مطابق نقطه چین می گردید. شایان ذکر است کـه هـر دو مشـخصه بـاید از نقطـه S عبور کنند تا تمایز بین دو رله حفظ شود. نتایج زیر از این مورد حاصل می گردد:

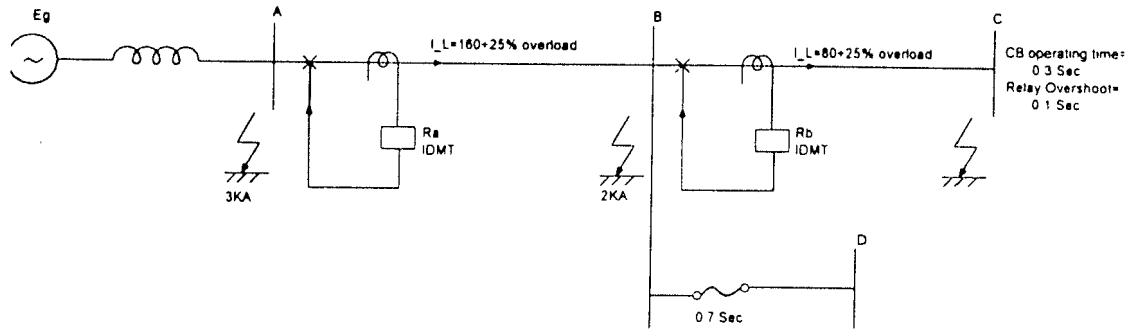
الف) رله IDMT حفاظت اصلی سریعتری نسبت به رله DTOC برای خط فراهم می‌سازد.

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 حـالات دیـگر تضمین گردد.

ج) رله های (IDMT یا DTOC) در نقطه A نباید به ازای جریان بار حداکـثر عمـل کننـد تـا بدیـن ترتیـب در هنـگام عبـور جریان بار عملکرد غلط نداشته باشند.

د) رله های (IDMT یا DTOC) باید در نقطه A به ازای حداقل جریان خطا روی بـاس C تحریـک شـوند تـا بدیـن ترتیـب پشتیبانی کافی وجود داشته باشد.

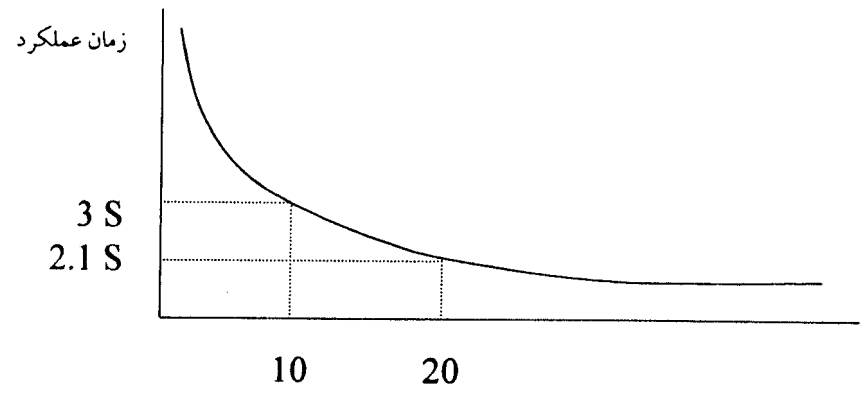
مثال : شبکه شکل (۸ـ۵) را در نظر بگیرید



شکل (۸ـ۵)

خط AB دارای جریان ۱۶۰A با امکان ۲۵٪ اضافه بار می باشد. از باس B دو خط خروجی BC و BD وجود دارند. بـار خـط BC برابر ۸۰آمپر با امکان ۲۵٪ اضافه بار اسـت. خـط CD توسـط فیـوز محـافظت مـی گردد و زمـان عملکـرد آن بـرای خطـای بلافاصله پس از آن ۰/۷ ثانیه می باشد. سطوح جریان خطای سه فاز در باس A برابر ۳۰۰۰آمپر و در باس B برابر ۲۰۰۰آمپر 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.=۱ در شکل زیر نشاان داده شده است. T.M.S. که در وقاقع فاصله بیـن کنتـاکت ثـابت و متحرک را مشخص می نماید از ۰/۱ تا ۱ قابل تغییر می باشد. تنظیم جریان از طریق انتخاب تپ سیم پیچی صورت می‌گیرد بنابراین تنظیم جریان در مقادیر معینی و به شکل پله‌ای 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 کـه بـه معنـای آن است که رله می تواند به صورت دائمی . بدون صدمه جریان ۱A را عبور دهد. به این جریان حد حرارتی سیم‌پیچی جریان رلـه نیز می‌گویند. سیم‌پیچی رله طوری طراحی می‌گردد که برای مدت کوتاهی بتواند ۲۰ برابر این جریان را عبور دهد کـه بـه آن حـد جریان کوتاه مدت می‌گویند. برای این مثال نسبت تبدیل CTها، تنظیم جریان و زمان رله ها را پیدا کنید.

R_B برای CTها = نسبت تبدیل $= \frac{80 + 0.25 \times 80}{1} = \frac{100}{1}$

R_A برای CTها = نسبت 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 ۲۰۰۰A خطـا روی بـاس B بیـن R_A و فیـوز و نـیز R_B هماهنگی وجود داشته باشد.

برای R_B تنظیم جریان ۱/۰ آمپر (Plugsetting) و ۰/۱= .T.M.S در نظر گرفته می‌شود تنظیم زمان بـه دلیـل آنکـه R_B از رله دیگری پشتیبانی نمی‌کند سریعترین مقدار منظور گردیده و تنظیم جریان با توجه به بار انتخاب شده است.

زمان عملکرد R_B برای جریان ۲۰۰۰A برابر است با :

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

بر اساس منحنی مشخصه عملکرد برای PSM=۲۰ و T.S.M=۱ برابر است با ۲/۱sec . چون .T.S.M رله RB برابر ۰/۱ خواهد بود. لذا زمان عملکرد ۰/۲۱sec=(۲/۱sec)(۰/۱) خواهد شد.

زمان تداوم خطا برابر ۰/۲۱sec به اضافه ۰/٤sec زمان بازشدن کلید قدرت یا ۰/٦۱sec می‌باشد. چـون رلـه R_A و R_B بـاید بـا 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 RA تنظیم جریان Plug Setting=1انتخاب می‌شـود. کـه بـا جریـان بـار مشـکلی نخواهد داشت. زمان عملکرد باید از زمان عملکرد فیوز برای جریان خطای ۲۰۰۰A بزرگتر باشد.

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

زمان عملکرد R_A در PSM=۱۰ و TMS=۱ برابر ۳ ثانیه است. بنابراین :

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

به طور خلاصه تنظیم ها عبارتند از :

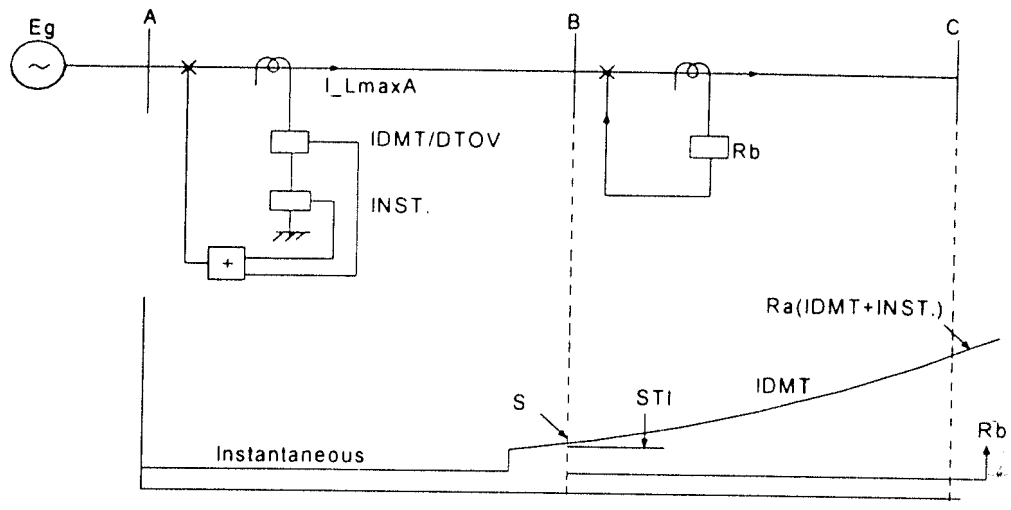
R_B: P.S.=1.0 , T.M.S.=0.10
R_A: P.S.=1.0 , T.M.S=0.233

۵ـ٤ـ 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 گرفـت. ایـن 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 فورا (بدون تأخیرعمدی) 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 ۵ـ۸ 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 می‌باشند 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 (۵ـ۸) : 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.

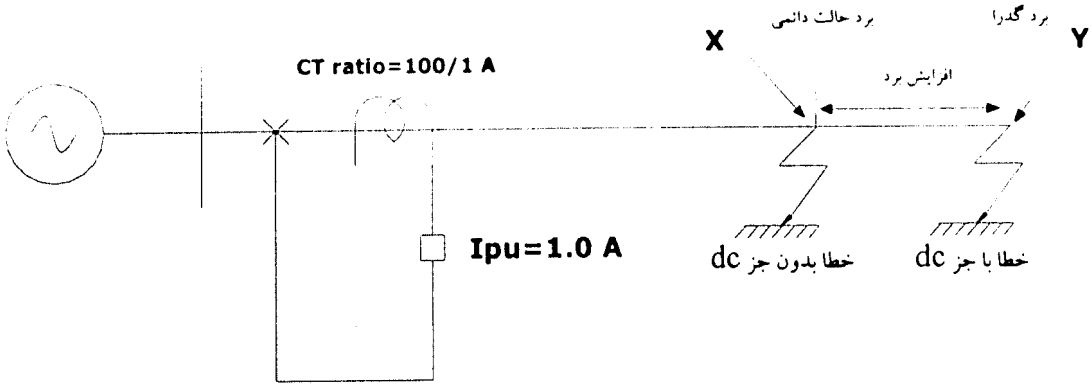
بنابراین موارد زیر قابل توجه است:

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. سئوال بعدی آن است که چرا رله جریان زیاد آنی باید فقط در ۸۰ تا ۹۰٪ تنظیم شود. اساسا ۱۰ تا ۲۰٪ باقیمانده برای افزایش برد رله در حالت گذرا در رله آنی است. اگر رله افزایش برد یابد آنگاه در خطاهای گذرا مثلا نقطه × هماهنگی حفاظتی از بین می‌رود.

۵ـ۴ـ۱ـ افزایش برد گذرا

شکل (۵ـ۹) 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 ۱۰۰/۱A است. خطایی در نقطه X در هنگام حداکثر مقدار موج ولتاژ رخ می‌دهد. یعنی موج جریان سینوسی خالص بوده و در آن جزء dc موجود نیست مقدار عملکرد رله جریان برابر ۱/۰A است. رله جریان زیاد تحت جریان خطای دائمی به نقطه X می‌رسد.



شکل (۵ـ۹) : 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}=۸۰A و I_{dc}=۶۰A بنابراین :

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

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

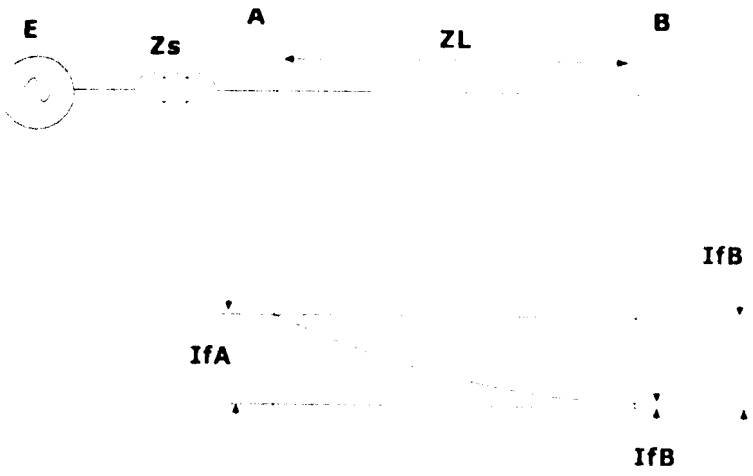
رله جریان زیاد اکنون عمل خواهد کرد. در این حالت گویند رله X به Y افزایش برد یافته است.

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

تمامی رله های با سرعت زیاد به وسیله جزء dc جریان خطا متأثر شده و عموما تمایل به افزایش برد دارند. افزایش برد معمولا 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.

۵ـ۵ـ انتخاب بین رله DTOC و IDMT

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 ۵ـ۱۰)



$$I_{fA} = E/Z_S$$
$$I_{fB} = E/(Z_S + Z_L)$$
$$S.I.R = Z_S/Z_L$$

شکل (۵ـ۱۰) : انتخاب بین DTOC و IDMT

در شکل (۵ـ۱٤) جریانهای خطا برای خطای روی باس A (ابتدای خط) و برای خطای روی باس B (انتهای خط) عبارتند از:

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

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

اکنون نسبت امپدانس شبکه System Impedance Ratio (SIR) 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 عمده‌ای 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 ارزانتر DTOC ترجیح داده می‌شوند. 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 می‌دهد. به طور کلی روش متداول آن است که :

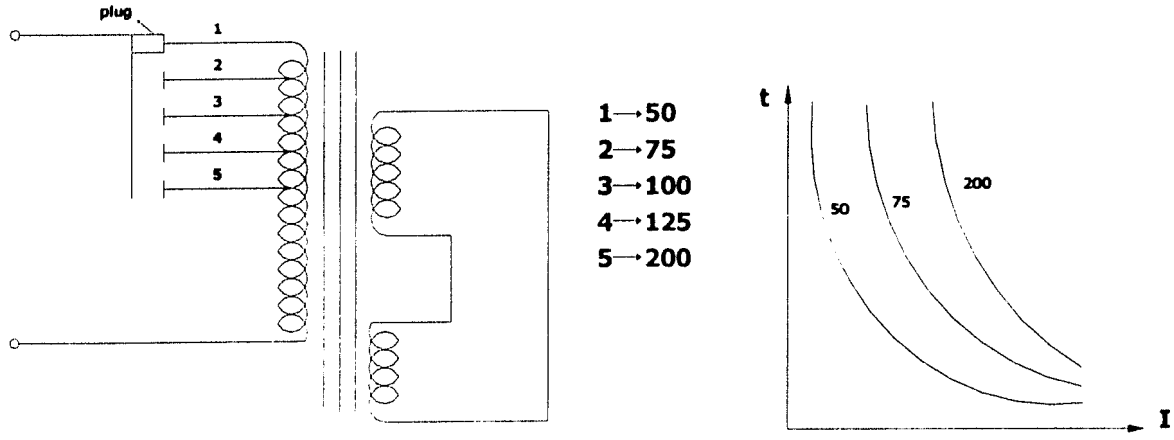
برای خطوط کوتاه (بزرگ = SIR = Z_S/Z_L) ، DTOC ترجیح داده می شود.

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

در عمل برای SIR<۲/۰ رله DTOC و برای SIR>۲/۰ 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 ۱/٤ سیم پیچ در مدار است و لذا رله ها ٤ برابر جریان بیشتر برای ارائه همان پاسخ نیاز دارد. تپ اول برای تنظیمی ۵۰٪ مقدار نامی رله بکار می رود و لذا تپ هفتم ٪۲۰۰=٪۵۰×٤ خواهد بود. اگر نسبت C.T. برابر ۵۰۰/۱ باشد آنگاه تپ ۵۰٪ برابر ۲۵۰A اولیه و یا ۰/۵A ثانویه برای شروع عملکرد رله خواهد بود. به همین ترتیب تپ ۲۰۰٪ به معنای ۱۰۰۰A اولیه یا ۲A ثانویه برای شروع عملکرد رله خواهد بود.

جریان Pick-Up : حداقل جریان عبوری از رله که باعث حرکت دیسک می‌شود. توضیح : در مثال فوق این جریان در حالت اول ۰/۵A می باشد و بهمین ترتیب در حالت تپ ٪۲۰۰ برابر ۱۰۰۰A آمپر اولیه و ۲A ثانویه برای شروع عملکرد می‌باشد.
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 (۵ـ۱۵)

تنظیم زمانی رله های جریان زیاد :

زمان ذکر شده روی منحنی های عملکرد رله معمولا زمانی است که دیسک باید ۱۸۰ درجه را طی کند. به عنوان مثال اگر هنگامی که دو برابر مقدار تنظیمی از رله جریان عبور کند و رله در ۱۰ ثانیه عمل نماید با قراردادن ضریب تنظیم زمان در ۵۰٪ زمان عملکرد ۵۰ ثانیه کاهش خواهد یافت.

$t=(T.M.S.)\times t_1$ زمان عملکرد واقعی رله

t_1 : زمان طی مسافت ۱۸۰ درجه توسط دیسک

رله های استاندارد دارای مشخصه ای بصورت $t_1 = \frac{3}{\log M}$ می باشند.

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

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

نحوه تنظیم رله جریان زیاد :

زمان مورد نظر را با T.M.S. و جریان مورد نظر را بوسیله Plug Setting تنظیم می کنیم. طبق استاندارد BS۱۴۲ رله جریان زیاد باید به طور قطع در ۷۰٪ مقدار تنظیم شده reset شده و در ۱۳۰٪ مقدار تنظیمی قطعا عمل کند رله های جدید دارای X مقدار reset در ۹۰٪ بوده و عملکرد قطعی آنها در ۱۱۰٪ می باشد.

دو نکته :

۱ـ لازم است در شرایط بار کامل رله در وضعیت reset باشد.

۲ـ در هنگام اضافه بار موقت نباید رله عمل کند به عبارت دیگر جریان اضافه بار نباید از ۱/۱ تنظیم تجاوز نماید. $I_{over-load}$

$I_{full-load}<0.9I_{set\ \ load}<1.1I_{set}$

نکته : دو شرط فوق مربوط به تنظیم رله از دیدگاه جریان آن می باشند.

تنظیم زمان رله (T.M.S.) :

معمولا بین عملکرد رله اصلی و پشتیبان حداقل زمانی حدود ۰/٤ ثانیه مورد نظر است. برای تمایز بین عملکرد دو رله ٤ عامل مؤثر است:

الف : معمولا ۰/۱ثانیه تخلف از منحنی های عملکرد رله ها مجاز است.

ب : معمولا ۰/۰۵ثانیه برای Overshoot حرکت رله در نظر می گیرند.

ج: معمولا ۰/۱ ثانیه لازم است تا رله رو به جلو حرکت کند و آنگاه فرمان قطع صادر گردد.

د: زمان بازشدن کلیدقدرت را حدود ۰/۱۵ ثانیه در نظر می گیرند.

تمرین : فرض کنید نسبت تبدیل C.T. برابر ۸۰۰/۵ باشد. جریان حداکثر بارعادی ($I_{full-load}$) ۷۷۰A باشد و حداکثر جریان خطای آن ۱۰۰۰A باشد. جریان اضافه بار برابر ۹۲۰A است. ($I_{full-load}$) فرض کنید می خواهیم جریان حداکثر خطا در ۰/۵ ثانیه قطع شود. تنظیم جریان و زمان رله جریان زیاد را بدست آورید؟

حل :

الف : تنظیم جریان رله :

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

$$I_{set} = \frac{I_{full-load}}{0.9 \times 800} \times 100\%$$

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

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

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

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

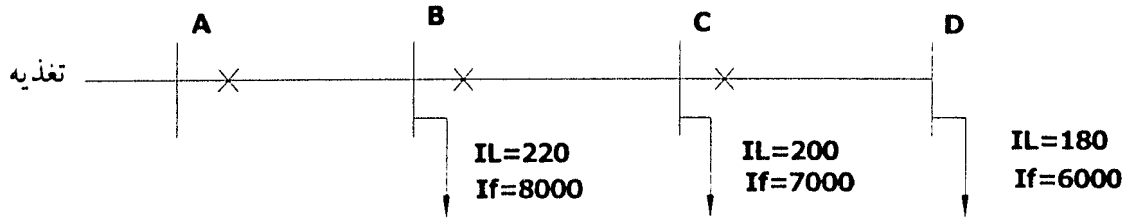
ب : تنظیم زمانی رله : $t = (T.M.S.) \times t_1 \qquad t_1 = \frac{3}{\log M} \qquad M = I$

t زمان عملکرد t_1 : زمان عملکرد رله در صورت پیمودن ۱۸۰ درجه توسط دیسک

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

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

تمرین : شکل زیر یک شبکه توزیع شعاعی را که از طریق ایستگاه A تغذیه می‌شود نشان می دهد. در ایستگاه D موتوری وجود دارد که ۱۵KW بوده و در هنگام راه‌اندازی به مدت ۵ ثانیه ٦ برابر جریان دائمی خود را که ۲۸A است از شبکه دریافت می نماید. 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=۱۸۰A جریان بار کامل CTRatio : ۲۵۰/۱

$I_{overload}$= ۱۸۰+(٦×۲۸)-۲۸ = ۳۲۰A = I_T جریان اضافه بار

نکته : علت کم کردن یک عدد ۲۸ در محاسبه جریان اضافه بار آن است که ۲۸A جریان معمولی در ۱۸۰A لحاظ شده .

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

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

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

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

نکته: ۰/۳ 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 می نمائیم.

I_{fmax} =۷۰۰۰A باید ببینیم که C این جریان را در چه زمانی قطع می کند.

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

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

CT ration =۵۰۰/۱

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

I_L=200+180=380A I_T=200+320=520 A

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

I_{set}=100%=500A

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

زمان عملکرد رله B برای I_{fmax} وحرکت کامل دیسک $t_1 = \frac{3}{\log 14} = 2.6\,\text{sec}$ $M = \frac{7000}{500} = 14$

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

تنظیم رله A :

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

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

$$\Rightarrow \quad I_{set} = 100\% = 800A \qquad I_{f\max} = 800A$$

$t = 0.27 \times \frac{3}{\log \frac{800}{500}} = 0.67\,\text{sec}$ زمان عملکرد رله B برای I_{fmax}

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

زمان عملکرد رله A به ازای Ifmax و حرکت کامل دیسک $(T.M.S.)_A = \frac{1.07}{3} = 0.36$

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

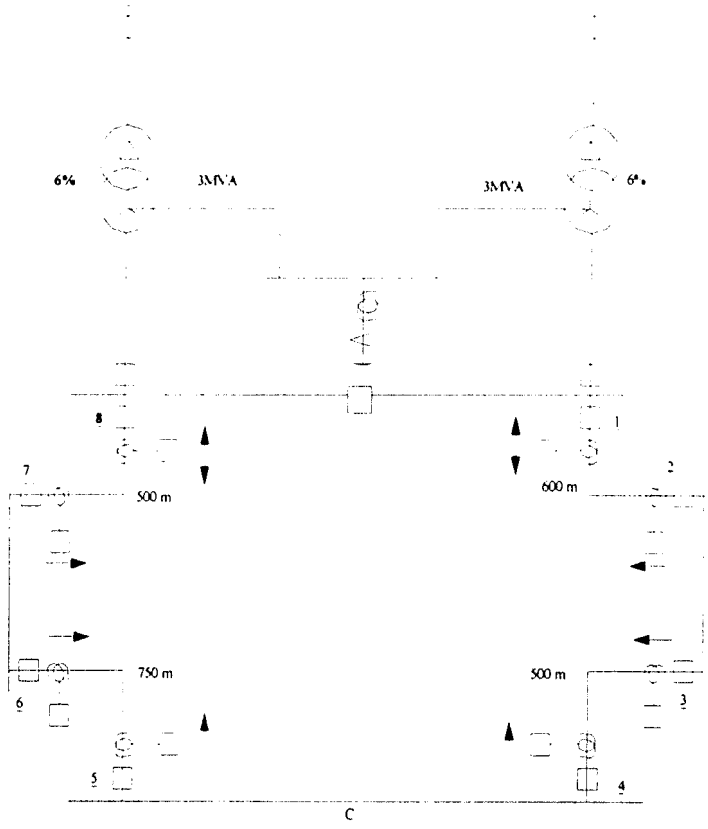
هماهنگی و تنظیم رله های جریان زیاد در شبکه ها حلقوی با یک منبع تولید:

در دو جهت این شبکه را بررسی می نماییم 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 نماییم.

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



حل : در این مثال موارد زیر باید بررسی شود :

الف ـ لزوم هماهنگی رله ها در شرایط باز بودن کلیدهای ۱ و۸

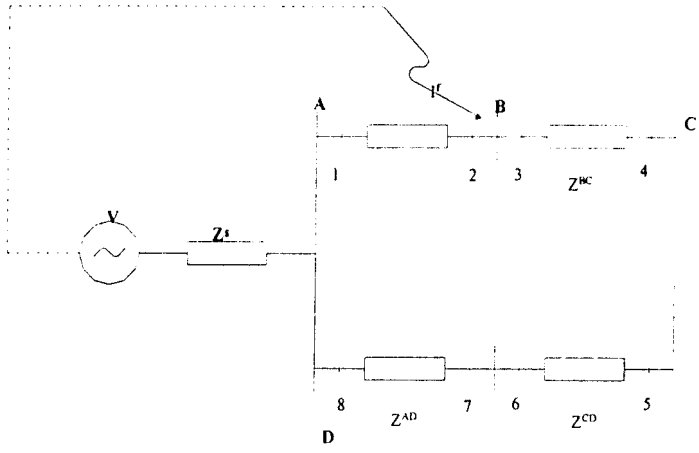
ب ـ محاسبه جریان های اتصال کوتاه برای خطا در شین های D,C,B

ج ـ هماهنگ نمودن رله های جریان زیاد

د ـ 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 حقله در نقطه ۱ بررسی می نماییم . جریان اتصال کوتاه در کدام حالت بیشتر است.)

۱ـ شرایط بسته بودن



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

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 ونظایر 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 نا متعادل سه فاز استاتور

ج) حفاظتهای جانبی

۱-حفاظت در برابر ولتاژ زیاد

۲-حفاظت در برابر سرعت زیاد

۳-حفاظت در برابر موتوری شدن

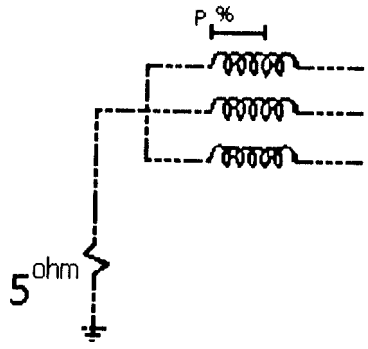
٤-حفاظت در برابر لرزش

مثال :یک ژنراتور MVA ۱۰۰ و KV ۱۱ 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.

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

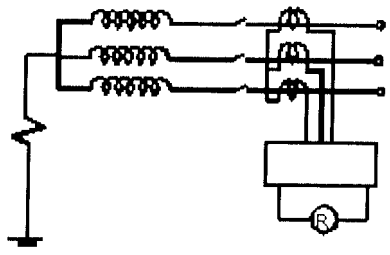
$$\left[\frac{P}{100} * \frac{11000}{\sqrt{3} * 5}\right] \rangle 1 * \frac{1000}{5}$$

$$P \rangle 15.75$$



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

مثال: یک ژنراتور ۱۱KV، ۱۰۰MVA 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 راکه باید در نقطه صفر با زمین قرار دارد بدست آورد.



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

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

P=100-85=15٪

جریان خطا در هنگام اتصال کوتاه تکفاز

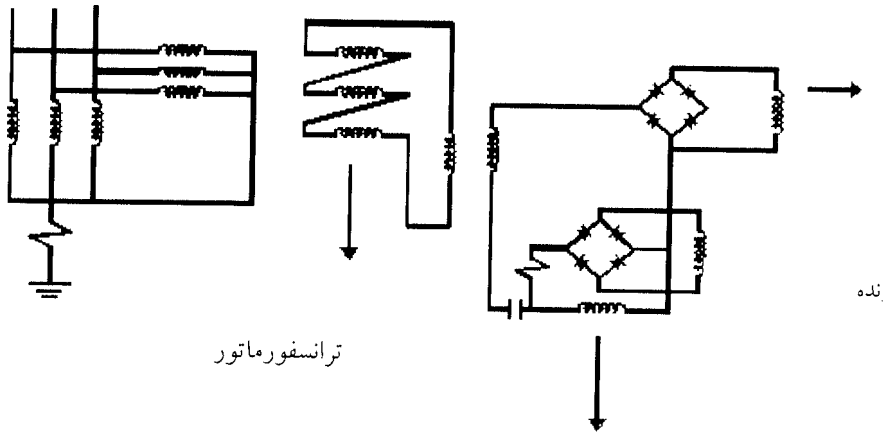
$$I=\left[\frac{p}{100}*\frac{11*10^{3}}{\sqrt{3}*Rn}\right]=1049.759$$

Rn=.91

حفاظت در مقابل اتصال حلقه(inter turn)

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

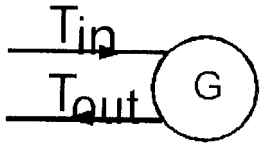
□



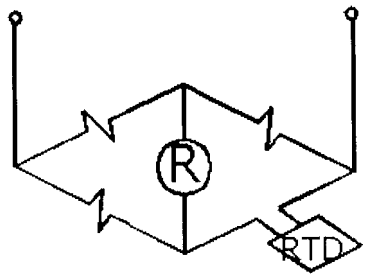
□□□ فیلتر هارمونیک سوم

حفاظت در مقابل گرم شدن استاتور

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

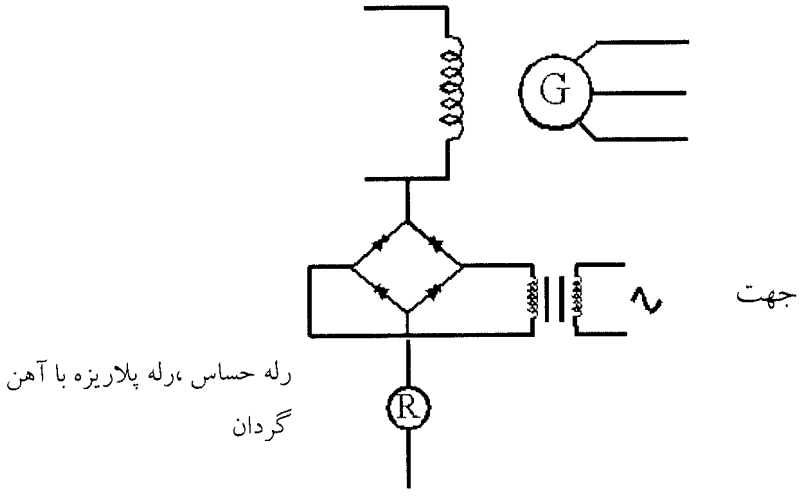


ویا نقص عایق سیم پیچ های هسته باشد. یک روش نظارت بر درجه حرارت ورودی و خروجی ماده خنک کننده می باشد. در روش دیگر حسگرهای درجه حرارت در کف شیارهای استاتور قرار داده می شود.



حفاظت روتور

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



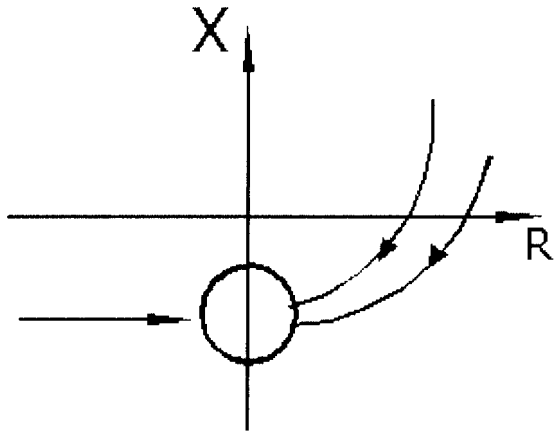
اتصال کوتاه شده ولذا جریان عبوری از مابقی سیم پیچی افزایش می یابد. این موضوع سبب عدم تعادل در شارهای فاصله هوایی گردیده و لذا یک عدم تعادل در نیروهای مغناطیسی دو سر روتور ایجاد می شود. عدم تعادل در نیروهای مغناطیسی سبب می شود که محور روتور خارج از مرکز قرار گیرد و سبب لرزش شدید شود. و در این جا از رله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

حفاظت قطع تحریک

وقتی تحریک ژنراتور قطع میشود سرعت آن اندکی افزایش یافته و ژنراتور بصورت القایی کار می کند . ژنراتور های 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 ویا امپدانسی 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 نا متعادل استاتور

مولفه ترتیب منفی جریانهای نا متعادل 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 نا متقارن در استاتور

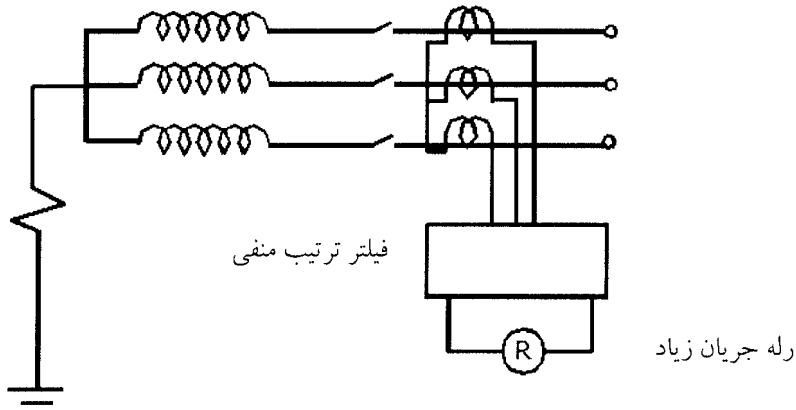
ب) رخداد خطای نا متقارن خارجی در شبکه که سریعاً پاک نشود.

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 ژنراتور های قطب برجسته $k=60$ برای ژنراتور های 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

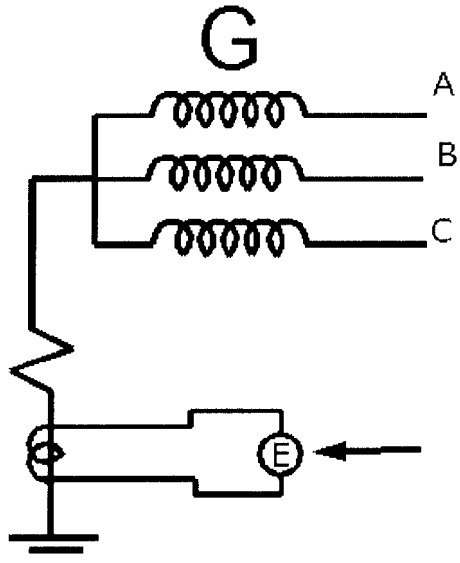
کـه ولـتاژ زیـاد خطـرناک تولید شود میان بر (BY-PASS) نمود. در واحدهای بخاری تنظیم کننده خودکار ولتاژ قادر است ولتاژ زیاد متناسب با سرعت زیاد را کنترل نماید. در واحدهای آبی نمی توان جریان آب را سریعاً متوقف و یا منحرف نمود و لذا سرعت زیـاد رخ خواهد داد. بنابراین در واحدهای آبی از رله های ولتاژ زیاد استفاده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

ب) حفاظت در مقابل موتوری شدن

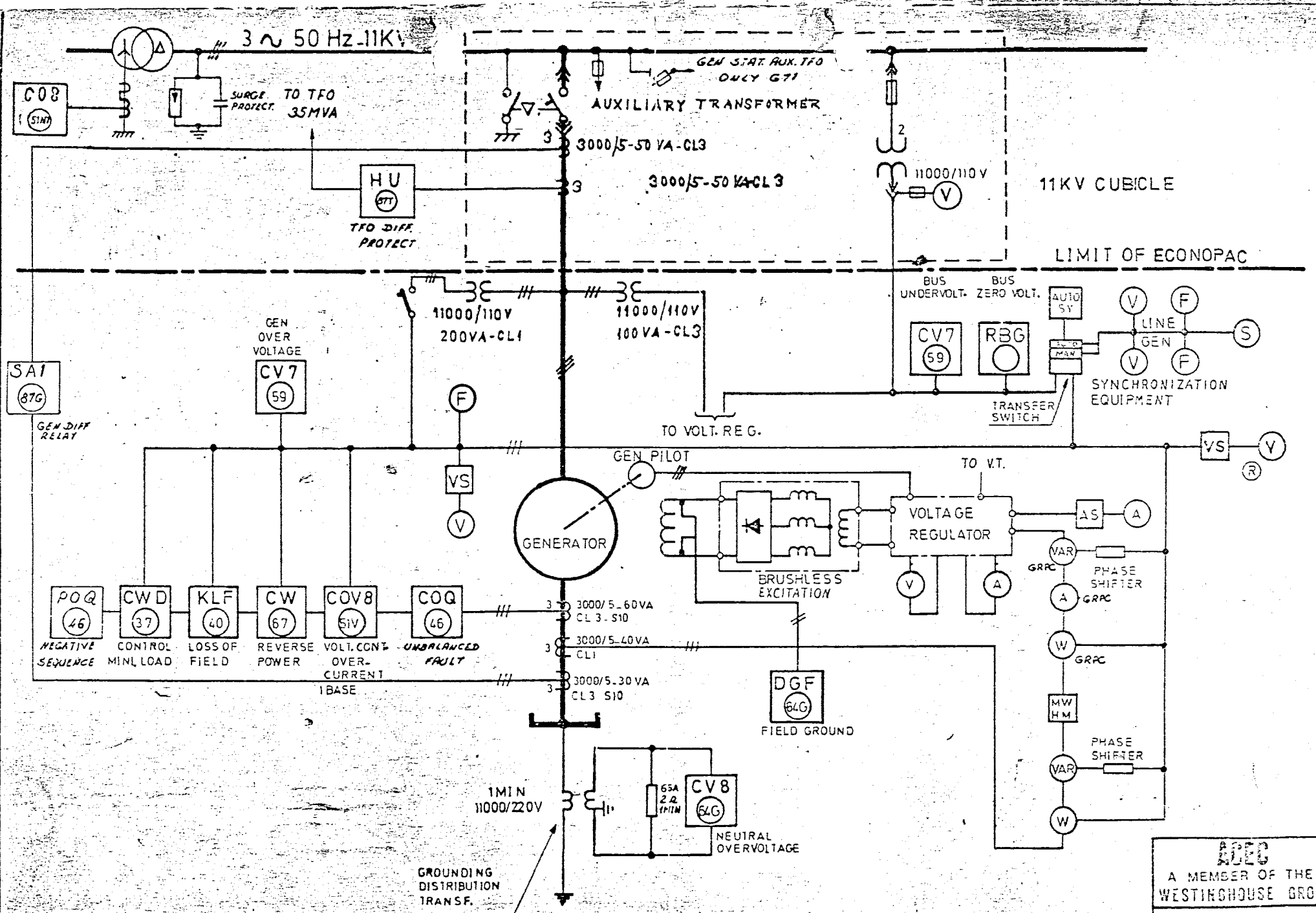
وقتـی کـه تغذیـه بخـار توربیـن قطع می شود، ژنراتور به صورت موتور در می آید. توربین بخار به دلیل عدم عبور بخار کافـی از لابـه لای پـره هـای آن گـرم می شود. بنابراین از یک رله حفاظتی برای محافظت از توربین در چنین شرایطی استفاده می شود. معمولاً رله در هنگامی که توان خروجی کمتر از ۳٪ می گردد عمل می کند. 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

معمـولا از رلـه هـای جـریان زیـاد بعـنوان پشتیبان استفاده میشود ولی در ژنراتورهای واحدهای بخاری امپدانس سنکرون بیشـتر از ۱۰۰درصـد بـوده و لـذا جـریان خطا کمتر از جریان نامی بار میشود.بنابراین،رله های استاندارد جریان زیاد نمیتوانند بعنوان پشـتیبان بکـار رونـد. رلـه جـریان زیـاد بـا کنـترل ولـتاژ برای چنین مقصودی مناسب است.گزینه بهتر اسـتفاده از رله های دیستانس راکتانسـی یـا امپدانسـی میباشـد. حفاظـت پشـتیبان دیگری که استفاده میشود استفاده از یک رله اتصال زمین با زمان عملکرد زیاد است.چون چه خطا در داخل ژنراتور وچه بیرون باشد عمل میکند:



رله با زمان عملکرد



SINGLE LINE

AEG
A MEMBER OF THE WESTINGHOUSE GROUP

SHEET 02 OF 10

DRAWING NO.
3TG000336

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 معمولا از تجهیزات حفاظتی ساده همانند فیوزاستفاده 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 دیگرعمل نکنند باید بعد از گذشت زمان معینی ترانسفور ماتور 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

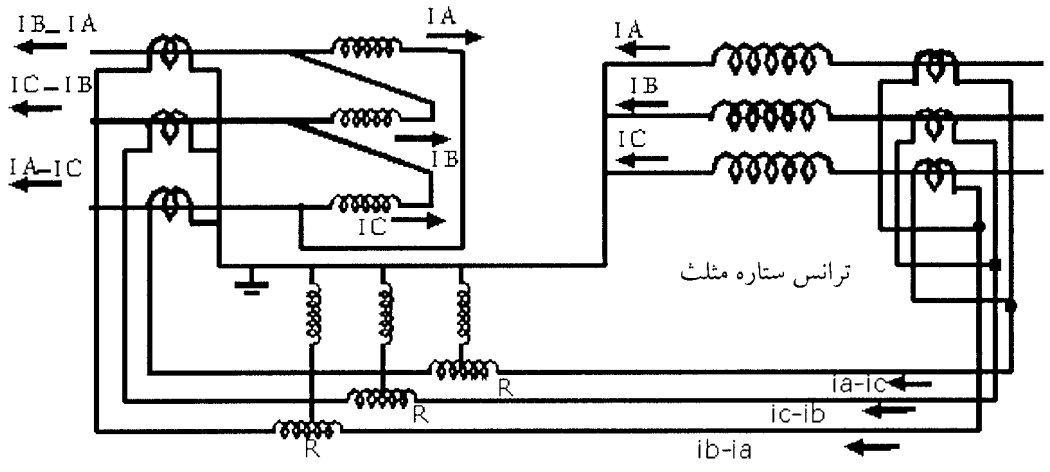
این نوع خطاها بسیار شدید بوده و سبب خسارات آنی می شود. تشخیص این خطاها از طریق افزایش جریانها و عدم تعادل ولتاژها صورت میگیرد این نوع خطاها شامل اتصال کوتاه فاز با زمین ، فاز به فاز و اتصال حلقه هستند.

۲- خطاهای جزئی

این نوع خطاها گرچه جزئی هستند ولی در دراز مدت باعث آسیب ترانس می شوند. چنین خطاهایی از طریق ولتاژ وجریانها 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



نگهدارنده ها

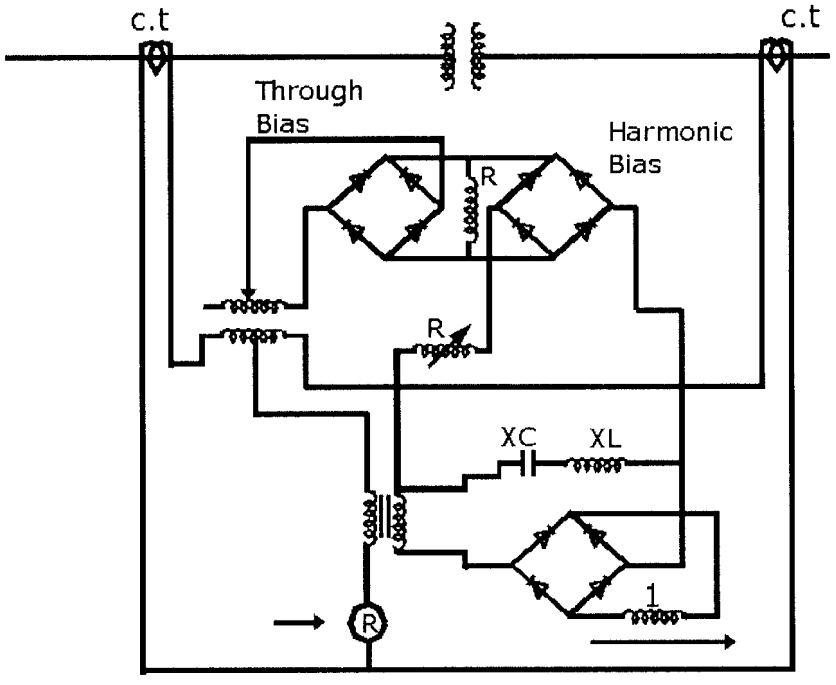
CT های متناظر با اتصال ستاره ترانسفور ماتور قدرت به صورت مثلث و CTهای متناظر با اتصال مثلث ترانسفور ماتورها به صورت ستاره بسته می شود تنظیم رله دیفرانسیل برای حفاظت ترانس بالاتر از ژنراتور قرا رداده می شود. در ژنراتور معمولاً برای سیم پیچ عمل کننده ۱۰٪ و برای نگهدارنده ۵٪ در نظر گرفته می شود. در حالی که مقادیر متناظر در ترانسفورماتور به ترتیب عبارتند از ۴۰٪ و۱۰٪ هستند. دلایل این امر عبارتند از :

الف) ترانسفورماتورها معمولاً مجهز به تپ چنجر زیر بار هستند.نسبت تبدیل CT ها را نمی توان با تغییر تپ ترانسفورماتور 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 ترانسفورماتور بی بار است ،جریان بی باری از رله نمی گذرد. بنابراین تنظیم آن باید از جریان با باری بالاتر باشد.

حفاظت در مقابل جریان هجومی

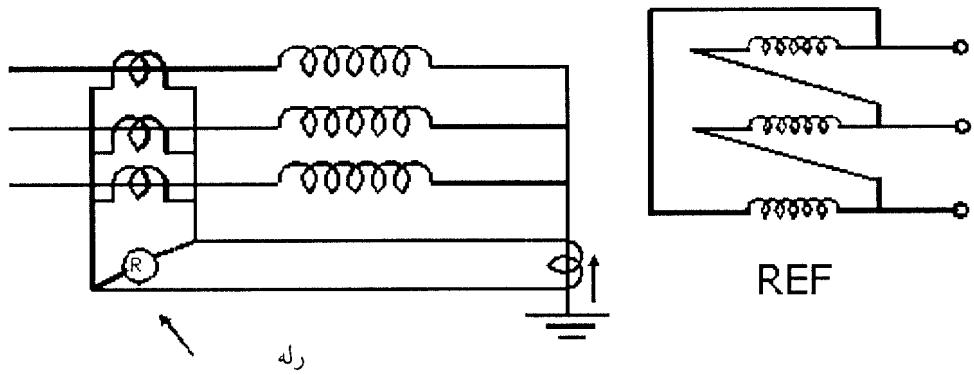
وقتی که ترانسفورماتور برقدار می شود، جریان مغناطیس کنندگی بزرگی که ممکن است چند برابر جریان نامی ترانس باشد از شبکه دریافت می دارد. به این جریان مغناطیس کنندگی اولیه، جریان هجومی گفته میشود. چون جریان هجومی فقط در سیم پیچی اولیه جاری می شود لذا رله دیفرانسیل آنرا به عنوان خطای داخلی می بیند. محتوای هارمونیکی 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 ومضارب آن در خروجی آنها ظاهر نمیشوند.چون آنها در سیم پیچی مثلث ترانس وCT 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.



xl و xc بصورت یک فیلتر هارمونیک دوم عمل میکنند که از جریان جزء هارمونیک را بیرون کشیده وآن 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 hz۱۰۰ است. علت آنکه رله جریان زیاد آنی 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(RISTRICTED 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 ct2 همواره به صورت لایتغیر میماند.

اگر خطا 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 وسیم 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 ۱۰ درصد فلوی زیاد مجاز بوده ولی اگر E/F از ۱,۱ 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 ان پیش افتد تا حداکثر گشتاور عاید شود.*

۸-۳ 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 می‌باشد که به اتصالهای ۳۰درجه 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:

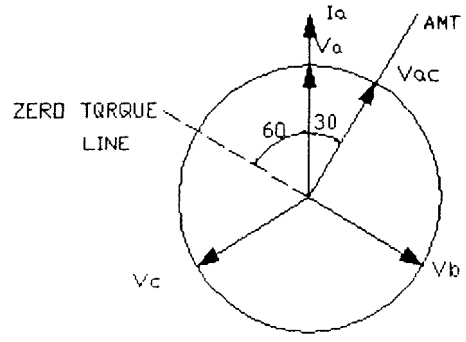
$$\Phi_A:(I_a, V_{ac}) \qquad \Phi_B:(I_b, V_{ba}) \qquad \Phi_C:(I_c, V_{cb})$$

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

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

$$\Phi_A:(I_{ab}, V_{ac}) \qquad \Phi_b:(I_{bc}, V_{ba}) \qquad \Phi_c:(I_{ca}, V_{cb})$$

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 می‌باشد. 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 . عملا 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 وبیش 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. مثلا 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 ثانی اگر سیم پیچی ولتاژ رله در لحظه اتصالی, 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 می‌رود.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 مثلا ما بین T, R ولتاژی که باعث عبور جریان اتصال کوتاه I می شود خیلی کوچک است, در صورتی که ولتاژ دو فازدیگر 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

٤-اتصال ۹۰درجه($^{\circ}$ ٤٥ =AMT)

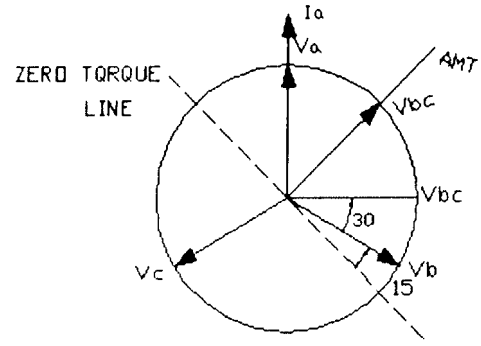
تغذیه رله ها:

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

حداکثر گشتاور: هنگامی که جریان نسبت به ولتاژ فاز به نول، ٤٥ درجه پس فاز است.

زاویه عملکرد: زوایای جریان از ٤٥ درجه پیش فاز تا ۱۳۵درجه 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 مخصوصا برای تضمین عملکرد درست رله ها به هنگام رخ دادن خطا در پشت ترانسفورماتورهای، Yd ضروری است.

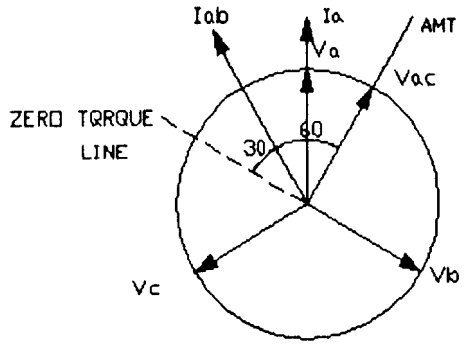


نمودار برداری برای اتصال ۹۰ درجه(AMT=45)

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 ۱۵۰درجه پس فاز ,یا در ضریب توان واحد, I_a از ۳۰درجه پیش فاز تا ۱۵۰درجه 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 برداریبرای اتصال ۶۰ درجه (AMT=0)

۳-اتصال ۹۰درجه($^{\circ}$ ۳۰ =AMT)

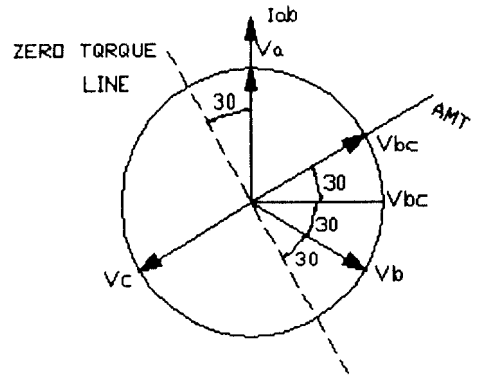
تغذیه رله ها:

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

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

زاویه عملکرد: زوایای جریان از ۳۰درجه پیش فاز تا ۱۵۰درجه 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_{AF1} ، و برابر $(Z_{AB} + Z_{BF_1})$ برای خطا در نقطه F_2 است.

مزیت عمدهٔ 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 می‌باشد. بنابراین، رله دیستانس دارای برد ثابتی بوده و این برخلاف رلهٔ جریان زیاد است که برد آن با شرایط شبکه تغییر می‌نماید.

۱-۹- انواع رله‌های دیستانس

رله‌های دیستانس براساس مشخصات آنها در صفحه R-X ، تعداد سیگنالهای ورودی و روش مقایسه سیگنالهای ورودی دسته‌بندی می‌شوند. در متداول‌ترین 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 می‌باشند. هر نوع مشخصه‌ای که از طریق یک نوع خاص مقایسه‌گر (دامنه یا فاز) بدست آید می‌تواند 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 هنگامیکه $Z_R \geq V/I$ یا هنگامی که $IZ_R \geq V$ گردد، بایستی عمل نماید. همانگونه که از شکل ۲-۹ پیداست، این شرط را می‌توان بوسیله یک مقایسه‌گر دامنه بدست آورد. هنگامی که آمپر دور مدار جریان بزرگتر از آمپر دور مدار ولتاژ باشد، رله عمل می‌کند. با این وجود، تأمین یک مقایسه‌گر دامنه که تحت شرایط

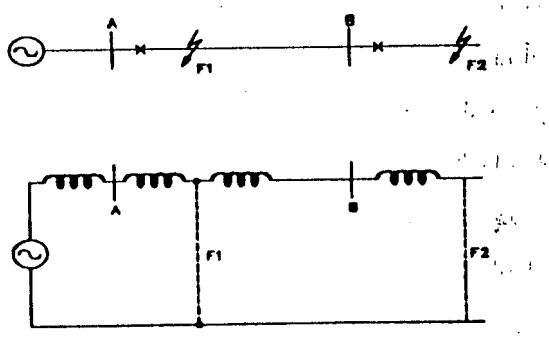
IRNPOWER

فصل نهم

حفاظت دیستانس

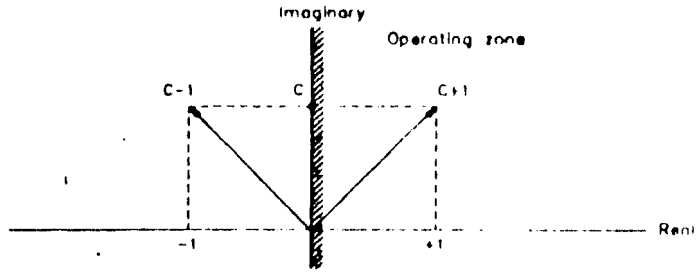
یکی از اصول مهم در حفاظت شبکه‌های قدرت برطرف کردن خطاب ا حداکثر سرعت ممکن است، در غیر اینصورت خطاها می‌توانند منجر به قطع مشترکان، از دست رفتن پایداری شبکه و خسارت به تجهیزات شوند. حفاظت دیستانس از نظر قابلیت اطمینان و سرعت لازم برای حفاظت شبکه از قابلیت کافی برخوردار بوده و به همین دلایل کاربرد وسیعی 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، رلهٔ دیستانس جریان خطا را با ولتاژ محل نصب رله برای تعیین امپدانس بین رله و خطا مقایسه می‌نماید. بعنوان مثال در شکل ۱-۹، رله نصب شده در A از جریان خط و ولتاژ خط برای ارزیابی امپدانس Z=V/I استفاده می‌کند.



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

صفحه سمت راست برقرار می‌شود. این نیم صفحه شامل تمام نقاطی است که در آن θ در رابطه $-90^\circ \le \theta \le +90^\circ$ صدق می‌کند.



شکل ۳-۹- 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 ٤-۹ هنگامی برقرار است که داشته باشیم:

$$-90^\circ \le \alpha - \beta \le +90^\circ \qquad (۹-۵)$$

رابطه بالا نشان می‌دهد که دو سیگنالی که در مقایسه‌گر دامنه بکار می‌روند را می‌توان برای استفاده در مقایسه‌گر فاز تبدیل نمود.

۱-۱-۹- رلهٔ امپدانسی

رله امپدانسی زاویه فاز بین ولتاژ و جریان اعمالی به رله را در نظر نمی‌گیرد و، به همین دلیل، مشخصه عملکرد آن در صفحه R-X بصورت یک دایره با مرکز مبدأ مختصات و شعاعی برابر امپدانس تنظیمی برحسب اهم است. رله برای تمامی مقادیر امپدانس کمتر از تنظیم یا به عبارت دیگر تمامی نقاط داخل دایره عمل می‌کند. بنابراین، اگر Z_R امپدانس تنظیم باشد، لازم

IRNPOWER

خطا بخوبی عمل کند دشوار است. زیرا در هنگام خطا اختلاف فاز بین V و I بـه سـمت ۹۰° میل نموده و همچنین امواج گذرا وجود دارند، بدین ترتیب مقادیر موثر V و I بـرای سـنجش $IZ_R \geq V$ صحیح نخواهند بود. به همین دلایل، استفاده از مقایسه‌گرهای دامنـه محـدود بـوده 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_0 و S_2 که قرار است از نظر دامنه مقایسـه شوند، دو سیگنال دیگر S_1 و S_2 وجود دارند که می‌توان آنها را از نظر فاز مقایسه نمود. رابطـه بین سیگنالها عبارتست از :

$$S_0 = S_1 + S_2$$

$$S_2 = S_1 - S_2 \qquad (9-1)$$

از معادله (۹-۱) داریم

$$S_1 = \frac{S_0 + S_2}{2}$$

$$S_2 = \frac{S_0 - S_2}{2} \qquad (9-2)$$

مقایسه دامنه‌ها بصورت زیر خواهد بود :

$$|S_0| \geq |S_2|$$

$$|S_1 + S_2| \geq |S_1 - S_2| \qquad (9-3)$$

با تعریف $S_1 / S_2 = C = |C| < \theta$ رابطه (۹-۳) بصورت زیر درمی‌آید:

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

با رسم C در صفحه R-X مطابق شکل ۹-۳ ، مشاهده می‌گردد کـه شـرط ۹-٤ در نیـم

IRNPOWER

است رله هنگامی که $Z_R \geq V/I$ ، یا $IZ_R \geq V$ عمل نماید. برای آنکه رله امپدانسی بصورت یک مقایسه‌گر فاز عمل کند، بایستی سیگنالهای زیر به S_0 و S_2 اختصاص یابند:

$$S_0 = I Z_R$$

$$S_2 = K V \qquad (9-6)$$

ثابت K نسبت تبدیل CT و VTها را ملحوظ می‌دارد. سیگنالهای متناظر برای مقایسه‌گر فاز عبارتند از :

$$S_1 = KV + IZ_R$$

$$S_2 = -KV + IZ_R \qquad (9-7)$$

اگر رابطه ۹-۷ را بر KI تقسیم گردد، آنگاه

$$S_1 = Z + Z_R / K$$

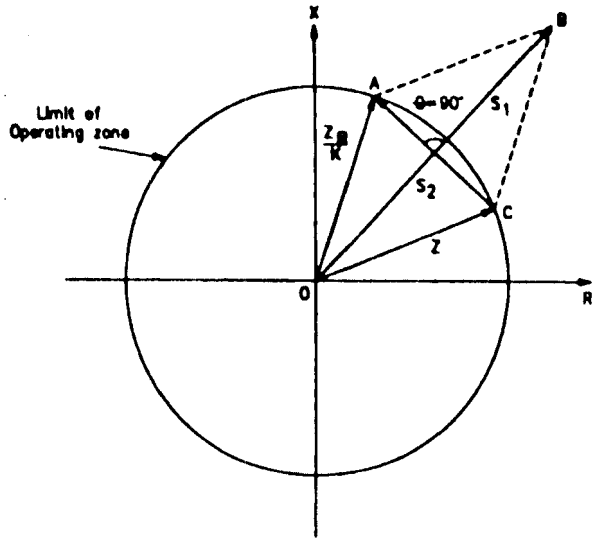
$$S_2 = -Z + Z_R / K \qquad (9-8)$$

که در آن $Z=V/I$ می‌باشد.

شایان ذکر است که مقادیر سیگنالهای S_1 و S_2 پس از تقسیم بر KI تغییر نموده‌اند. با این وجود، این موضوع اهمیتی ندارد چون مقصود اصلی حفظ اختلاف فاز بین آنهاست. باید توجه داشت که رسم S_1 و S_2 در مقیاسهای مختلف تاثیری در ارتباط فازی بین دو سیگنال ندارد.

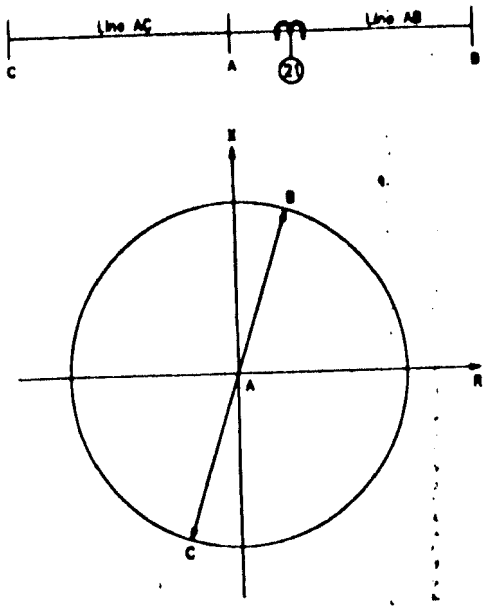
با رسم Z_R/K و معادله ۸-۹ در صفحه R-X ، مشخصه کاری رله بوسیله مکان Z معین می‌شود به قسمی که θ ، زاویه فاز بین S_1 و S_2 در رابطه $-90^\circ \leq \theta \leq +90^\circ$ صدق می‌نماید. این

موضوع در شکل ٤-٩ نشان داده شده است. معادله ٨-٩ 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 ٩٠° 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 ٤-٩- مشخصات کاری یک رله امپدانسی بدست آمده با مقایسه‌گر فاز

اگر $Z<Z_R/K$ ، شرایط مطابق شکل ٥-٩ حاصل می‌شود. در اینصورت θ کمتر از ٩٠° بوده و در نتیجه بردار Z در داخل ناحیه عملکرد رله قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، اگر $Z>Z_R/K$ ، آنگاه مطابق شکل ٦-٩ زاویه θ بزرگتر ٩٠° 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 $\overline{AB}$ (مطابق شکل ٧-٩) 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

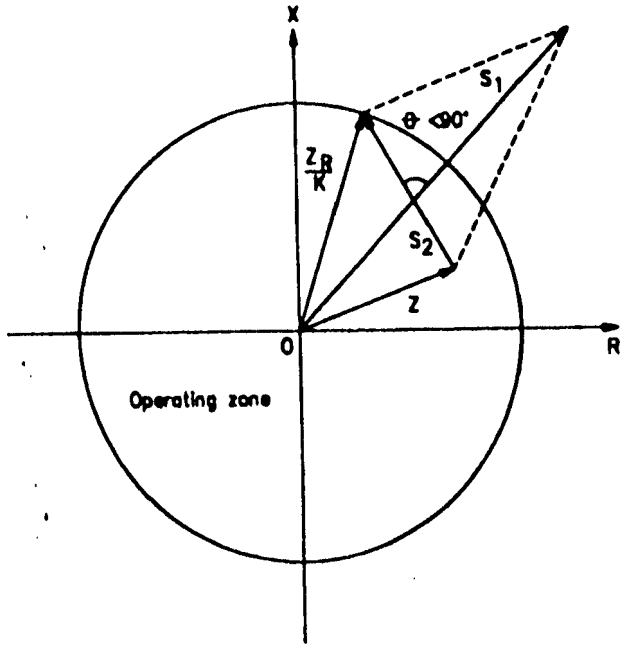
رله امپدانسی دارای سه عیب عمده است :

۱) جهت‌دار نیست؛ خطاهای مقابل و پشت‌سر خود را می‌بیند و لذا نیاز به عنصر جهت‌دار برای تشخیص درست است. این مورد با اضافه کردن یک رله جهت‌دار مستقل برای جلوگیری از عملکرد رله دیستانس در هنگامی که جهت توان به سمت خارج از ناحیه تحت حفاظت در موقع بروز خطا حاصل می‌گردد.

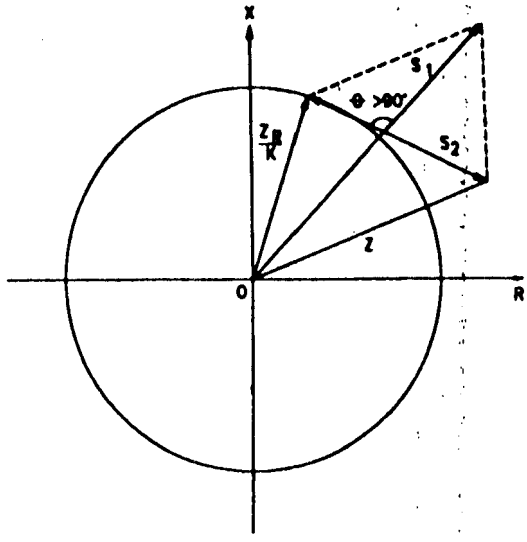
۲) رله امپدانسی از مقاومت قوس متأثر می‌گردد.

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 خـط پشت‌سر رله می‌باشد.



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



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

IRNPOWER

۳-۱-۹- رله راکتانسی

رله راکتانسی 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:

$$S_1 = -KV + X_R I$$

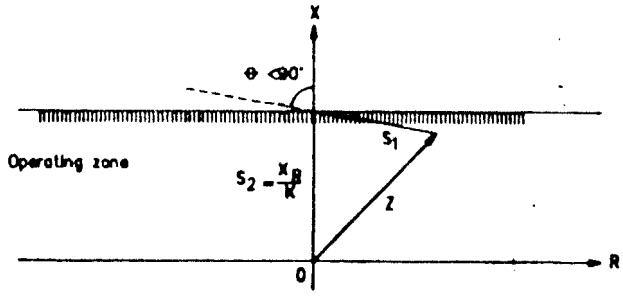
$$S_2 = X_R I \qquad (۹-۱۱)$$

و با تقسیم بر KI روابط بصورت زیر درمی‌آیند :

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

$$S_2 = X_R / K \qquad (۹-۱۲)$$

مشخصه بهره‌برداری با رسم معادله (۹-۱۲) در صفحه مختلط و تعیین مقادیری از Z که برای آن θ کمتر از ۹۰° باشد بدست می‌آید.



شکل ۹-۹- ناحیه عملکرد رله راکتانسی

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

IRNPOWER

۲-۱-۹- رله جهت‌دار

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

مشخصه کارکرد آنها از مقایسه فاز سیگنالهای زیر بدست می‌آید:

$$S_1 = KV$$

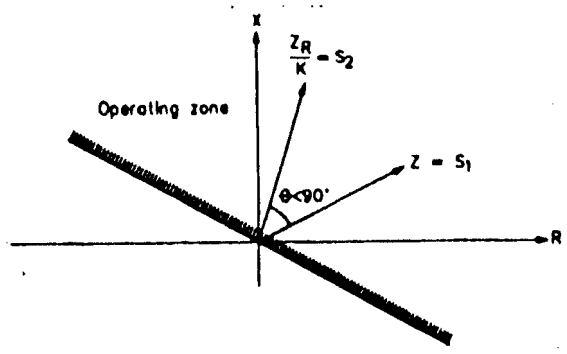
$$S_2 = Z_R I \qquad (۹-۹)$$

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

$$S_1 = Z$$

$$S_2 = Z_R / K \qquad (۹-۱۰)$$

ناحیه کارکرد رله جهت‌دار توسط مقادیر Z و Z_R ، که در واقع از اختلاف فاز کمتر از ۹۰° بین S_1 و S_2 ناشی می‌شود، تعریف می‌گردد. مشخصه در شکل ۸-۹ که در آن S_1 و S_2 نیز رسم شده‌اند، نشان داده شده است.



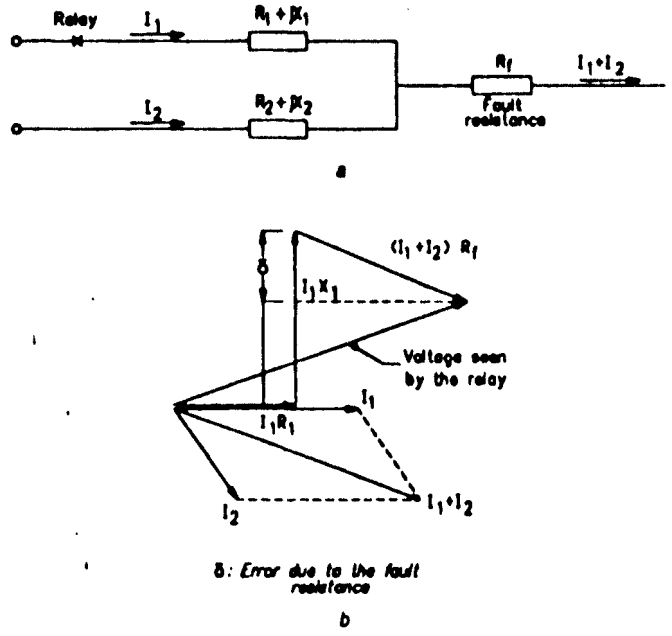
شکل ۸-۹- ناحیه کارکرد رله جهت‌دار

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

چون امپدانس خطا تقریباً همواره مقاومتی است، ممکن است بنظر برسد که مقاومت خطا هیچ تاثیری بر رله راکتانسی نداشته باشد. در یک شبکه شعاعی این بطورکلی واقعیت دارد، ولی لزوماً اگر خطا از دو یا چند نقطه تغذیه گردد اینگونه نخواهد بود چون افت ولتاژ در مقاومت خطا به افت در خط اضافه شده و ولتاژ رله را متأثر می‌سازد. اگر جریان رله دقیقاً هم فاز با جریان خطا نباشد، افت ولتاژ در مقاومت خطا سبب مولفه‌ای با ۹۰° 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 خطا در مقایسه با راکتانس خط بزرگ باشد، آنگاه تاثیر آن جدی بوده و لذا از این نوع رله نباید استفاده شود.

شکل ۱۰-۹ ولتاژ دیده شده توسط رله در صورت وجود خطا 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 خطا را اندازه‌گیری خواهد نمود.



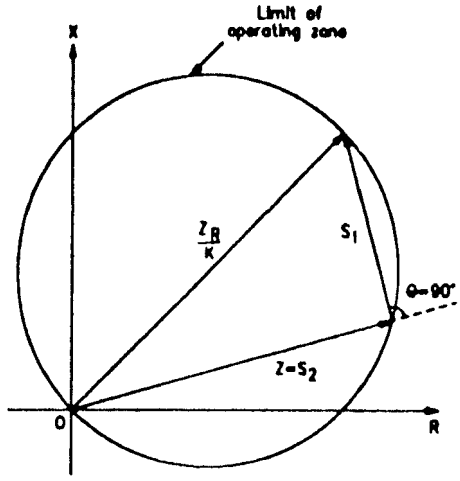
شکل ۱۰-۹- ولتاژ دیده شده توسط رله راکتانسی در صورت وجود خطا با مقاومت قوس و تغذیه از دوسو

a : مدار شماتیک

b : نموداربرداری

٤-۱-۹- رله Mho

رله mho خصوصیات رله امپدانسی و رله جهت‌دار را ترکیب می‌نماید. مشخصه آن ذاتاً جهت‌دار بوده و رله فقط برای خطاهای مقابل رله عمل می‌کند؛ بعلاوه، دارای این مزیت است که برد رله با زاویه خطا تغییر می‌نماید. مشخصه در صفحه R-X دایره‌ای است که از مبدأ مختصات می‌گذرد و از طریق اختصاص سیگنالهایی با مقادیر زیر بدست می‌آید:



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

۵-۱-۹- رله mho پولاریزهٔ کامل

یکی از معایب رله mho با پولاریزهٔ خودکار (کاملاً جهت‌دار) 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 اندازهٔ 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 ۱۳-۹، خواهد بود.

$$S_1 = -KV + Z_R I$$

$$S_2 = KV$$

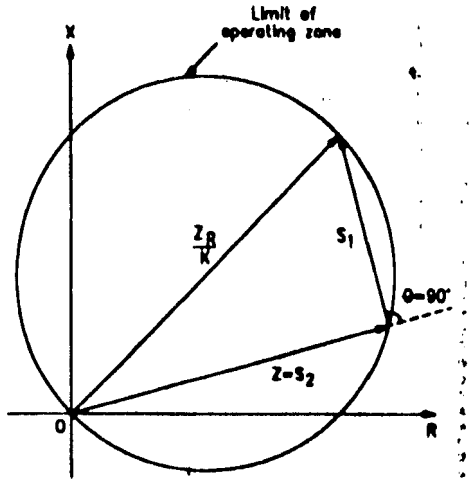
که از آن :

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

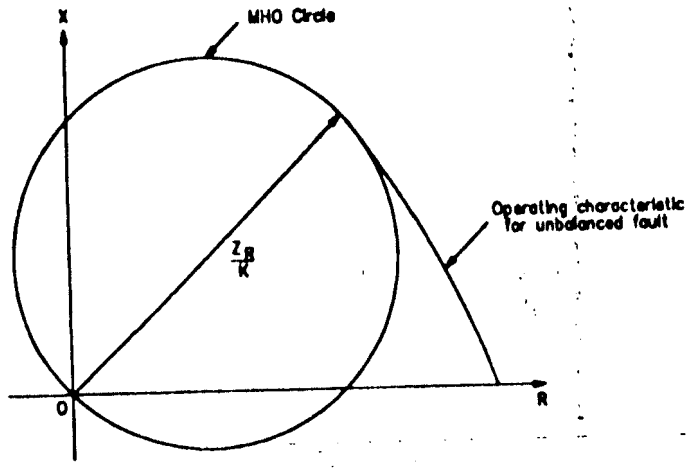
$$S_2 = Z$$

با رسم Z_R/K و معادله ۱۴-۹ در صفحه R-X ، مشخصه رله از طریق مکان مقـادیری از Z که برای آنها θ کمتر از ۹۰° می‌باشد بدست خواهد آمد.

در اینصورت حد ناحیه عملکرد (θ=۹۰°) مطابق شکل ۱۱-۹ توسـط دایـره‌ای بـا قطـر Z_R/K و محیطی که از مبدأ مختصات می‌گذرد، تعیین خواهد شد. برای مقادیری از Z که داخل محیط دایره باشند، θ کمتر از ۹۰°، طبق شکل ۱۲-۹ بوده، و این سبب عملکرد رله می‌گردد.



شکل ۱۱-۹- مشخصه عملکرد رله mho



شکل ۱۳-۹- مشخصه عملکرد یک رله mho کاملاً پولاریزه

این مشخصه را می‌توان توسط یک مقایسه‌گر فاز که توسط سیگنالهای زیر تغذیه می‌شود بدست آورد:

$$S_1 = V_{pol}$$

$$S_2 = V - IZ_R \qquad (۹-۱۵)$$

که :

V = ولتاژ در محل نصب رله؛ روی فاز یا فازهای خطادار

V_{pol} = ولتاژ پولاریزه گرفته شده از فاز یا فازهای غیرمرتبط با خطا

I = جریان خطا

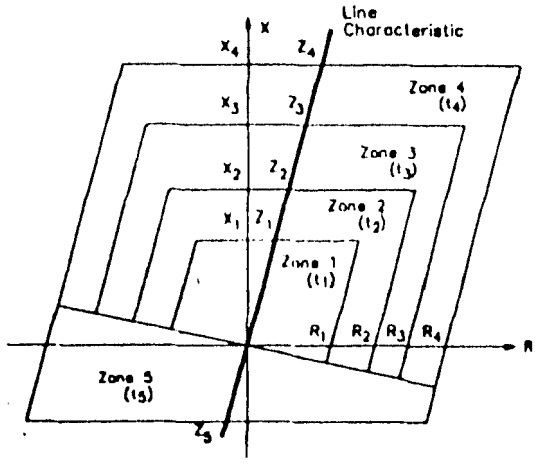
Z_R = تنظیم رله دیستانس

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 $\frac{V^2}{S^2}$ 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 خطا، 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 نمائید.

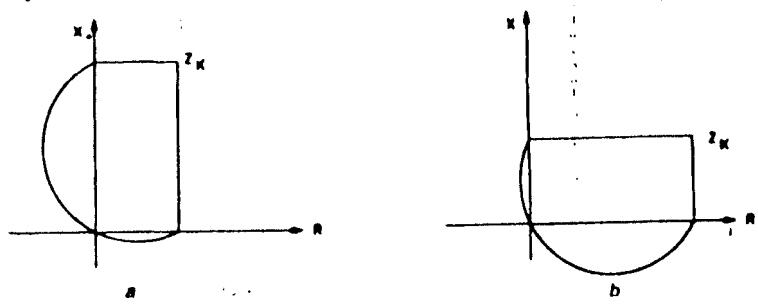


شکل ۹-۱۵- مشخصه عملکرد رله چند ضلعی

مشخصه عملکرد چند ضلعی از طریق سه پارامتر اندازه‌گیری مستقل بدست می‌آید: راکتانس، مقاومت و جهت. به منظور دستیابی به این مشخصه، پارامترهای اندازه‌گیری بطور مناسبی ترکیب می‌شوند. رله فقط هنگامی که هر سه پارامتر عمل کرده باشند فرمان قطع صادر خواهد نمود؛ بدین ترتیب مشخصه چند ضلعی حاصل می‌شود.

۸-۱-۹- رله‌های 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 می‌نمایند، بدست می‌آید. به منظور دستیابی به جهت مورد نیاز، یک رله دایره‌ای mho که از Z_K عبور می‌کند، استفاده می‌شود. در رله‌هایی با این مشخصات برد در جهتهای مقاومتی و راکتانسی دارای محدودهٔ تنظیم یکسانی بوده و مستقل از یکدیگر می‌توانند تنظیم گردند.



شکل ۱۶-۹- مشخصات عملکرد ترکیبی رله

a) نسبت $R/X = 0.5$

b) نسبت $R/X = 2$

۲-۹- 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 خطا 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:

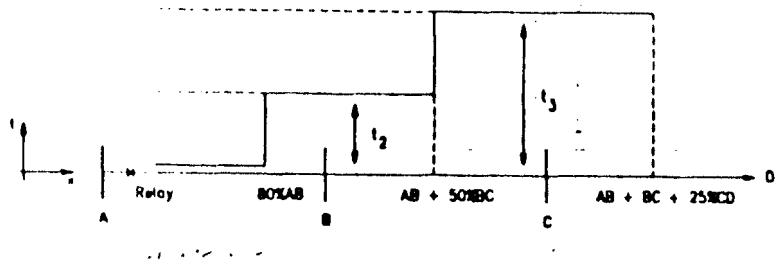
$$\frac{V_{prim}}{I_{prim}} = Z_{prim} = \frac{V_{sec} \times VTR}{I_{sec} \times CTR} \qquad (۹-۱۶)$$

بنابراین ،

$$Z_{sec} = Z_{prim} \times (CTR / VTR) \qquad (۹-۱۷)$$

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 ۱۷-۹ مراجعه شود.



شکل ۱۷-۹- نواحی حفاظتی رله دیستانس در یک شبکه شعاعی

IRNPOWER

بعضی از رله‌ها دارای یک یا دو ناحیهٔ اضافی در جهت خطا بعلاوه یک ناحیه دیگر در جهت مخالف بوده، که این ناحیهٔ 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 بعلاوهٔ 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، t_1 ، 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 ۰/٤ ثانیه بوده، و ناحیه سوم بین ۰/٦ 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

IRNPOWER

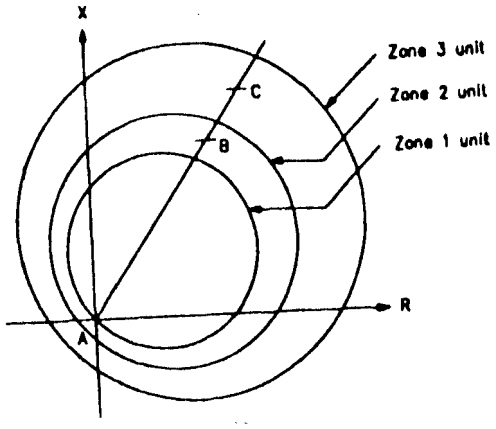
۰/۲ ثانیه به منظور جلوگیری از عدم هماهنگی افزایش یابد. با این وجود، زمان عملکرد واحدهای ناحیه سوم باید در مقداری که پایداری سیستم را حفظ کند تنظیم شوند و لذا، ضرورت دارد، ملاحظاتی صورت گیرد تا در چنین شرایطی زمان عملکرد ناحیه سوم کاهش یابد.

چون فرمان قطعی که توسط ناحیه اول صادر می‌شود 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 اطمینان‌بخشی خواهد بود که با عدم دقتهای حاصل از اندازه‌گیری توسط ترانسفورماتورها و محاسبات امپدانس در رله مقابله می‌نماید. مقدار ۲۰ تا ۱۵٪ انتهای خط توسط ناحیه دوم حفاظت می‌گردد که زمان عملکرد آن t_2 ثانیه خواهد بود. ناحیه سوم بصورت پشتیبان و با تاخیر زمانی t_3 ثانیه عمل می‌کند. چون برد و همچنین زمان عملکرد رله‌های دیستانس ثابت است، بنابراین هماهنگی آنها نسبت به رله‌های جریان زیاد به مراتب ساده‌تر است.

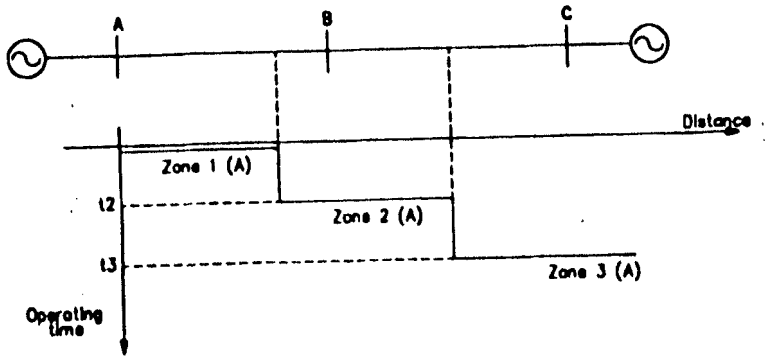
برای بیان فلسفه هماهنگی ذکر شده، شبکه شکل ۱۸-۹ را در نظر بگیرید. در این شبکه قرار است خطوط AB و BC حفاظت شوند. برای این منظور، سه ناحیه رله در A باید تنظیم گردند. تمامی سه واحد حفاظت نواحی باید خطای واقع در ناحیه اول را حس نمایند. برای خطا روی خط BC و در محدوده ناحیه دوم رلهٔ A هر دو واحد حفاظتی و نواحی 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 خطاهای روی خطوط AB و BC ایجاد گردد.

نمودار زمانهای عملکرد در شکل ۱۹-۹ ارائه شده است.



شکل ۱۸-۹- مشخصه عملکرد رله دیستانس واقع در A



شکل ۱۹-۹- زمانهای عملکرد برای رله دیستانس A

بعضی از روشها برای تنظیم رله‌های دیستانس از معیارهای دیگری استفاده می‌نمایند و تفاوت عمدهٔ 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٪ امپدانس خط تحت حفاظت بوده، و

برد ناحیه سوم باید ۱۲۰٪ مجموع امپدانسهای 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 ٤ و ٥ 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 ٥ درخلاف جهت خواهد بود؛ تنظیم سه ناحیه اول مطابق آنچه که قبلاً گفته شد صورت می‌گیرد، ولی تنظیم نواحی ٤ و ٥ از شرکت به شرکتی دیگر تفاوت می‌نماید.

بعضی معیارهای پذیرفته شده پیشنهاد می‌نمایند که تنظیم ناحیه ٤ برابر ۱۲۰٪ ناحیه سوم و ناحیه ٥ برابر ۲۰٪ ناحیه اول باشد. تاخیر زمانی نواحی ٤ و ٥ معمولاً برابر ناحیه سوم ولی با افزایش حاشیه ایمنی مثلاً ٤۰۰ میلی‌ثانیه خواهد بود. باید توجه گردد که نواحی ۳ و ٤ سطوح ولتاژی مختلف را از طریق ترانسفورماتورهای افزاینده یا کاهنده، یا مقادیر امپدانس بار روی یکدیگر پوشش ندهند.

۳-۹- تاثیر تزریق تغذیه‌های میانی (in feed) روی رله‌های دیستانس

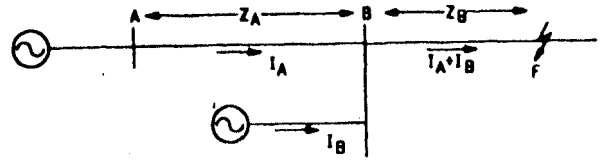
هنگامی که یک یا چند منبع تولیدی در محدودهٔ حفاظتی رله دیستانس موجود بوده که بتوانند بر جریان خطا اثر گذارند بدون آنکه توسط رلهٔ دیستانس دیده شوند، لازم است که اثر این تزریق‌های میانی درنظرگرفته شود.

در شکل ۲۰-۹ 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

$$V_A = I_A Z_A + (I_A + I_B) Z_B \qquad (۹-۱۸)$$

که از آن رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{V_A}{I_A} = Z_A + \left[1 + \frac{I_B}{I_A}\right] Z_B \qquad (۹-۱۹)$$



شکل ۲۰-۹- 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:

$$Z_{relay} = Z_A + (1 + K) Z_B \qquad (۹-۲۰)$$

IRNPOWER

که در آن K برابر است با

$$K = \frac{I_{\text{total in feed}}}{I_{\text{relay}}} \qquad (۹-۲۱)$$

بدین ترتیب برد رله کاهش می‌یابد. بعنوان مثال اگر نقطه F مرز عملکرد نواحی دوم و سوم رله باشد، چون رله امپدانسی 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 ۲۱-۹ الف را درنظربگیرید. شکل ۲۱-۹ 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_2 و K_3 برای ناحیه سوم استفاده می‌گردد، K_2 تغذیه میانی خـط مجـاور را دربرداشـته و K_3 خط دورتر را درنظر خواهد گرفت. براساس معیارهای ذکر شده در بخش ۲-۹، و درنظرگرفتن تغذیه میانی براساس مطالب بیان شده، روابط لازم برای محاسبه برد نواحی سه‌گانه رله واقع در باسبار C بصورت زیر درمی‌آید:

$$Z_1 = (۰/۸ \quad \text{تا} \quad ۰/۸۵) \times ZAB$$

$$Z_2 = Z_{CB} + ۰/۵ (۱ + K_1) Z_{BD}$$

$$Z_3 = Z_{CB} + (۱ + K_2) Z_{BF} + ۰/۲۵ (۱ + K_3) Z_{FH}$$

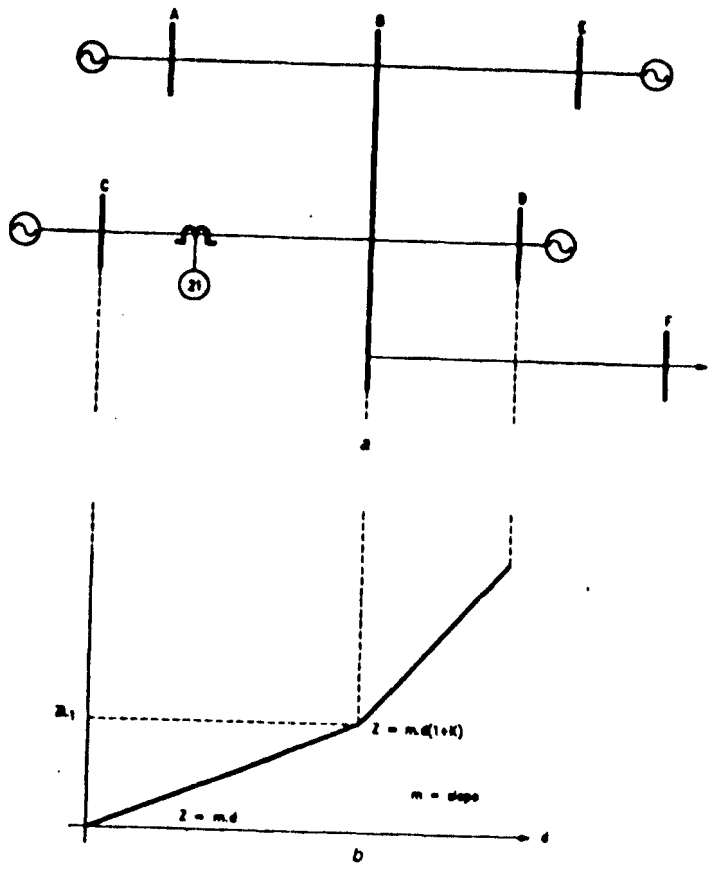
که در آن :

$$K_1 = \frac{I_A + I_E + I_F}{I_C}$$

$$K_2 = \frac{I_A + I_D + I_E}{I_C}$$

$$K_3 = \frac{I_A + I_D + I_E + I_G}{I_C}$$

IRNPOWER



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_3 را می‌توان برابر K_2 فرض کرد و بدین ترتیب برد ناحیه ۳ کاهش خواهد یافت. با این وجود، این تفاوت معمولاً قابل صرفنظر بوده، و لذا فرض فوق قابل قبول است.

در رسم نمودار امپدانس برحسب فاصله، طبق شکل ۲۱b-۹، می‌توان مشاهده کرد که

شیب خط CB همانگونه که انتظار می‌رود ثابت است.

با این وجود، علیرغم شیبی متفاوت با CB بـه دلیـل وجـود K در بخـش BD هنوزهـم شیب ثابت می‌ماند. نکته مهم آن است که امپدانس دیده شده توسط رله در C بـرای خطاهـای موجود در بخش BD مستقیماً متناسب با محـل خطـا، همـانند خطاهـای بخـش CB هسـتند. هنگامی که نواحی ۲ و ۳ بخشی از خطوط دو مداره، یا رینـگ را پوشـش می‌دهنـد، مقـدار K بستگی به محل خطا یا باسبار تحت مطالعه دارد، این موضوع از دو طرح شماتیک شمل ۲۲-۹ آشکار است. در هر دو مورد امپدانس دیده شده توسط رله برای خطاهای مسیر خط BC یـک منحنی با شیب متغیر می‌باشد.

اگر معادله تغذیه میانی شکسته شود، آنگاه امپدانسی که رله برای خطا در بخـش BC در دو طرح شکل ۲۲-۹ می‌بیند بصورت زیر درمی‌آید:

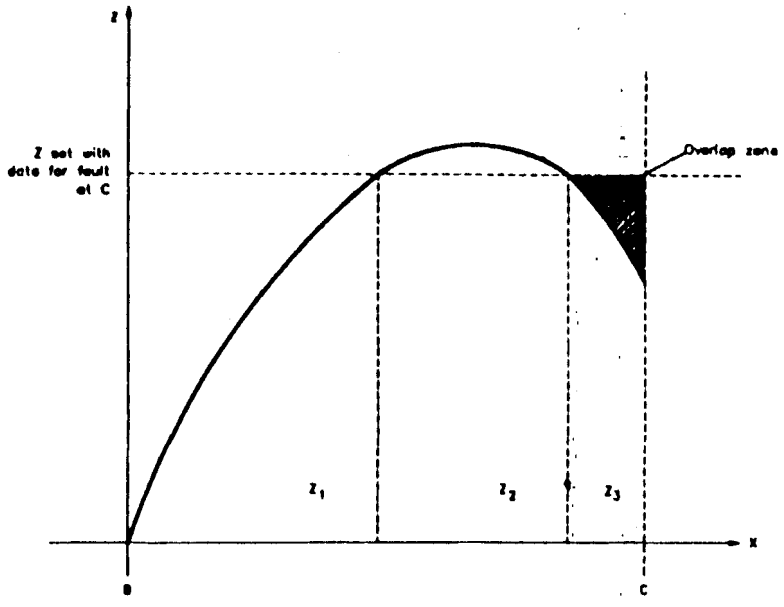
$$Z_{relay} = Z_{line} + \left[1 + \frac{I_D + I_C}{I_A}\right] Z_{BF}$$

در این حالت، نسبت $\frac{I_D}{I_A}$ برای خطا روی خط BC ثابت است چون بسـتگی بـه محـل خطا ندارد، با این وجود نسبت $\frac{I_C}{I_A}$ متغیر بوده و حتی ممکـن اسـت بـرای خطاهـای نزدیـک ایستگاه C در هنگامی که جریان I_C تغییر جهت می‌دهد، منفی گردد.

با درنظرگرفتن نکات قبلی، انتظار مـی‌رود کـه در صـورت شـروع از باسـبار B ، Z بـا 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 تغذیـه میـانی حفـاظت شـده و بعـد 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 ۲۳-۹ همپوشانی داشته باشد.

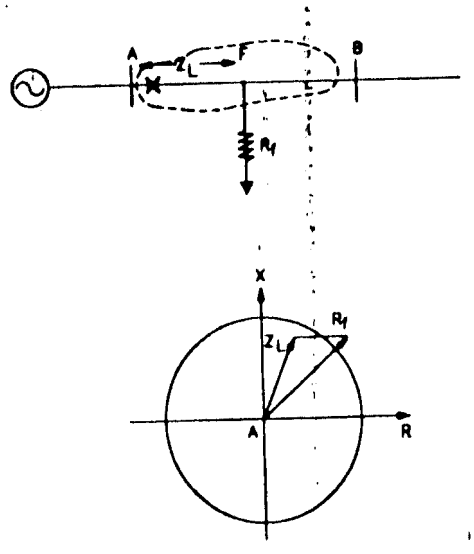


شکل ۲۳-۹- همپوشانی در یک رینگ

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 درنظرگرفته نشود.

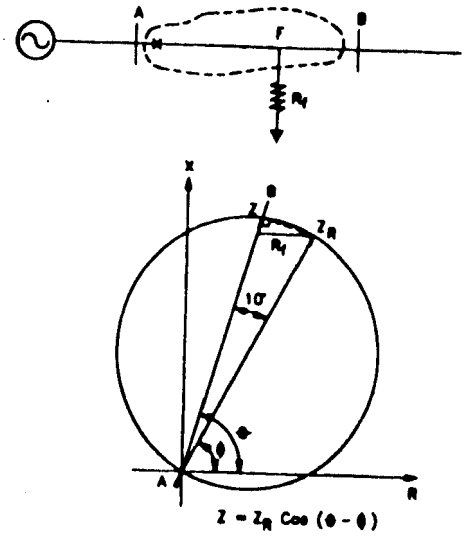
٤-٩- تاثیر مقاومت قوس روی حفاظت دیستانس

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 هنگام که تاثیر مقاومت قوس بحرانی باشد در شکل ٢٤-٩ ارائه گردیده است.



شکل ٢٤-٩- کاهش برد رله امپدانسی بر اثر وجود مقاومت قوس

از شکل ۲۵-۹ 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 ۲۵-۹- تنظیم رله mho برای خطاهای با قوس

از شکل ۲۵-۹، و توجه به این واقعیت که زاویه محاط در داخل دایره قائمه است، رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$Z = (Z_R / K) \cos(\theta - \phi) \qquad (۹-۲۳)$$

اگر زاویه خط تحت حفاظت برابر زاویه رله باشد، تنظیمات صحیح هستند. با این

وجود، اگر زاویه خط از زاویه رله به اندازهٔ ده درجه فراتر رود، آنگاه مشخصه رله ۹۸/۵٪ بـرد خود را پوشش می‌دهد، که در مواردی که پوشش بیشتری در طول محـور افقـی درنظـرگرفتـه 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 ترکیبـی از جریانـهای فـاز و جریانهای باقیمانده که بستگی به امپدانسهای ترتیب مثبت و صفر خط دارند تغذیـه می‌شـوند. اگر یک خطای فاز به زمین، مثلاً در R-E ، رخ دهد، مدارهای ترتیبی با یکدیگر سری شـده و بنابراین ولتاژ اعمال شده به رله به شکل زیر درمی‌آید:

$$V_R = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_0} = I_{R_1}(Z_{L_1} + Z_{L_2} + Z_{L_0}) \qquad (۹-۲۴)$$

و با توجه به آنکه امپدانسهای ترتیب مثبت و منفی خط را برابر می‌توان درنظـرگرفـت، رابطه فوق بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$V_R = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_0} = I_{R_1}(۲ Z_{L_1} + Z_{L_0}) \qquad (۹-۲۵)$$

چون خطا فاز بـه زمیـن اسـت، لـذا $I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_0}$ و $I_R = ۳ I_{R_1}$ مـی‌گردد. نسـبت V_R/I_R بدین ترتیب $(۲ Z_{L_1} + Z_{L_0})/۳$ خواهـد شـد، کـه برابـر امپدانـس ترتیـب مثبـت Z_{L1} نمی‌باشد.

مقدار جریان باقیمانده که باید تزریق گردد تا رله‌ای که برای امپدانس ترتیب مثبت خـط تنظیم شده بطور صحیح کار کند محاسبه می‌شود. بنابراین، با اعمال جریانهای خط و باقیمـانده

به رله داریم:

$$I_R + ۲KI_{R_۰} = I_R (۱+K) \qquad (۹-۲۶)$$

و

$$\frac{V_R}{I_R(۱+K)} = Z_{L_۱} \qquad (۹-۲۷)$$

با جایگزینی V_R/I_R داریم :

$$\frac{۲Z_{L_۱} + Z_{L_۰}}{۳} = Z_{L_۱}(۱+K)$$

که از آن

$$K = \frac{Z_{L_۰} - Z_{L_۱}}{۳Z_{L_۱}}$$

۶-۹- 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 فاز به زمین و تکفاز. به منظور آشکار ساختن هرکدام از این خطاها، هریک از نواحی رله‌های دیستانس نیاز به شش واحد دارند: سه واحد برای آشکار ساختن خطاهای بین فازها (R-S ، S-T ، T-R) و سه واحد برای آشکار نمودن خطاهای فاز به زمین (R-E ، S-E ، T-E). یک طرح حفاظتی کامل دارای یک مجموعه از این شش واحد برای هرناحیه 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:

$$Z_{RS} = \frac{V_{RS}}{I_R - I_S}$$
$$Z_{ST} = \frac{V_{ST}}{I_S - I_T} \qquad (۹-۳۰)$$
$$Z_{TR} = \frac{V_{TR}}{I_T - I_R}$$

۹-۶-۲- واحدهای اتصال زمین

همانگونه که در بخش ۵-۹ 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:

$$Z_R = \frac{V_R}{I_R\left[1 + \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}\right]} = \frac{V_R}{I_R + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0}$$

$$Z_S = \frac{V_S}{I_S\left[1 + \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}\right]} = \frac{V_S}{I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0} \qquad (۹-۳۱)$$

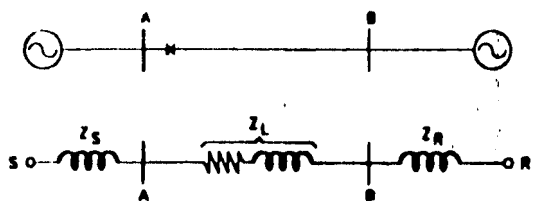
$$Z_T = \frac{V_T}{I_T\left[1+\frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}\right]} = \frac{V_T}{I_T + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0}$$

۷-۹- نوسانات سیستم قدرت

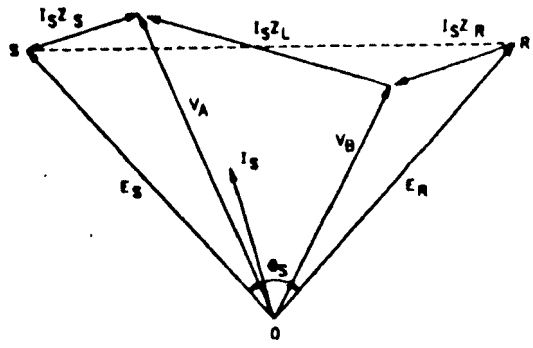
نوسانات سیستم قدرت می‌توانند، بعنوان مثال، بعد از برداشتن یک اتصال کوتاه در شبکه، یا هنگام عملیات کلیدزنی که سبب قطع یا وصل بارهای بزرگ گردند، رخ دهند. در هنگام این پدیده ولتاژ و جریانی که رله را تغذیه می‌نماید با زمان تغییر نموده و، در نتیجه آن، رله نیز امپدانسی را که با زمان تغییر می‌نماید خواهد دید 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 درنظربگیرید. 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.

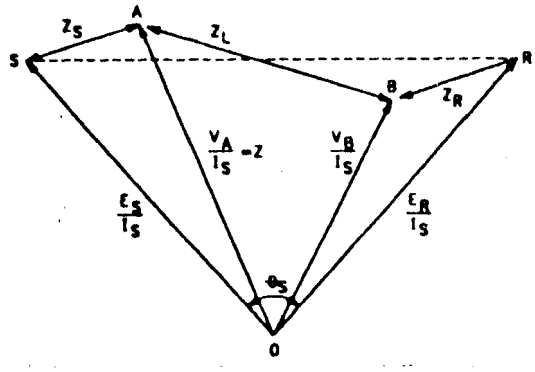
مقدار θ_S ، اختلاف فاز بین E_S و E_R ، با افزایش بار انتقالی افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۲۶-۹- مدار معادل برای تحلیل نوسانات سیستم قدرت



شکل ۲۷-۹- نمودار برداری شرایط نوسانات سیستم قدرت



شکل ۲۸-۹- نمودار برای شبکه برای شکل ۲۶-۹

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:

$$V_A = I_S Z_L + I_S Z_R + E_R$$

$$V_A / I_S = Z_L + Z_R + E_R / I_S \qquad (۹-۳۲)$$

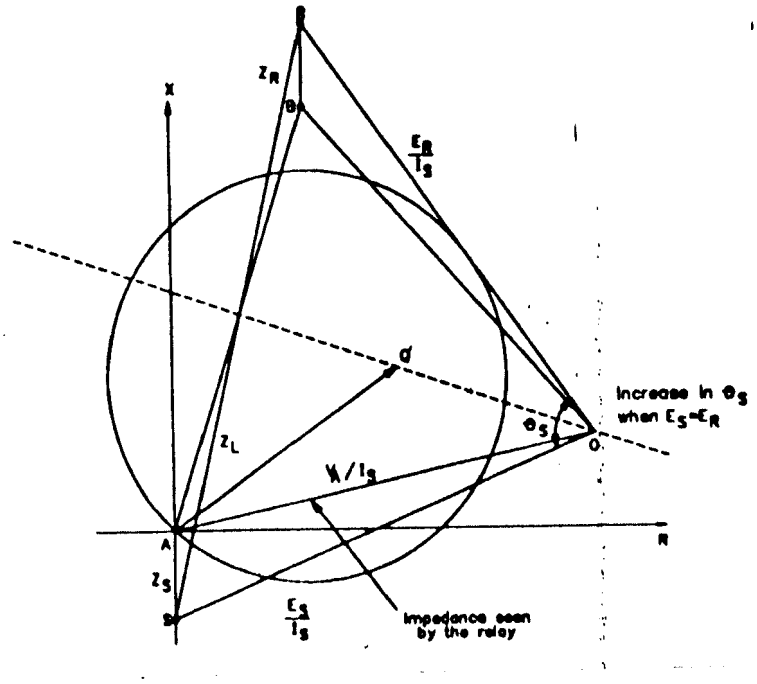
معادله اخیر را می‌توان به سادگی با تقسیم بردارهای در شکل ۲۷-۹ بر جریان نوسان I_S

رسم نمود. به این طریق نمودار امپدانس‌های شبکه، که در شکل ۲۸-۹ نشان داده شده است، بدست می‌آید که در آن تمامی پارامترها را می‌توان 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 می‌گردد. این منجر به کاهش اندازه بردار V_A/I_S (به شکل ۲۸-۹ مراجعه نمائید) و، اگر نمو بار به اندازه کافی بزرگ باشد، امپدانس دیده شده توسط رله (V_S/I_S) را می‌تواند به مناطق عملکرد رله، طبق شکل ۲۹-۹ جابجا نماید.

شکل ۲۹-۹ 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 می‌آید.

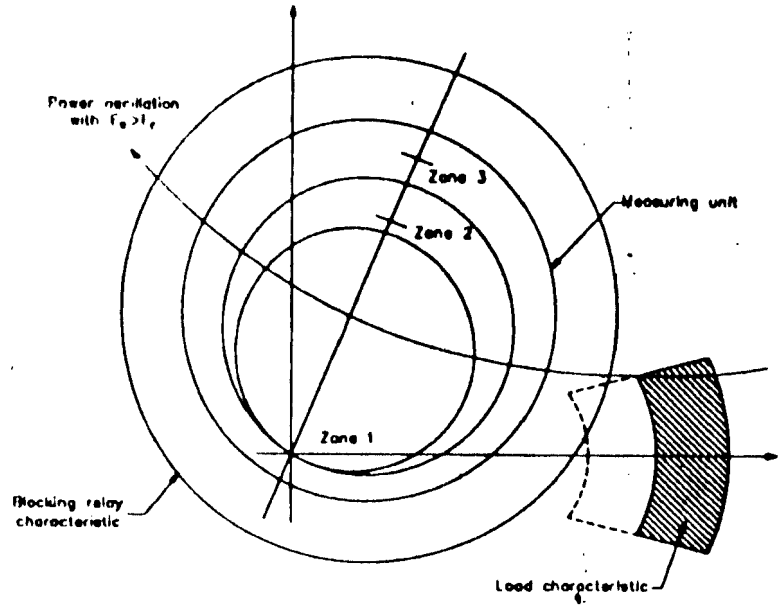
رله دائماً امپدانس نشان داده شده با AO را اندازه‌گیری می‌نماید. این امپدانس در واقع در هنگام اتصال کوتاه مستقیم B با زمین برابر Z_L می‌باشد. اگر نوسان شدیدی رخ دهد، آنگاه زاویه بار، θ_S ، افزایش یافته و امپدانس اندازه‌گیری شده توسط رله به مقدار AQ′ ، که می‌تواند داخل مشخصه‌کاری رله باشد تقلیل یابد.



شکل ۲۹-۹- امپدانس دیده شده توسط رله در هنگام نوسانات سیستم قدرت

مکان امپدانس دیده شده توسط رله در هنگام نوسانات با وجود $E_S=R_R$ مطابق شکل ۲۹-۹ خط راست است. اگر $E_S>E_R$ باشد آنگاه این مکان مجموعه‌ای از دوایر 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 ۳۰-۹ آمده است.

IRNPOWER



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 ایـن بیـانگر امکان قطع کلید قدرت مربوطه در هنگام نوسانات سیستم قدرت می باشد.

برای جلوگیری از عملکرد رله در هنگام این نوسانات، از یک مشخصه سدکننده (مطابق شکل ۳۰-۹) استفاده می‌شود. مسیر امپدانس مشخصه را واحدهای سدکننده و انـدازه‌گیـری 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 واحدهـای اندازه‌گیری پس از گذشت زمان معینی عمل نکرده باشـند، کلیـد قـدرت قطـع نخواهـد شـد. بنابراین، تحت شرایط خطا، که واحدهای سدکننده و اندازه‌گیری تقریباً همزمان عمل می‌کننـد، فرمان قطع صادر می‌شود. با این وجود، تحت شرایط نوسان قـدرت، هنگامـی کـه واحدهـای

IRNPOWER

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 معمولاص ۱/۳ 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 سد کننده نوسان قدرت استفاده می‌گردد.

اگر پیمودن مسیر امپدانس از مشخصه سدکننده نوسان قدرت به مشخصه ناحیه ۳ رله بیشتر از زمانی حدود ۰/۱ 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.

$$Z_2 = ZL_1 + (1 + K_1)\, X_2\, Z_{L_1} \qquad (۹-۳۳)$$

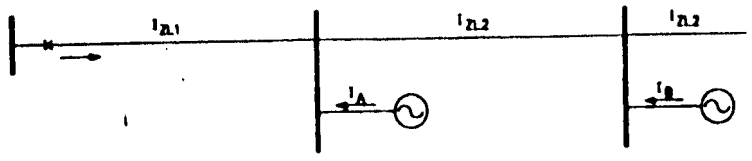
و

$$Z_r = Z_{L_1} + (1 + K_r) X_r Z_{L_2} + (1 + K_r) X_r Z_{L_r} \qquad (9\text{-}34)$$

که X_r و X_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).

$$X_r = \frac{Z_r - Z_{L_1}}{Z_{L_r}(1 + K_r)} \qquad (9\text{-}35)$$



شکل ۳۱-۹- شبکه قدرت با چند تغذیه میانی

که در آن

Z_r = تنظیم ناحیه دوم برحسب اهم

X_r ZL_r = پوشش موثر روی خط همجوار برحسب اهم

Z_{L1} = 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:

$$X_2 = \frac{Z_2 - Z_{L_1} - (1+K_2)\,Z_{L_1}}{Z_{L_2}(1+K_2)} \qquad (9\text{-}36)$$

که در آن :

Z_3 = تنظیم ناحیه ۳ برحسب اهم

$X_2\ Z_{L3}$ = پوشش موثر روی خط دور دست برحسب اهم

Z_{L1} = امپدانس خط متناظر با رله

K_2 = ثابت تغذیه میانی برای طولانی‌ترین خط همجوار

Z_{L2} = امپدانس طولانی‌ترین خط همجوار

K_3 = ثابت تغذیه میانی برای خط دور دست

با استفاده از این معادلات، و ثابتهای مناسب تغذیه میانی، می‌توان برد موثر رلـــه را روی خطوط همجوار خط تحت حفاظت محاسبه کرد.

۹-۹- بررسی حداکثر بار

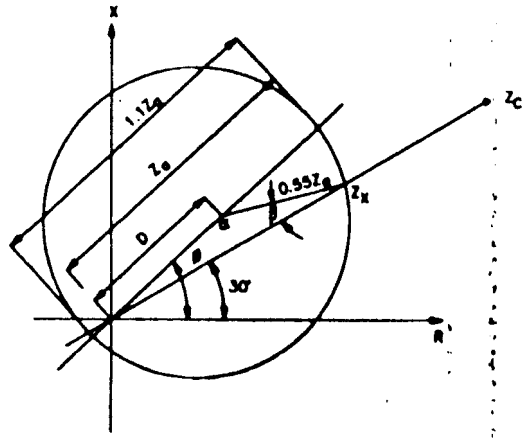
این بررسی بـرای حصـول اطمینـان از اینکـه امپدانـس حداکـثر بـار هـرگـز در داخـل بیرونی‌ترین مشخصه، که معمولاً ناحیه ۳ است واقع نخواهد شد، صورت می‌گیرد. برای انجـام این منظور، فاصله بین مشخصه ناحیه ۳ و نقطه حداکثر بار باید حداقل ۲۵٪ فاصله بین مبـدأ و

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 ۳۲-۹ می باشد. نقطه بار حداکثر بصورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$Z_C = \frac{V^2}{S_{max}} \angle ۳۰^\circ \qquad (۹-۳۷)$$



شکل ۳۲-۹- بررسی بار حداکثر برای رله mho

در این نمودار، Z_a و ϕ به ترتیب مقدار تنظیم و زاویه مشخصهٔ رله می‌باشند. از شکل ۳۲-۹ داریم:

$$D = Z_a - \frac{۱/۱ Z_a}{۲} = ۰/۴۵ Z_a \qquad (۹-۳۸)$$

با بکار بردن قواعد مثلثاتی :

$$\sin\beta / \sin(\phi - ۳۰) = (۰/۴۵ Z_a)/(۰/۵۵ Z_a) \qquad (۹-۳۹)$$

که از آن

$$\sin\beta = ۰/۸۱۸ \sin(\phi - ۳۰) \qquad (۹-۴۰)$$

از رابطه قبلی مقدار β را می‌توان بدست آورد. همچنین، از شکل ۳۲-۹ :

$$\alpha = ۱۸۰ - \beta - (\phi - ۳۰)$$

و

$$\sin\alpha / \sin(\alpha - ۳۰) = Z_x / (۰/۵۵\ Z_a) \qquad (۹-۴۱)$$

بنابراین :

$$Z_x = ۰/۵۵\ Z_a \sin\alpha / \sin(\phi - ۳۰)$$

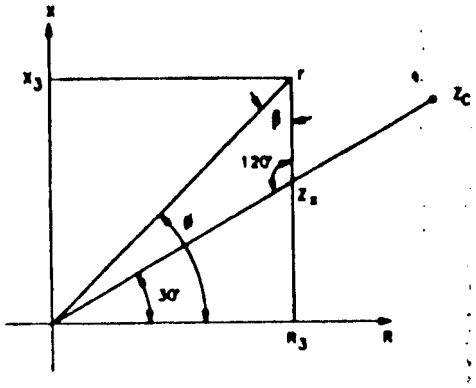
برای تمامی حالات، می‌توان برد رله را در جهت بار با استفاده از معادلـه اخـیر بدسـت آورد. این بررسی شامل برقراری رابطه زیر است:

$$\frac{Z_C - Z_X}{Z_C} \times \%۱۰۰ \geq P \qquad (۹-۴۲)$$

که P=۰/۵ برای خطوط دو مداره، و ۰/۲۵ برای خطوط تک مداره براسـاس آنچـه قبـلاً ذکر گردید، خواهد بود.

رله‌های با مشخصه چند ضلعی

ناحیه ۳ بوسیله تنظیمات راکتیو و مقاومتی یعنی $X_۳$ و $R_۳$ به ترتیب تعیین می‌شوند. این وضعیت در شکل ۳۳-۹ نشان داده شده است.



شکل ۳۳-۹- بررسی حداکثر بار در رله با مشخصه چند ضلعی

از شکل ۳۳-۹ می‌توان دید که :

$$\phi = \tan^{-1}(X_r / R_r) \ , \ r = \sqrt{R_r^2 + X_r^2}$$

$$(\phi - ۳۰^\circ) + ۱۲۰^\circ + \beta = ۱۸۰^\circ \qquad (۹-۴۳)$$

$$\beta = ۹۰^\circ - \phi$$

با بکار بردن قواعد مثلثاتی :

$$\frac{\sin\beta}{\sin ۱۲۰^\circ} = \frac{Z_x}{r}$$

$$Z_X = r\frac{\sin\beta}{\sin ۱۲۰^\circ} \qquad (۹-۴۴)$$

از رابطه فوق می‌توان برد رله‌های 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 رله‌های دیستانس را می‌توان در نمودارهایی بصورت زمان برحسب برد برای

IRNPOWER

تجهیز تحت حفاظت نمایش داد. برد برحسب اهم بیان می‌گردد. واضح است که برد بستگی‌ی 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.

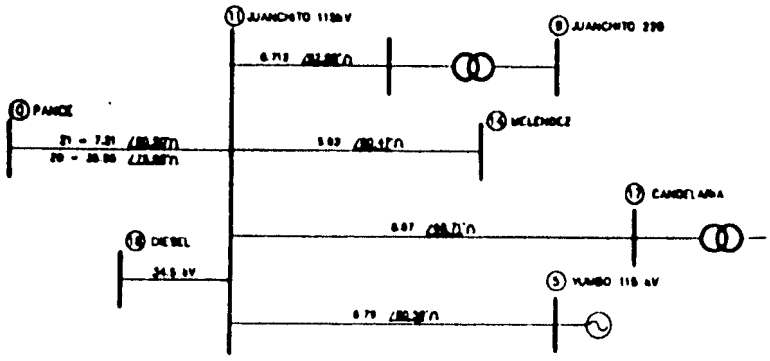
در هنگام وجود محدودیت اول، تنظیم برابر حداکثر مقدار قابل تنظیم روی رله قرار داده می‌شود.

مثال ۱-۹

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 ۳٤-۹ درنظربگیرید. روی شکل امپدانس خطوط مشخص شده‌اند. در شکل ۳۵-۹ 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 ۳٤-۹- نمودار امپدانس مثال ۱-۹ 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°	1.39394804	-25.576345°	1.39394804	-145.57491°
4	POPAYA-220	-0	REFERENCE	0.661038585	95.1927806°	0.661024042	-24.807968°	0.661024042	-144.80653°
5	YUMBO-115	-0	REFERENCE	2.31946974	91.9760292°	2.31941871	-29.024719°	2.31941871	-148.02328°
6	B.ANCH-115	-0	REFERENCE	0.833393831	97.1632629°	0.833375496	-22.837486°	0.833375496	-142.83605°
7	PANCE-220	-1	A.ANCH-220	0.679963307	92.1731526°	0.679945348	-27.827596°	0.679945348	-147.82616°
8	YUMBO-220	-1	A.ANCH-220	0.626778016	93.30961°	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	0.602895722	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	1.59477693	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-220	-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	S.ANTO-115	-10	PANCE-115	0.396284554	-82.300371°	0.39627584	157.698924°	0.396275836	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	153.84159°
13	CHIPCH-115	-6	B.ANCH-115	0.833393828	97.163263°	0.833375493	-22.837486°	0.833375493	-142.83605°
13	CHIPCH-115	-12	S.ANTO-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	B.ANCH-115	0	0	0	0	0	0
16	TABOR-115	-6	B.ANCH-115	0	0	0	0	0	0
16	TABOR-115	-15	PAILON-115	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	S.ANTO-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

از معیار تنظیم ناحیه :

اولیه $Z_1 = ۰/۸۵\ Z_{۱۰-۱۱} = ۰/۸۵\ (۷/۲۱ \angle ۰/۵) = ۶/۱۳ \angle ۸۰/۵°$

برای ناحیه ۲ :

$$Z_2 = Z_{۱۰-۱۱} + ۰/۵\ (۱ + K_1)\ Z_{۱۱-۹}$$

در این مورد ثابت تغذیه میانی بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_1 = \frac{I_{۱۴-۱۱} + I_{۱۷-۱۱} + I_{۵-۱۱} + I_{۱۸-۱۱}}{I_{۱۰-۱۱}}$$

رابطه فوق برای خطا روی باسبار ۱۱ است. مقادیر مربوطه را می‌توان از شکل ۳۵-۹ بدست آورد:

$$K_1 = \frac{۱۳۳۳/۸ \angle -۸۵/۵۴° + ۰ + ۵۳۶۴/۶ \angle (۹۴/۱۲° - ۱۸۰°) + ۴۴۹/۹ \angle -۸۶/۳°}{۲۱۱۲/۶ \angle (۹۴/۴۵° - ۱۸۰°)}$$

در انجام این محاسبات باید توجه داشت که مقادیر جریان در شکل ۳۵-۹ نسبت به باسبار دریافت‌کننده جریان ارجاع شده‌اند. بنابراین، اگر عبور جریان در جهت مخالف باشد، مقدار زاویه را باید تنظیم نمود. بدین ترتیب، دامنه $I_{۵-۱۱}$ برابر دامنه $I_{۱۱-۵}$ است ولی زاویه آن $-۸۵/۸۸°$ = (۹۴/۱۲ - ۱۸۰°) می‌باشد. بر این اساس:

$$K_1 = \frac{۷۱۴۸/۲۷ \angle -۸۵/۸۷°}{۲۱۱۲/۶ \angle -۸۵/۵°} = ۳/۳۸ \angle -۰/۳۷°$$

و لذا $۱ + K_1 = ۴/۳۸$ می‌گردد.

بنابراین، تنظیم ناحیه ۲ خواهد شد :

اولیه $Z_2 = ۷/۲۱ \angle ۸۰/۵۰° + (۴/۳۸ \times ۰/۳۵۶ \angle ۸۲۰/۹۰°) = ۸/۷۷ \angle ۸۰/۹۳°$

برای تنظیم ناحیه ۳ :

$$Z_{r} = Z_{۱۰-۱۱} + (۱ + K_{r})\, Z_{۱۱-۱۷} + ۰/۲۵\,(۱ + K_{r})\, Z_{Transformer}$$

در این حالت، ثابت تغذیه میانی K_r برابر K_2 درنظرگرفته می‌شود، چون کاهش بـرد در آن بخش قابل توجه نخواهد بود. این روش در تنظیم ناحیه ۳ متداول اسـت. بـرای خطـا روی باسبار ۱، ثابت تغذیه میانی بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_{r} = \frac{I_{۹-۱۱} + I_{۱۲-۱۱} + I_{۵-۱۱} + I_{۱۸-۱۱}}{I_{۱۰-۱۱}}$$

بـا اسـتفاده مجـدد از شـکل ۳۵-۹، $I_{۹-۱۱}$ از مقـدار $I_{۱۱-۹}$ بدسـت می‌آیـد. مقـدار آن ۱۱۶۷/۱۷A نسبت به سمت ۲۲۰KV (سمت دریافت‌کننده) است. مقدار آن پس از ارجـاع بـه سـمت ارسـال‌کننده، در ۱۱۵KV برابـر $۱۱۶۷ / ۱۷ = ۲۲۳۲ / ۸\ A$ $(۲۲۰ / ۱۱۵)$ مـی‌گردد. زاویـه $(۸۹/۹° - ۱۸۰°) = -۹۰/۱°$ خواهد شد.

بنابراین :
$$K_{r} = \frac{\{۱۱۶۷ \times (۲۲۰/۱۱۵)\} \angle (۸۹/۹° - ۱۸۰°) + ۱۳۳۳/۸ \angle -۸۵/۵° + ۵۳۶۴ \angle}{۹۴/۱° - ۱۸۰°) + ۴۴۹/۹ \angle -۸۶/۳°} \over ۲۱۱۲۶ \angle (۹۴/۴۵° - ۱۸۰°)$$

یعنی :
$$K_{r} = \frac{۹۳۷۶/۷۲ \angle -۸۶/۸۶°}{۲۱۱۲/۶ \angle -۸۵/۵°} = ۴/۴۴ \angle -۱/۳۶°$$

بدین ترتیب
$$۱ + K_{r} = ۵/۴۴ \angle -۱/۱۰°$$

لذا تنظیم ناحیه ۳ خواهد شد :

$$Z_{r} = ۷/۲۱ \angle ۸۰/۵۰° + (۵/۴۴ \angle -۱/۱۰° \times ۸۰/۷ \angle ۶۸/۷۱°) + (۱ + ۴/۴۴ \angle -۱/۳۶°)$$

$$۱۱/۹۵ \angle ۹۰° = ۱۱۴/۳۵ \angle ۸۰/۲۰°$$

تنظیمات رله، برحسب اهم اولیه، بصورت زیر جمع‌بندی می‌گردد :

$$Z_{۱} = ۶/۱۳ \angle ۸۰/۵°$$

$Z_2 = ۸/۷۷ \angle ۸۰/۹۳^\circ$

$Z_3 = ۱۱۴/۳۵ \angle ۸۰/۲۰^\circ$

اهم ثانویه با استفاده از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$Z_{sec} = Z_{pnm} \times \frac{CTR}{VTR}$$

در این صورت $CTR/VTR = ۱۲۰/۱۰۰۰ = ۰/۱۲$ و، بنابراین، $Z_1 = ۰/۷۳۶\ \Omega$،

$Z_2 = ۱/۰۵۲\ \Omega$ و $Z_3 = ۱۳/۷۹\ \Omega$ خواهد شد.

تنظیم واحد راه‌انداز

واحد راه‌انداز با منظور کردن ۵۰٪ امپدانس بار حداکثر تنظیم می‌شود. از مطالعه پخش بار، قدرت انتقال از Pance به Juanchito برابر خواهد شد با:

$S = ۳۰/۴ + J\,۱۳/۲\ MVA$

$|S| = ۳۳/۱۴\ MVA$

بنابراین :

$$Z_C = \frac{V^2}{P} = \frac{۱۱۵^2}{۳۳/۱۴} = ۳۹۹/۰۳$$ اهم اولیه $= ۴۷/۸۸$ اهم ثانویه

تنظیم ثابت جبران جریان باقیمانده

$$K_1 = \frac{Z_0 - Z_1}{۳ Z_1}$$

که در آن :

K_1 = ثابت جبران جریان باقیمانده

Z_1 و Z_0 = امپدانسهای ترتیب مثبت و صفر

با جایگذاری مقادیر :

$$K_1 = \frac{۳۶/۹۵ \angle ۷۵/۶۶^\circ - ۷/۲۱ \angle ۸۰/۵۰^\circ}{۳(۷/۲۱ \angle ۸۰/۵۰^\circ} = ۱/۳۷۷ \angle -۶^\circ$$

$K = ۱/۴$

تنظیم زمان

تاخیر زمانی برای ناحیه ۲ = ۰/٤ ثانیه

تاخیر زمانی برای ناحیه ۳ = ۱ ثانیه

بررسی بار

تنظیم واحدی که طولانی مشخصه‌کاری رله را تعیین می‌نماید باید برای اطمینان از اینکه با ناحیه بار همپوشانی ندارد بررسی گردد. در این مثال بار برابر ۳۳/۱٤MVA بوده که معادل بار امپدانس بار زیر است:

اهم اولیه $Z_C = \frac{V^2}{P} = \frac{(۱۱۵\ KV)^2}{۳۳/۱۴\ MVA} = ۳۹۹/۰۳$

اهم ثانویه $Z_C = ۴۷/۸۸$

برد رله در جهت بار بصورت زیر تعیین می‌شود :

$$\sin\beta = ۰/۸۱۸ \sin(\phi - ۳۰^\circ)$$

که برای تنظیم رله $\phi=۷۵^\circ$ داریم :

$$\sin\beta = ۰/۸۱۸ \sin(۴۵°)$$

و از آن :

$$\beta = ۳۵/۳۴°$$

$$\alpha = ۱۸۰° - \beta - (\phi - ۳۰°)$$

که α از رابطهٔ فوق برابر ۹۹/۶۶° می‌شود، بدین ترتیب برد رله بدست می‌آید:

$$Z_X = \frac{۰/۵۵\, Z_۲ \sin ۹۹/۶۶°}{\sin ۴۵°} = \frac{۰/۵۵\,(۱۱۴/۳۵)\sin ۹۹/۶۶°}{\sin ۴۵°}$$

$Z_X = ۸۷/۶۸$ اهم اولیه

فاصله نقطه بار بصورت درصد عبارتست از :

$$\% = \frac{۳۹۹/۰۳ - ۸۷/۶۸}{۳۹۹/۰۳} \times \%۱۰۰ = \% ۷۸/۰۳$$

بنابراین، نتیجه می‌شود که تنظیم مناسب بوده و ضرورتی به تنظیم مجدد برد رله به دلیل بار نمی‌باشد.

تعیینی پوشش موثر

براساس تنظیمات محاسبه شده، در ناحیه ۲ رله ۵۰٪ خط ۹-۱/۱۱ پوشش می‌دهد. با این وجود، اهمیت دارد که پوشش این تنظیم در طول خط Juanchito-Yumbo ۱۱۵KV (۵-۱۱) تعیین گردد.

$$X_۲ = \frac{Z_۲ - Z_{L_۱}}{Z_{L_۲}(۱ + K_۱)}$$

ثابت تغذیه میانی $K_۱$ در ایستگاه Juanchito (شماره ۱۱) برای خطا روی باسبار ۱۱ از

رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K_1 = \frac{I_{9-11} + I_{14-11} + I_{17-11} + I_{18-11}}{I_{10-11}}$$

چون معلوم شده است که زوایای ثابتهای تغذیه میانی به صفر نزدیک هستند، لذا مقادیر آنها را می‌توان 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 می‌رفت، برد ناحیه ۲ کمتر از ۵۰٪ خط Juanchito-Yumbo است، زیرا کوتاهترین خط Juanchito 115 به Juanchito 220 می‌باشد. بردهای رله‌ها در شکل۳۶-۹ ارائه شده است.

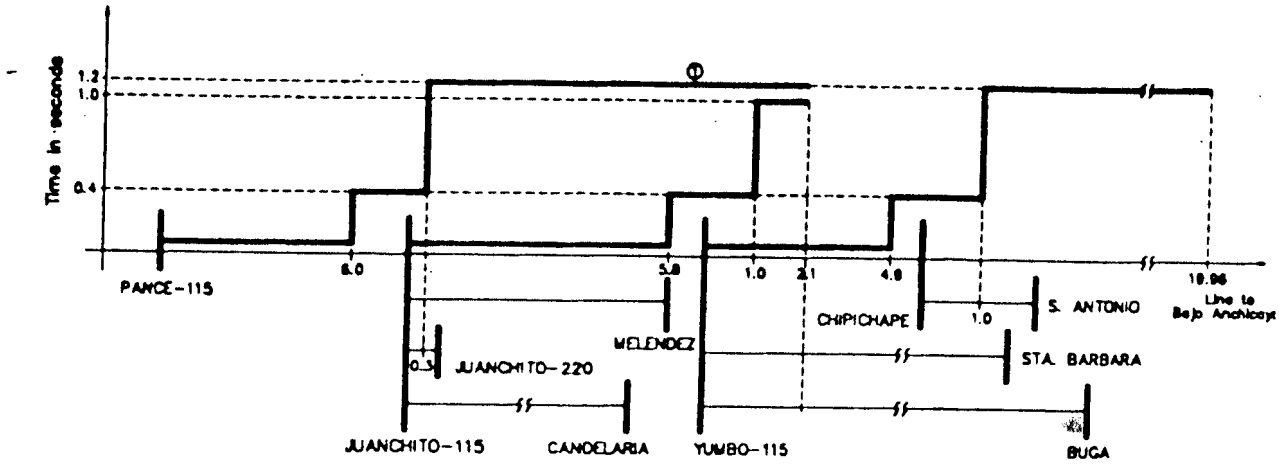


Figure 9.36 Reach of distance protection relays for Example 9.1

Z_L	Pance–Juanchito	$= 7.21\ \angle 80.50°\Omega$	Z_L	Chipichape–S. Antonio	$= 2.08\ \angle 67.18°\Omega$
Z_L	Juanchito–Yumbo	$= 6.79\ \angle 80.59°\Omega$	Z_L	Juanchito 115–Candelaria	$= 8.07\ \angle 68.70°\Omega$
Z_L	Yumbo–Chipichape	$= 5.79\ \angle 69.25°\Omega$	Z_L	Yumbo–Santa Barbara	$= 10.25\ \angle 80.28°\Omega$
Z_L	Chipichape–B. Anchicaya	$= 27.59\ \angle 67.16°\Omega$	Z_L	Yumbo–Buga	$= 23.38\ \angle 69.52°\Omega$
Z_L	Juanchito 115–Juanchito 220	$= 0.712\ \angle 82.90°\Omega$			

شکل ۹-۳۶- برد رله‌های دیستانس برای مثال ۹-۱

IRNPOWER

مثال ۲-۹

برای شبکه قدرت شکل ۳۷-۹، تنظیم ناحیه ۲ را برای رلـه واقـع در San Antanio بـا ثابت تغذیه میانی براساس نتایج خطا در ایستگاه Chipichape و بکاربردن معیارهای ذکر شـده قبلی محاسبه نمائید.

امپدانسهای واقعی که رله برای خطا روی خط Chipichape-Yumbo و روی باسبار در Yumbo می‌بیند را تعیین نموده، و براساس آنها، تعیین نمائید که آیـا ناحیـه ۲ رلـه بـرای ایـن خطاها عمل می‌نماید.

در محاسـبه بـرد ناحیـه ۲، مـیزانی از خـط کـه در صـورت صرفنظـر از سـهم خـط Yumbo-Chipichape پوشش داده می‌شود را بررسی نمائید. با امپدانسهای اولیه مثـال را حـل کنید.

حل

ناحیه دوم رله تا خط Chipichape-Yumbo که کوتاهترین خط مجاور دیده شده توسط رله در San Antonio می‌باشد، گسترش می‌یابد.

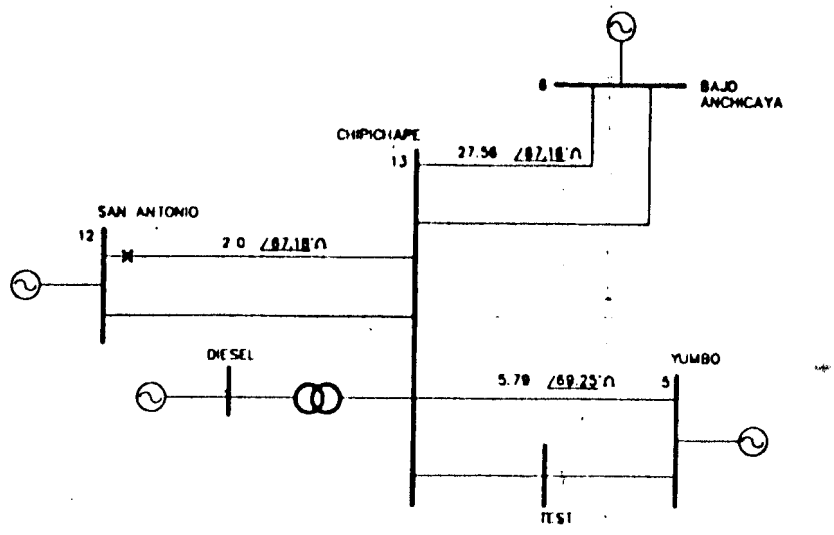
در این روند، نقطه خطای اولیه در Chipichape درنظرگرفته شده و سپس در گامهای ده درصدی در طول خط Chipichape-Yumbo حرکت می‌نماید. با کمک رایانه، می‌تـوان مقـدار K در هر نقطه را با منظور کردن باسباری به نام TEST در نقطه خطا تعیین کرد. به این طریـق مقدار K برای هر مورد با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \left[\frac{\frac{I_{SA-ch}}{۲} + I_{BA-ch} + I_{D-ch} + I_{Y-ch}}{\frac{I_{SA-ch}}{۲}} \right]$$

می‌توان دید که در اینصورت $I_{inf} + I_{relay} = I_{ch-TEST}$ می‌گردد.

اکنون

$$\frac{I_{inf} + I_{relay}}{I_{relay}} = K + ۱$$



شکل ۳۷-۹- شبکه قدرت برای مثال ۲-۹

و بنابراین، مقدار (K+۱) را می‌توان از فرمول بدست آورد:

$$\frac{I_{ch-TEST}}{(I_{SA-CH})/۲}$$

نتایج محاسبات رایانه‌ای برای خطا در نقاط مختلف بین Chipichape و Yumbo در جدول ۱-۹ ارائه شده‌اند. با دانستن مقدار K برای هر نقطه خطا، مقدار Z واقعی دیده شده توسط رله را می‌توان محاسبه نمود.

جدول ۱-۹- مقادیر جریان و امپدانس برای خطاهای روی خط Chipichape-Yumbo

Location of the fault (%)	I_{ch} * $(I_{ch}+I_{ch})/2$	I_{Yumbo}	I_{ch} in parallel line	Infeed current	1+K	Z_{ch} from Ch $=(1+K)Z_L$
0 (Ch)	1534.8 ∠ -87°	7748.6 ∠ -83°	3243.5 ∠ -82°	6227.1 ∠ -83°	5.048	0
10	1295.7 ∠ -87°	6117.8 ∠ -85°	2175.9 ∠ -83°	4822.1 ∠ -85°	4.721	2.733
20	1213.0 ∠ -86°	5501.5 ∠ -85°	1858.8 ∠ -83°	4378.5 ∠ -85°	4.609	5.337
30	1135.0 ∠ -86°	5084.6 ∠ -85°	1546.6 ∠ -84°	3949.9 ∠ -85°	4.479	7.780
40	1061.2 ∠ -85°	4594.5 ∠ -85°	1237.8 ∠ -84°	3533.5 ∠ -84°	4.329	10.025
50	990.7 ∠ -65°	4114.6 ∠ -85°	928.1 ∠ -85°	3123.9 ∠ -85°	4.153	12.022
60	922.7 ∠ -84°	3658.2 ∠ -85°	612.7 ∠ -87°	2715.2 ∠ -85°	3.943	13.697
70	8556.2 ∠ -84°	3158.9 ∠ -85°	288.2 ∠ -92°	2302.3 ∠ -85°	3.689	14.951
80	790.6 ∠ -83°	2669.0 ∠ -84°	70.8 ∠ +132°	1878.4 ∠ -84°	3.375	15.633
90	725.5 ∠ -82°	2164.6 ∠ -84°	422.0 ∠ +101°	1439.0 ∠ -84°	2.983	15.544
100 (Y)	576.8 ∠ -80°	1115.8 ∠ -81°	1115.8 ∠ +99°	539.8 ∠ -83°	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 (K+۱).

مقادیر تنظیم برای خطا در Chipichape با، و بدون، سهمی از Yumbo که متغیر

IRNPOWER

می‌باشد، نیز رسم شده‌اند. باید توجه داشت که پوشش ناحیه ۲ با درنظرگرفتن سهم خط موازی Chipichape-Yumbo تا ٦٨٪ افزایش یافته و سپس از ۹٤٪ تا انتهای خط بالا می‌رود. این به معنای آن است که در ناحیه ۲ رله در Chipichape همپوشانی می‌تواند رخ دهد.

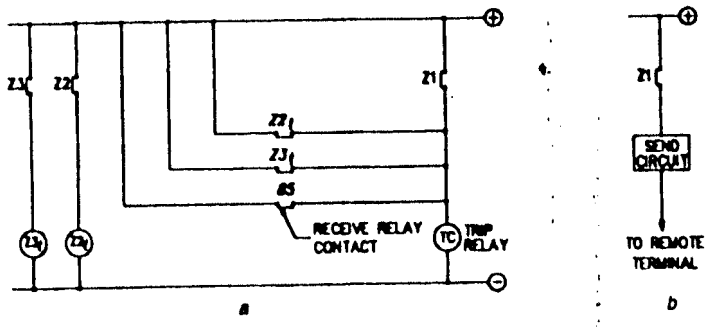
۱۱-۹- طرحهای مختلف با استفاده از سیگنالهای مخابراتی

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.

۱-۱۱-۹- کاهش برد با فرمان قطع مستقیم

در این حالت، تنظیمات رله دیستانسی که یک خط را حفاظت می‌نماید براساس معیارهای ذکر شده در بخش ۲-۹ 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 ۳۹-۹ عملکرد این طرح را با وجود رله دیستانس در یک طرف خط نشان می‌دهد.



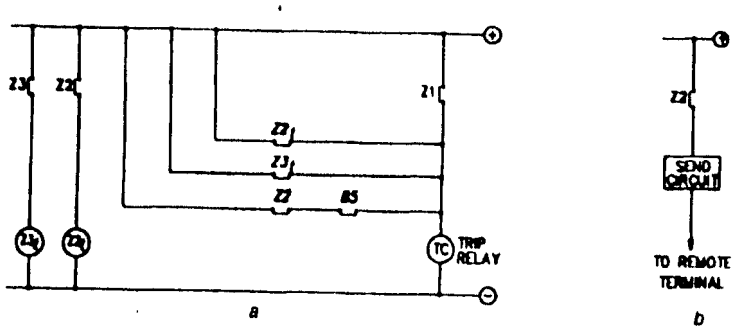
شکل ۳۹-۹- کاهش برد با فرمان قطع مستقیم

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 دریافت‌کنندهٔ 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 رله 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 ۴۰-۹ نمودار شماتیک برای رله دیستانس واقع در یک طرف خط را نشان می‌دهد.



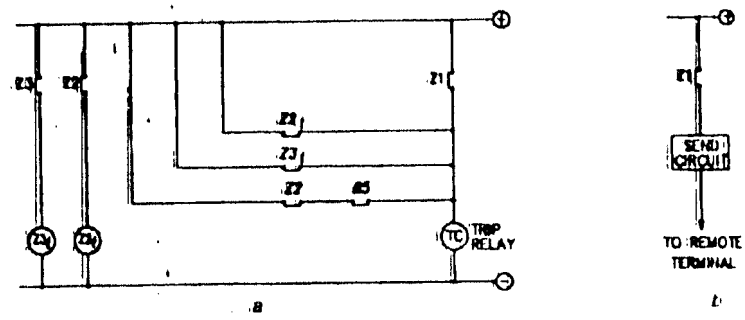
شکل ۴۰-۹- کاهش برد با مجوز از طریق سیگنال مخابراتی

a) مدار منطقی صدور فرمان قطع

b) مدار منطقی طرح ارسال سیگنال مخابراتی

۳-۱۱-۹- افزایش برد با مجوز از طریق سیگنال مخابراتی

با این آرایش، عملکرد رله بسیار شبیه طرح بالا بوده جـز آنکـه صـدور فرمـان قطـع 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 نـیز خطـا را دیده باشد. نمودار شماتیک این آرایش در شکل ٤١-٩ ارائه شده است.



شکل ٤١-٩- 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 موثـر برای افزایش راندمان توان انتقالی در طول خط می‌باشد. دلایل عمده بـرای جبران‌سـازی خـط عبارتند از:

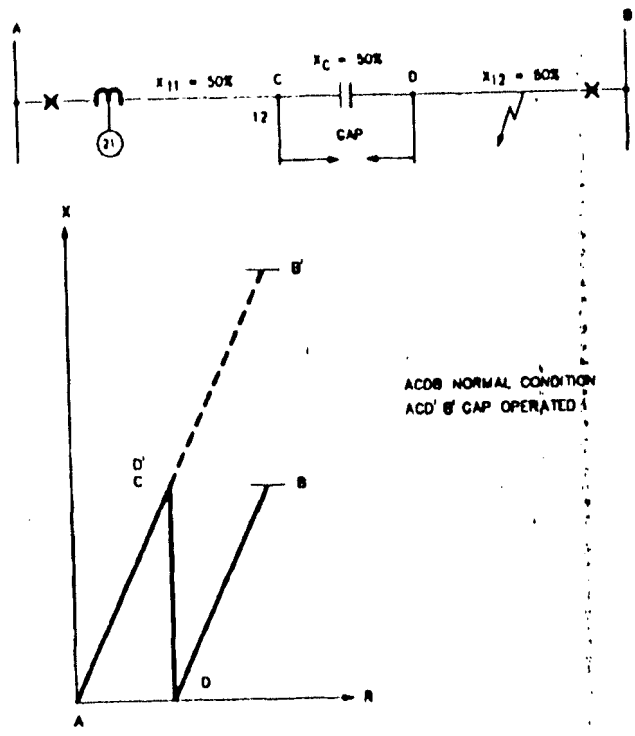
IRNPOWER

- 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 $P = \{V_1V_2sn(\phi_1 - \phi_2)\}/X$ 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 جبران‌سازی معمولاً در محدودهٔ 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 ۴۲-۹ امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله‌ای 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.

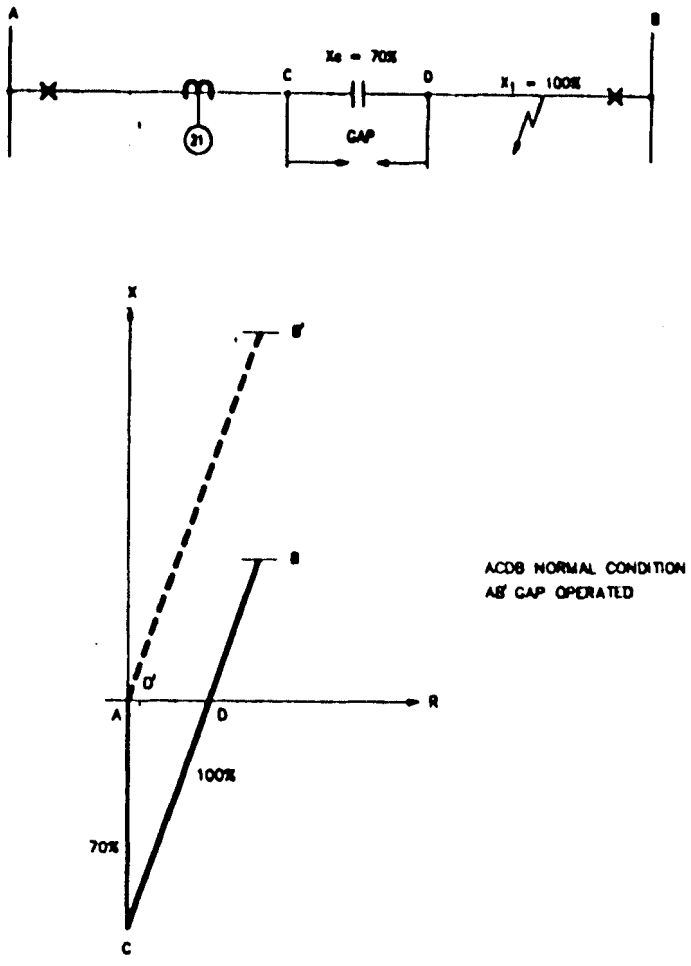
IRNPOWER



شکل ۴۲-۹- امپدانس ظاهری با جبران‌سازی سری در وسط خط

شکل ۴۳-۹ متناظر با حالتی است که ۷۰٪ جبران‌سازی سری در نزدیکی ابتدای خط در A انجام گرفته باشد. در اینصورت، رله خطا 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.

IRNPOWER



شکل ۴۳-۹- امپدانس ظاهری با جبران‌سازی سری در ابتدای خط

۱۳-۹- 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.

IRNPOWER

۱-۱۳-۹- مدار انشعابی با تغذیه میانی از دوسر

این وضعیت در شکل ٤٤-۹ نشان داده شده است که در آن فرض شده هیچگونه منبع تولیدی در باسبار C وجود ندارد. جریان تغذیه میانی I_B سبب می‌شود 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 می‌شود:

$$V_A = I_A Z_1 + (I_A + I_B) Z_2 \qquad (۹-٤٥)$$

بنابراین، امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله A عبارتست از :

$$Z_A = \frac{V_A}{I_A} = Z_1 + \left[1 + \frac{I_B}{I_A}\right] Z_2 \qquad (۹-٤٦)$$

$$Z_A = Z_1 + (1 + K_A) Z_2$$

که در آن K_A بصورت ثابت تغذیه میانی سیستم تعریف می‌شود.

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 درنظرگرفته نشود تمایل به کاهش برد موردنظر در طول خط OC دارد. مشابه همین حالت امپدانس ظاهری دیده شده توسط رله B عبارتست از:

$$Z_B = Z_2 + \left[1 + \frac{I_B}{I_A}\right] Z_2$$

$$Z_B = Z_2 + (1 + K_B) Z_2 \qquad (۹-٤٧)$$

از سوی دیگر، رله‌های A و B باید بطریقی تنظیم شوند که برد ناحیه ۱ آنها فراتر از باسبارهای B و C برای رلهٔ A ، و باسبارهای A و C برای رلهٔ B نروند. درغیراینصورت،

خطاهای ترانسفورماتور ایستگاه C می‌تواند سبب قطع خط AB گردد. ناحیه ۱ رله در A باید برای مقدار کمتر روابط زیر تنظیم شود:

$$Z_1 = ۰/۸۵\ Z_{AB}$$

$$Z_1 = ۰/۸۵\ (Z_{AO} + Z_{OC}) \qquad (۹-۴۸)$$

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 می‌گردد، خواهد شد. با این وجود، این مورد باعث کاهش برد رله در شرایط عادی که جریان I_B وجود دارد، می‌گردد. یک پیشنهاد دیگر آن است که معادله بصورت زیر اصلاح شود:

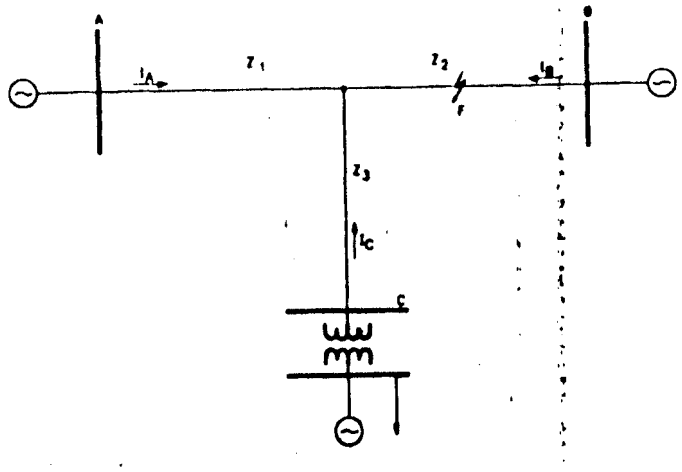
$$Z_1 = ۰/۸۵\left[Z_{AB} + (۱ + \frac{I_B}{I_A}) Z_{OC}\right] \qquad (۹-۴۹)$$

گر چه این پوشش موثر در طول خط OC را ضمانت می‌نماید ولی معادله (۹-۴۹) دارای این اشکال است که اجازهٔ افزایش برد در هنگام باز بودن مدار در B را می‌دهد. اگر امپدانس Z_{OC} در مقایسه با امپدانس 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 می‌یابد. 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 ۴۵-۹، 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:



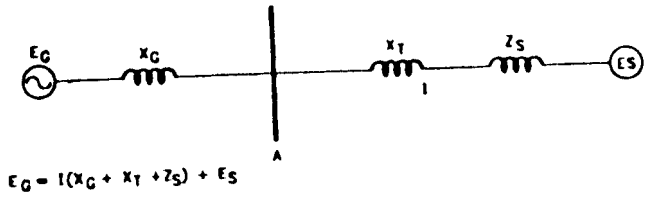
شکل ۹-۴۵- مدار انشعابی با تغذیه میانی از A ، B و C

$$Z_A = \frac{V_A}{I_A} = Z_1 + \left[1 + \frac{I_C}{I_A}\right] Z_2 \qquad (۹-۵۰)$$

مقدار Z_A بزرگتر از مقدار امپدانس واقعی خطا $(Z_1 + Z_2)$ بوده و باعث کاهش برد رله در A می‌گردد. تنظیمات رله در A بدین ترتیب باید براساس امپدانسهای واقعی سیستم، بدون درنظرگرفتن 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.

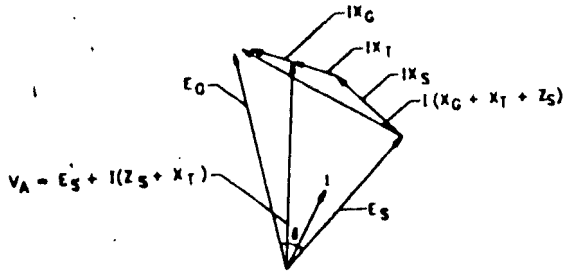
۱۴-۹- استفاده از رله‌های دیستانس برای آشکار نمودن قطع تحریک ژنراتورها

خطای سیستم تحریک در ژنراتور سبب قطع سنکرونیم با کاهش توان تولیدی و گرم شدن سیم‌پیچی‌ها در پی آمد 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 ٤٦-٩ نشان داد.

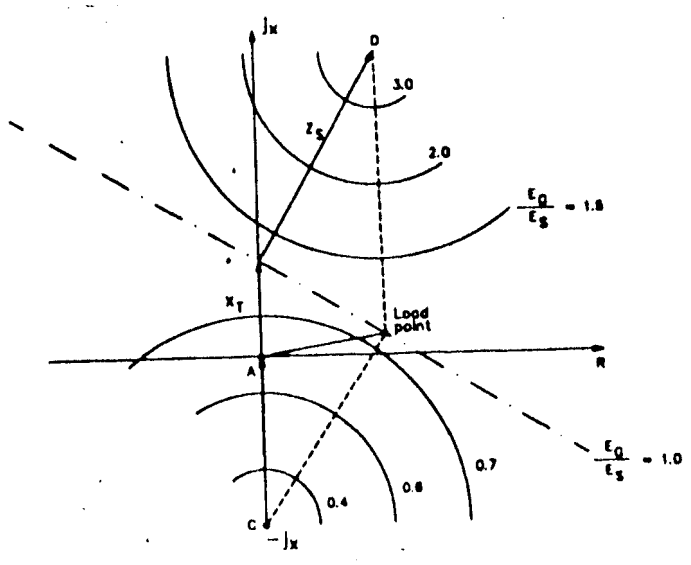


شکل ٤٦-٩- مدار معادل شبکه برای تحلیل قطع تحریک

نموداربرداری ولتاژها در شکل ٤٧-٩ ارائه گردیده و نموداربرداری امپدانسها در شکل ٤٨-٩ 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، دوایری با مراکزی در طول خط CD هستند.



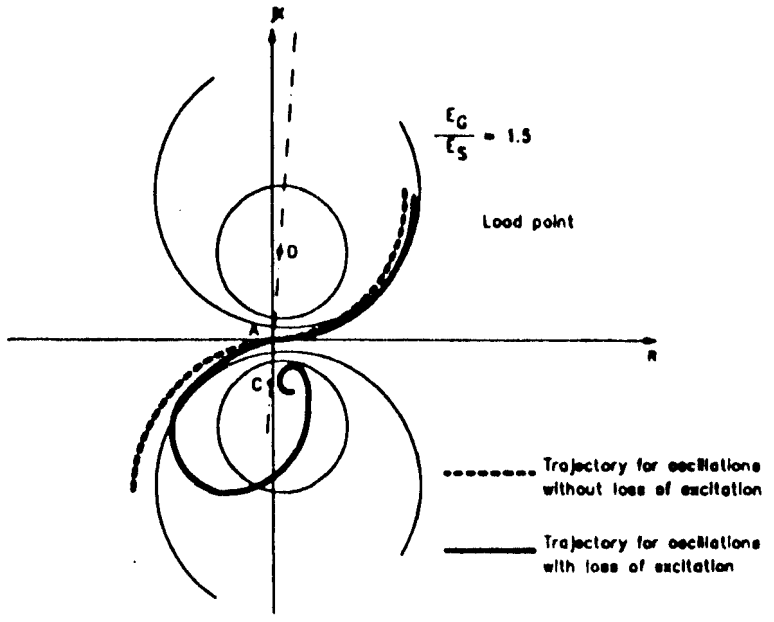
شکل ۴۷-۹- نمودار بردار ولتاژ برای شبکه شکل ۴۶-۹



شکل ۴۸-۹- نمودار بردار امپدانس برای شکل ۴۶-۹

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 امپدانس رویت شده توسط رله) در جهت نشان داده در شکل ۴۹-۹ است.

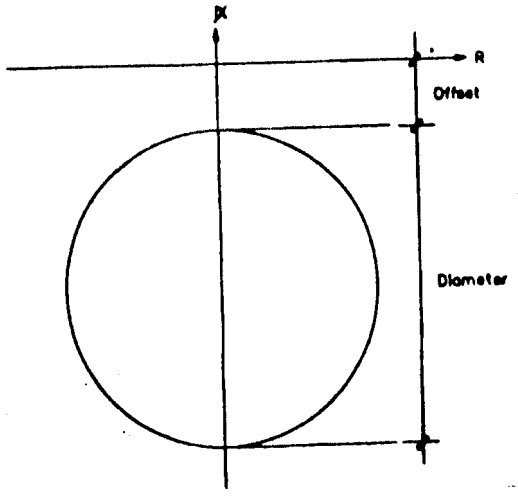


شکل ۴۹-۹- حرکت نقطه بار

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 ۵۰-۹ 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

۱-۹- 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 نمائید.

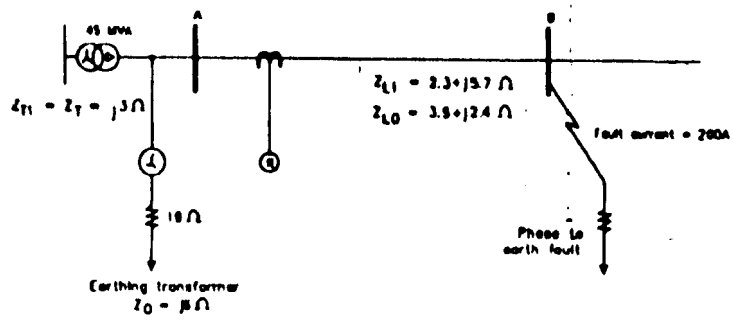
۲-۹- برای شبکه قدرت شکل ۵۱-۹ موارد زیر را محاسبه کنید:

الف) مقاومت خطا، اگر جریان خطا ۲۰۰A باشد.

ب) مقدار ثابت جبران‌سازی باقیمانده.

ج) امپدانس ثانویه که رله با وجود ثابت جبران‌سازی باقیمانده برابر ۱/۰ (۱۰۰٪) می‌بیند.

نسبت تبدیل CT برابر ۸۰۰/۱ و نسبت تبدیل VT برابر $\sqrt{۳}/۱۱۰ : \sqrt{۳}/۱۱۸۰۰$ می‌باشد.



شکل ۵۱-۹- شبکه قدرت تمرین ۲-۹

۳-۹- 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 می‌رود را تعیین نمائید.

نزدیکی نقطه حداکثر بار به مشخصه را بررسی کنید.

ثابتهای تغذیه میانی برای پوشش خطوط همجوار و دور دست را با درنظرگرفتن صرفاً ثابتهای تغذیه میانی متناظر با باسبار ۷ محاسبه نمائید.

توجه :

- نسبت تبدیلهای CT و VTها را به ترتیب 800/5 و 2000/1 درنظربگیرید.
- 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 ۷۵° می‌باشد.
- بار حداکثر در هر مدار خط Juanchito-Pance برابر ۴۰MVA با زاویه ۳۰°± است.