جزوه شماره (۱) ویرایش دوم

حفاظت سیستم‌های قدرت

(حفاظت و رله‌ها)

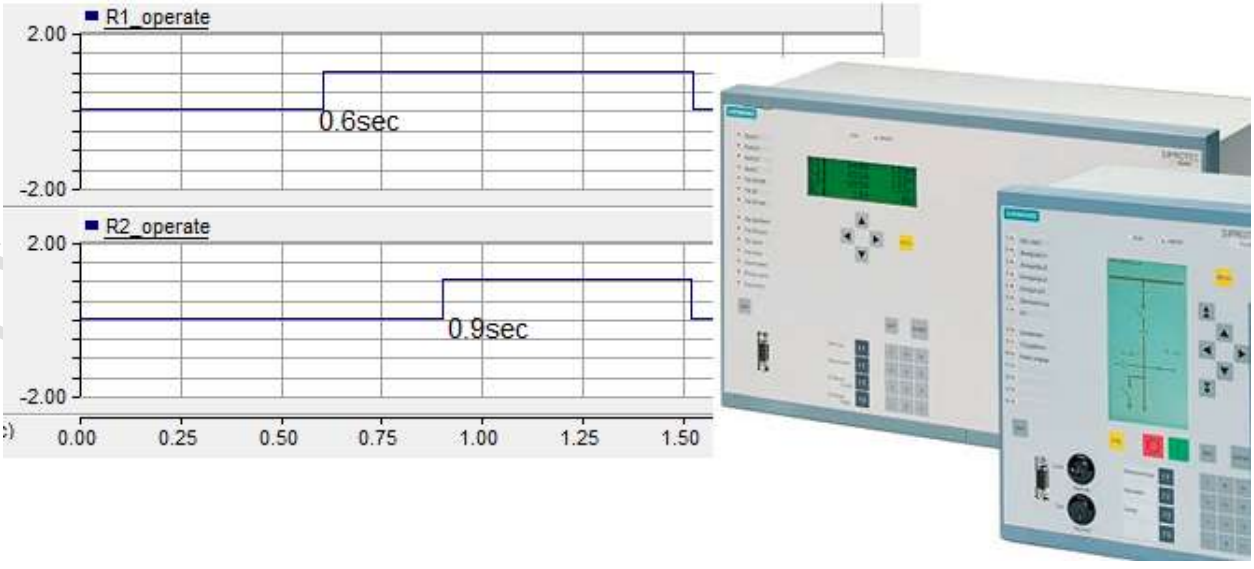
قابل استفاده برای دانشجویان

کاردانی و کارشناسی مهندسی برق و سایر علاقه‌مندان

تهیه و تنظیم : مهندس پیام رحیمی

منابع:

۱) اصول حفاظت سیستم قدرت:تالیف وای.جی.پاتانکار ترجمه مهندس حسن بخشی
۲) حفاظت و رله‌ها : تالیف دکتر حسین عسکریان ابیانه
۳) کاتالوگ شرکت‌ها و مقالات معتبر



PAYAMRAHIMI2558@YAHOO.COM

حفاظت سیسم‌های قدرت

حفاظت سیستم قدرت: سیستمی که پس از وقوع خطا، سبب می‌شود حداقل قطعی برق در سیستم قدرت وجود داشته باشد و در عین حال حداقل خسارت به تجهیزات شبکه وارد شود، حفاظت سیستم قدرت نام دارد. به عبارت دیگر حفاظت سیستم قدرت مجموعه‌ی رله‌های حفاظتی است که سبب بر طرف شدن کامل خطا می‌گردد.

حفاظت از سیستم‌های قدرت و تجهیزات بزرگ و کوچک آن از مباحث مهم و جذاب می‌باشد که باید به بهترین صورت انجام گیرد تا ثبات، پایداری و فعالیت مداوم سیستم تضمین گردد. پس زمان فرمان رله‌های حفاظتی و جداسازی قسمت‌های معیوب سیستم از قسمت‌های سالم بسیار حائز اهمیت بوده و از وظایف مهم مهندسین حفاظت برقراری تعادل بین خصوصیات انواع خطاها و نحوه تریپ و عملکرد رله‌ها می‌باشد و در طراحی سیستم حفاظتی باید اطمینان حاصل کرد که رله‌ها می‌توانند شرایط غیرعادی و نامطلوب را به طور صحیح شناسایی کرده و با صدور فرمان درست، از وارد شدن خسارات جبران ناپذیر به سیستم‌ها و مدارهای مربوطه جلوگیری کنند. پس لازم است دانشجویان و مهندسین برق شناخت کافی از حفاظت سیسم‌های قدرت داشته باشند.

وظیفه یک طرح حفاظتی و هدف اصلی حفاظت :

تضمین حداکثر تداوم برق‌رسانی است. به عبارتی کم‌ترین بی برقی را داشته باشیم.

در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با قطع حداقل تجهیزات قسمت خطا از مدار قطع شود که عملکرد صحیح رله‌ها بسیار مهم است.

مهمترین وظیفه‌ی رله‌های حفاظتی: کاهش اثرات خطا بر سیستم قدرت است.

اصول مقدماتی حفاظت سیستم قدرت:

حفاظت سیستم قدرت مجموعه‌ای از رله‌های حفاظتی است که سبب برطرف شدن کامل خطا می‌گردد.

وقوع خطا می‌تواند نتایج زیان‌باری را در پی داشته باشد نظیر:

۱) با عبور جریان‌های بزرگ غیر عادی از بخشی از شبکه، تجهیزات بیش از حد گرم می‌شوند.
۲) ولتاژهای سیستم خارج از میزان قابل قبول قرار می‌گیرند، در نتیجه ممکن است به تجهیزات خسارت وارد شود.

PAYAM.RAHIMI258@YAHOO.COM

۳) در قسمت‌هایی از شبکه ممکن است سیستم به صورت سه فاز نامتعادل شود. به این معنی که تجهیزات به طور صحیح نمی‌توانند کار کنند.

پارامترهای حفاظت یا برخی از تعاریف مورد نیاز برای حفاظت:

۱) **سرعت**: سریع‌ترین جدا سازی هدف است. وظیفه یک سیستم حفاظتی این است که قسمتی را که خطا در آن واقع شده در کوتاه‌ترین زمان ممکن از سایر قسمت‌های شبکه جدا کند هرچه زمان عملکرد کم‌تر باشد، سرعت آن بالاتر است.

۲) **حساسیت**: حساسیت به طور کلی عبارت از کمترین ولتاژ یا جریان برای عملکرد یک سیستم. معمولا در رله‌های جریان زیاد با توجه به خروجی CTها یک یا پنج آمپر، که یک آمپر حساس تر است.

۳) **تشخیص و انتخاب**: عبارت است از خاصیت تمیز دادن تحت شرایط خطا، مبنی بر اینکه کلید قدرت مناسب قطع شود و نتیجه آن قطع حداقل بار سیستم باشد.

۴) **پایداری**: توانایی یک سیستم حفاظتی در اینکه در تمام حالات نسبت به خطای خارج از ناحیه حفاظتی مربوطه واکنش از خود نشان ندهد. به عبارت دیگر در تمام حالات نسبت به خطای خارج از ناحیه‌ی حفاظتی سیستم قدرت از خود عکس العمل نشان ندهد.

سیسم‌های حفاظتی واحد و غیر واحد:

سیستم حفاظتی واحد به نحوی طراحی شده است که در شرایط خطا فقط در منطقه حفاظت شده شبکه عمل می‌کند و لازم نیست با چیزی هماهنگ شود(حفاظت دیفرانسیل)

سیستم حفاظتی غیر واحد یک سیستم حفاظتی است که فقط از یک قطعه‌ی واحد تجهیزات شبکه حفاظت نمی‌کند یا نواحی قطع آن به طور مشخص تعریف نشده است و هماهنگی لازم دارد (مثل حفاظت جریان زیاد و دیستانس)

نواحی حفاظت شده و پشتیبان یک سیستم حفاظتی غیر واحد

RAHIM2558@YAHOO.COM

حفاظت اصلی و پشتیبان :

وظیفه‌ی حفاظت اصلی این است که کلید قدرت، قسمت دچار خطا شده را با سرعت هرچه تمام‌تر قطع نماید. اما اگر حفاظت اصلی به هر دلیلی عمل نکند، باید حفاظت پشتیبان عمل کند. چنانچه حفاظت پشتیبان در محل حفاظت اصلی قرار گرفته باشد به حفاظت پشتیبان محلی و چنانچه دور از اصلی باشد به حفاظت پشتیبان دور موسوم است.

مفهوم خطا (Fault) چیست؟

وقوع حالت‌های غیر عادی در سیستم‌های قدرت، و به عبارت دیگر هر عاملی که باعث خروج سیستم از شرایط بهره‌برداری عادی گردد، خطا(Fault) نامیده می شود.

حالات غیر عادی در سیستم‌های قدرت عبارتند از :

وقوع انواع اتصال کوتاه نظیر اتصال کوتاه هادیها به یکدیگر و به زمین ، افزایش و یا کاهش بیش از حد ولتاژ، افزایش و یا کاهش بیش از حد فرکانس، افزایش حرارت تجهیزات در اثر توان عبوری بیش از حد از آن ها یا اضافه بار، از سنکرون خارج شدن ژنراتورها و ....

هیچ سیستم قدرتی را نمی توان طوری طراحی نمود که هرگز دچار خطا نشود در نتیجه این سیستم با یک‌سری نواقص سر و کار دارد که در زبان مهندسی حفاظت به این نواقص، خطا گفته می‌شود.

در این مبحث منظور ما از خطا یک اصطلاح منفی نیست و چیزی که بسیار پر اهمیت است این است که چگونه از به وجود آمدن آن جلوگیری کنیم و آن را به حداقل برسانیم.

اثرات نامطلوب انواع خطا را می‌توان با جداسازی عناصر معیوب از بقیه‌ی سیستم به حداقل رساند.

آثار وقوع خطا به سه دسته کلی تقسیم می شوند:

- خروج ژنراتورهای موجود در یک نیروگاه از حالت سنکرون و به تبع آن خروج آنها از شبکه‌ی قدرت و در نتیجه ناپایداری شبکه و خاموشی
- خسارات شدید به تجهیزاتی که در آنها خطا ایجاد شده است، بخصوص خطای اتصال کوتاه به دلیل اثرات حرارتی و مکانیکی شدید (با عبور جریان‌های بسیار بزرگ و غیر عادی در بخشی از شبکه که تجهیزات بیش از حد گرم می‌شوند)
- امکان خسارت به تجهیزات سالم در نزدیک محل بروز خطا

PAYAM.RAHIM1258@YAHOO.COM

انواع اتصال کوتاه از مهمترین و پراحتمال‌ترین خطاهایی هستند که در یک شبکه به وجود می‌آید.

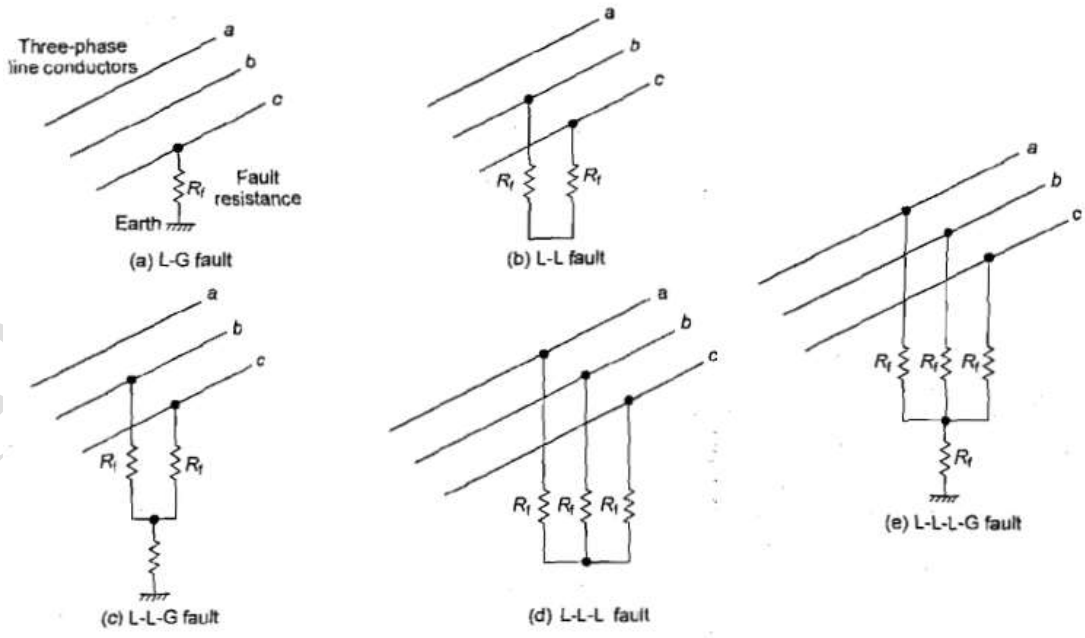
خطاهای اتصال کوتاه و اثرات آن:

این خطاها ممکن است بر اثر **برخورد یک یا دو فاز با زمین، اتصال دو یا سه فاز به یکدیگر** و ... به وجود آیند که در این حالت جریان زیادی از شبکه عبور می‌کند. عبور این جریان می تواند اثرات مختلف و زیانباری روی شبکه داشته باشد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به **اثرات حرارتی روی تجهیزات** اشاره کرد که باعث سوختن و آسیب دیدن عایق آن‌ها می شود. این امر ممکن است در زمانی در حدود چند ثانیه صورت گیرد. از این رو رفع خطا در یک سیستم باید در کوتاهترین زمان ممکن صورت گیرد. جدول زیر درصد احتمال وقوع انواع خطاهای اتصال کوتاه و شکل زیر انواع خطاهای اتصال کوتاه را نشان می‌دهد.

Fault statistics with reference to type of fault

Fault	*Probability of occurrence (%)*	*Severity*
L-G	85%	Least severe
L-L	8%	
L-L-G	5%	
L-L-L	2%	Most severe
Total	100%	

برای تشخیص حالت‌های غیرعادی در یک شبکه و ایزوله کردن بخش معیوب از سایر بخش‌ها از **سیستم حفاظت** استفاده می شود.



انواع خطای اتصال کوتاه در شکل فوق نمایش داده شد، شدت خطای سه فاز به هم بیشترین و احتمال وقـوع آن کم و حدود ۲ درصد است اما خطای یک فاز به زمین دارای کمترین شدت اما احتمـا وقـوع آن بـالا و حـدود ۸۵ درصد است.

احتمال وقوع خطا در تجهیزات:

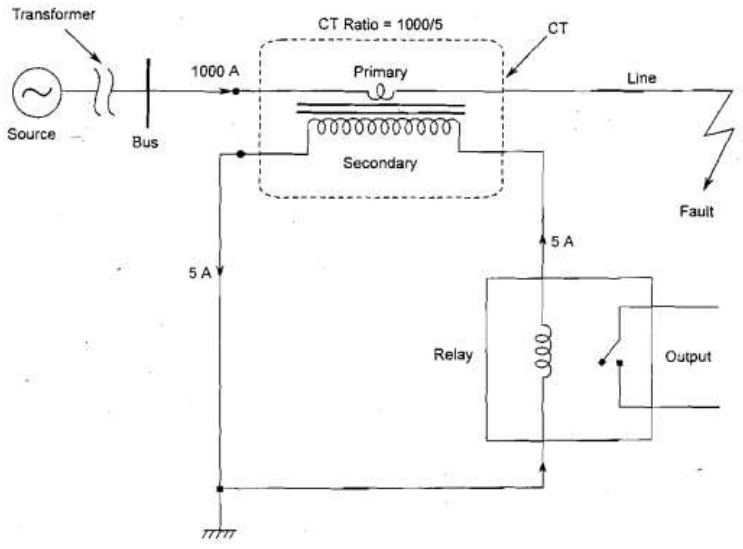
Power system element	*Probability of faults (%)*
Overhead lines	50
Underground cables	9
Transformers	10
Generators	7
Switchgear	12
CT, PT relays, control equipment, etc	12
Total	100%

علم رله :

رله از علم‌هایی است که هر روز در حال پیشرفت است پس منابع مورد مطالعه باید به روز باشند

اطلاعات شبکه چگونه توسط رله گرفته می‌شود؟

اغلب با وقوع خطاها در سیستم قدرت، تغییرات ناخواسته و شدید در دامنه ولتاژ یا جریان ایجاد می‌شود کـه در سیستم های حفاظت و در مرحله اول با استفاده از ترانس‌های ولتاژ و جریان، اندازه ولتاژ و جریان کاهش پیدا کرده و به رله داده می‌شود و رله با گرفتن اطلاعات و تشخیص خطا به کلید قدرت دستور قطع مـی‌دهـد. شـکل زیر چگونگی دریافت اطلاعات توسط رله را نشان می‌دهد.



اهمیت رله از بعد شبکه:

وقتی خطایی رخ می‌دهد، رله به کلید دستور قطع می‌دهد پس تنظیمات رله بسیار مهم است.

و برای تنظیمات درست رله به:

۱) جریان و ولتاژ در شرایط عملکرد عادی نیاز است (محاسبات پخش بار)

۲) جریان شرایط خطا نیاز است (محاسبات اتصال کوتاه)

به عبارتی به اطلاعات کل شبکه نیاز است.

رله‌گذاری آخرین قدم در طراحی در شبکه است وقتی رله‌گذاری درست است که شما تمامی اطلاعات شبکه را داشته باشید.

ویژگی‌های رله‌گذاری صحیح:

۱)در حین کار عادی شبکه عمل نکند(پخش بار اصولی)

۲) در اتصال کوتاه باید عمل کند (محاسبات اتصال کوتاه)

۳) بعد از رفع خطا شبکه باید پایدار باشد (محاسبات پایداری)

۴)عمل نکردن رله بسیار خطرناک است (یعنی محاسبات قابلیت اطمینان هم انجام شود)

پس اگر در سیستمی رله‌ها درست عمل کنند یعنی اطلاعات سیستم را کامل در اختیار دارید و محاسبات دقیق انجام شده است.

رله‌گذاری آخرین کار یک مهندس برق در شبکه قدرت است.

آیا در شرایط و کارکرد عادی شبکه می‌توان فهمید که رله‌گذاری اشتباه و یا تنظیمات غلط است؟

رله قرار است وقتی خطایی رخ دهد، عمل کند حال چگونه می‌توان بدون اینکه خطایی پیش آید بفهمیم رله درست تنظیم شده یا خیر!

مهمترین نکته در عملکرد رله:

رله مانند سربازی است که تمام امکانات در اختیارش گذاشته می‌شود تا در مواقع لازم وظیفه اصلی خود را انجام دهد، پس در موقع نیاز هیچ عذر و بهانه‌ای از او قابل پذیرش نیست.

تست هم خطرناک است. دستگاهی دارید که قرار است در طول سال چند بار عمل کند، اگر آن چند بار هم عمل نکند پس رله‌گذاری قابل توجیه نیست.

رله‌ها وسایل بسیار دقیقی هستند، به همین دلیل خطای ناشی از عناصر موجود در رله بسیار کم است.

زمان مناسب برای رفع خطا:

400KV(10-100ms) ،230KV(100-300ms) ،63KV(200-700ms) ،20KV(500ms-2s)

PAYAM.RAHIM1253@YAHOO.COM

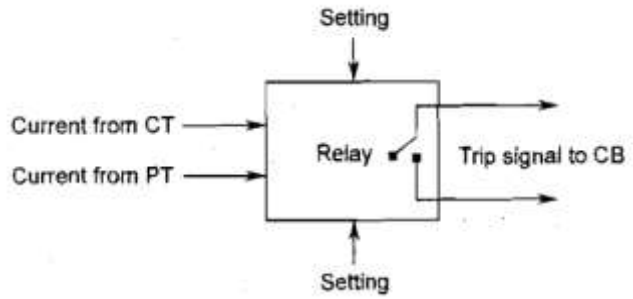
شرکت‌های مهم سازنده رله: زیمنس، ABB و AREVA

تفاوت فیوز و رله :

رله با گرفتن اطلاعات و تشخیص خطا به کلید قدرت دستور قطع می‌دهد و اما در فیوز تشخیص و قطع با هم است.

فرض کنید در شرایط عادی جریان ۸۰ آمپر در جلوی رله B داریم اگر خطای اتصال کوتاه جلوی رله رخ دهد، مقدار جریان سریع افزایش می‌یابد، یک دستگاه الکترونیکی جریان را از CT می‌گیرد و به طور دائم با مقدار تنظیمی مقایسه می کند اگر جریان بالاتر از حد تنظیمی رفت، یک سیگنال به کلید قدرت یا بریکر می‌فرستد به عبارت دیگر دستور قطع صادر می‌کند این دستگاه رله نام دارد.

دیاگرام مفهومی رله: در مبحث حفاظت می‌توان از رله به عنوان یک جعبه‌ی سیاه یاد کرد که ورودی آن ولتاژ و جریان و خروجی آن بسته شدن یک کنتاکت باز و دادن سیگنال فرمان به بریکر است . در ضمن رله دارای ورودی قابل تنظیم است که می‌توان رله را تنظیم کرد. رله اطلاعات ترانس‌های جریان و ولتاژ را که به ورودی می‌رسند، پردازش می‌کند و بر اساس اصول و منطق‌های از پیش تعیین شده عمل می‌کند.

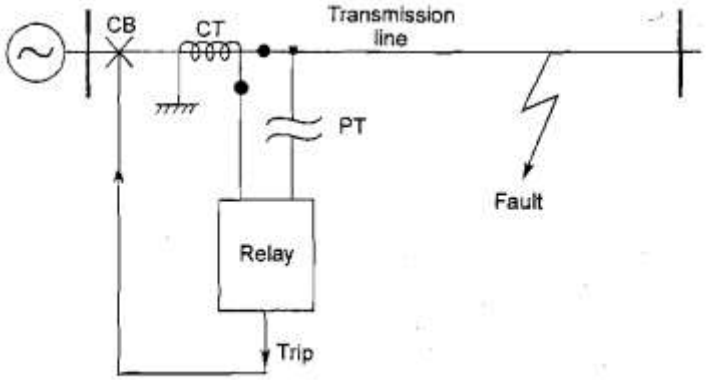


نقش رله در شبکه‌های قدرت:

نیروگاه قلب شبکه و رله مغز متفکر شبکه است. وظیفه‌ی رله تشخیص شرایط غیر عادی در بخشی از شبکه‌ی قدرت است به عبارت دیگر عملکرد یک رله سبب می‌شود بخشی از شبکه قدرت از بقیه شبکه جدا گردد که این امر باعث عملکرد صحیح بقیه سیستم خواهد شد.

شکل زیر سیستم حفاظت دیستانس یک خط انتقال شامل ترانس جریان، ترانس ولتاژ، رله و بریکر را نشان می‌دهد که از مهم‌ترین و اصلی ترین تجهیزات یک سیستم حفاظتی محسوب می‌شوند. البته در حفاظت جریان زیاد و حفاظت دیفرانسیل نیاز به ترانس ولتاژ نمی‌باشد که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد

PAYAM.RA.1358@YAHOO.COM



The protection system.

انواع رله‌ها از دیدگاه وظیفه :

رله‌های جریانی: با زیاد و کم شدن جریان از یک مشخص (جریان تنظیمی) عمل می‌کنند و شامل رله‌های جریان زیاد و جریان کم هستند.

رله‌های جریان کم چنانچه جریان تحریک از حدی کمتر شد دستور قطع را صادر می‌کنند

رله جریان زیاد(Over Current Relay) با وقوع خطا و با بیشتر شدن جریان از حدی مشخص دستور قطع را صادر می‌کنند.

رله‌های ولتاژی: با زیاد و کم شدن ولتاژ از یک حد مشخص عمل می‌کنند (در سیستم قدرت ولتاژ 0.9- 1.1Pu قابل قبول است).

معمولا تجهیزات مورد استفاده در یک شبکه الکتریکی برای کار در یک ولتاژ مشخصی طراحی شده‌اند. از این رو نباید ولتاژ اعمالی به آن ها از حد مشخصی کمتر و یا بیشتر شود. محدوده این تغییرات به نوع دستگاه بستگی دارد. برای حفاظت شبکه های الکتریکی در برابر تغییرات ولتاژ، از دو نوع رله به نام رله (Under Voltage) و رله(Over Voltage) استفاده می‌شود.

- رله **Under Voltage**

این رله برای حفاظت تجهیزاتی که در اثر افت ولتاژ آسیب می بینند مانند الکتروموتورها به کار برده می‌شود. و معمولا دارای یک تنظیم ولتاژی و یک تنظیم زمانی است و در صورت افت ولتاژ شبکه تا حد تنظیم شده و پس از طی زمان تنظیم شده عمل می‌کند. تنظیمات این رله به نوع وسیله مورد حفاظت بستگی دارد. به عنوان

PAYAMRAHIM1258@YAHOO.COM

مثال در مورد موتورهای الکتریکی، تنظیم ولتاژی این رله در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد ولتاژ نـامی و تنظـیم زمـانی آن در حدود چند ثانیه است.

- **رله Over voltage**

این رله برای حفاظت شبکه در برابر اضافه ولتاژ مورد استفاده قرار می گیرد و معمولا دارای دو تنظیم زمـانی و ولتاژی است. در صورت افزایش بیش از حد ولتاژ شبکه و رسیدن به حد تنظـیم شـده، در زمـان تنظـیم شـده عمل می‌کنند. تنظیم ولتاژی این رله در حدود ۱۲۰-۱۱۰ درصد ولتاژ نامی و تنظیم زمـانی آن در حـدود چنـد ثانیه است . این رله معمولا در خروجی ژنراتورها و روی با س بار اصلی شبکه نصب می‌شود.

رله‌های توانی: این رله‌ها بر اساس میزانی از قدرت عمل می‌کنند و به دو دسـته‌ی تـوان زیـاد و توان کم تقسیم‌بندی می‌شوند. به عبارت ساده‌تر این رله‌ها با زیاد و کم شدن توان عمل می‌کنند (تـوان زیاد: اضافه توان خطوط و توان کم: موتورها، چون زیر بار می‌خوابند).

رله‌های فرکانسی: با زیاد و کم شدن فرکانس عمل می‌کنند($49.8HZ < f < 50.2Hz$)

رله‌های حرارتی یا رله اضافه بار(Over Load Relay): از یک حد حرارت بیشتر عمل می‌کنند.

رله دیستانس: امپدانس خط از حدی کمتر شد عمل می‌کنند. و بر اسـاس فاصـله بـین تـرانس حفـاظتی و خطا عمل می‌کنند.

رله دیفرانسیل یا تفاضلی: بر اساس تفاضل مقداری و برداری دو کمیت (ولتاژ و جریان) عمل می‌کنند.

رله بوخهلتس: این رله یکی از مهمترین رله‌های حفاظتی ترانسفورماتورهای قدرت روغنی می‌باشـد، وظیفـه آن تشخیص بروز هر گونه اتصالی در محفظهٔ داخلی ترانسفورماتور و قطع سریع برق ورودی به آن می‌باشد .

رله‌های جهت‌دار (Directional): **این رله‌ها به جهت انتقال توان حساس هسـتند و** در دو نـوع جریـان AC و DC ساخته می‌شود.

در بیشتر طراحی ها جهت جریان برای نصب رله باید مشخص شود در این صورت از رله‌های جهتـی اسـتفاده می‌شود، این رله ها از دو قسمت جهت یاب و اضافه جریان تشکیل شده‌اند و این بدین معنی است که هـرگـاه در شبکه تحت حفاظت، اتصالی رخ دهد ، ابتدا این رله جهت عبور شدت جریان به محل اتصالی را تشـخیص داده و سپس اگر جریان در جهت عملکرد رله باشد و هم چنین از نظر مقدار بـه انـدازه‌ایـی باشـد کـه بتوانـد موجـب تحریک قسمت اضافه جریان رله گردد، رله تحریک شده و فرمان قطع را صادر می نماید.

PAYAM.RAHIMI258@YAHOO.COM

رله چک سنکرون: رله سنجش مقادیر فرکانس و اختلاف فاز و دامنه ولتاژ دو سیستم AC و فرمان وصل یا عدم وصل آنها.

۱) زمانی که دو خط از شبکه بخواهند به یکدیگر متصل گردند این رله رابطه فازی و ولتاژ دو خط را مقایسه نموده و در صورت تطابق (تمایز نباید بیش از ۱۰٪ باشد.) اجازه اتصال آنها را می دهد.

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

رله سنکرون‌کننده:

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

سنکرون‌کردن دستی نیازمند آموزش، استفاده از قدرت تشخیص، تجربه و دقت کافی از طرف اپراتور است. کلیدها و ژنراتورها در صورت عدم دقت اپراتور دچار صدمه می‌شوند. بنابراین فرمان وصل کلید، تنها وقتی که رله سنکرونیزم اجازه دهد، صادر می‌گردد.

رله اتصال زمین:

ساختمان و طرز کار این رله‌ها مانند رله‌های جریان زیاد بوده و وظیفه اصلی این رله، تشخیص بروز هر گونه اتصالی بین هر کدام از فازها با زمین و دو یا سه فاز با زمین نیز می باشند از نظر عملی، رله های اضافه جریان سیستم سه فازه و رله اتصال زمین تواماً به صورت یک سیستم حفاظتی واحد بسته می‌شود . رله اتصال زمین اصولاً حساستر از رله‌های اضافه جریان بوده و هرگاه یکی از فازها به زمین اتصال یابد ، رله اتصال زمین همراه با رله اضافه جریان همان فاز عمل می نماید . چنانچه مشاهده می‌گردد ، برای سه فاز فقط احتیاج به یک رله اتصال زمین می باشد

رله خطای زمین(ارت فالت):

یکی از عوامل اصلی در بروز خسارات مالی، صدمات و تلفات جانی به ویژه در منازل مسکونی، مراکز اداری، تجاری و مجتمع های صنعتی عدم رعایت مسائل ایمنی در استفاده از انرژی برق می‌باشد.

به منظور حفاظت از جان افراد در مقابل خطر برق گرفتگی و جلوگیری از خطرات جریان نشتی از کلیدهای حفاظت از خطر برق گرفتگی (محافظ جان) استفاده می شود. این کلیدها که براساس حساسیت خود به دو

PAYAM.RAHIMI253@YAHOO.COM

نوع خانگی و صنعتی تقسیم می شوند ، علاوه بر حفاظت افراد در مقابل تماس مستقیم و یا غیر مستقیم برق، با جلوگیری از نشتی جریان در حفاظت دستگاه‌ها و تجهیزات صنعتی نیز موثر می‌باشند . براین اساس در صورتی که حساسیت کلیدها تا ۳۰ میلی آمپر باشد این کلید به عنوان حفاظت از جان و در صورتی که حساسیت آن بیشتر از ۳۰ میلی آمپر باشد به عنوان حفاظت از تجهیزات صنعتی بکار می‌رود. اساس کار کلیدهای حفاظت از خطر برق گرفتگی، مقایسه جریان ورودی با جریان خروجی کلید می باشد به طوری که اگر جریان نشتی در مداری که کلید در آن واقع شده است بیشتر از حساسیت کلید باشد کلید عمل کرده و جریان ورودی و در نتیجه مدار را قطع می نماید .

از مزایای دیگر استفاده از کلیدهای حفاظت از خطر برق گرفتگی جلوگیری از بروز آتش سوزی در اثر وجود جریان نشتی می باشد. باتوجه به اینکه یک جریان ۰/۵ آمپری می تواند باعث بروز آتش سوزی شود، کلید حفاظت از خطر برق گرفتگی با تشخیص جریان نشتی و قطع جریان ورودی، مانع از بروز آتش سوزی می‌شود . همچنین از آنجاییکه در صورت وجود جریان نشتی در بدنه وسائل برقی و یا سیستم سیم کشی ساختمان ، این جریان به مرور زمان یاد می شود و احتمال سوختن وسایل برقی و سیستم سیم کشی ساختمان را به وجود می‌آورد لذا استفاده از کلیدهای حفاظت از خطر برق گرفتگی، با توجه به کاهش میزان هدر رفتن انرژی الکتریکی و برق مصرفی، صرفه جوئی اقتصادی و حفظ ثروتهای ملی را نیز در بر خواهد داشت.

ضمیمه شماره : ۱

دستورالعمل شماره۷

شماره‌های استاندارد ANSI برای رله‌ها
استخراج شده از استاندارد شماره ANSI / IEEE C37 . 2-1979

شماره استاندارد رله	توضیح و کاربرد رله
۱۲	رله سنجش اضافه سرعت ژنراتور (Over Speed Relay)
۱۴	رله سنجش کاهش سرعت ژنراتور (Under Speed Relay)
۲۱	رله دیستانس (رله سنجش کاهش و یا افزایش مقدار ادمیتانس، امپدانس و یا راکتانس مدار)
۲۱ P	رله دیستانس اولیه
۲۱ S	رله دیستانس ثانویه
۲۵	رله چک سنکرون (رله سنجش مقادیر فرکانس و اختلاف زاویه و دامنه ولتاژ دو سیستم AC و فرمان وصل و یا عدم وصل آنها)

۲۷	رله سنجش ولتاژ پائین و عمدتاً بی برق بودن تجهیزات (Under Voltage Ralay)
۳۲	رله برگشت قدرت (رله جهت دار سنجش توان برای جلوگیری از موتور شدن ژنراتور)
۳۷	رله قدرت و یا جریان کم (رله سنجش کاهش مقدار جریان و یا توان از یک مقدار از قبل تعیین شده)
۳۸	رله حفاظت یاتاقانها از دما (رله سنجش درجه حرارت یاتاقانها در شرایط غیرعادی مکانیکی)
۴۰	رله قطع تحریک
۴۵	رله آتش نشانی (رله سنجش دود و آتش)
۴۶	رله مولفه منفی جریان (رله سنجش مقدار نامتعادلی بین جریان فازهای یک سیستم سه فاز)
۴۹	رله درجه حرارت ترانسها و ماشینها (رله سنجش مقدار درجه حرارت سیم پیچ و یا روغن ماشین و ترانس)
۵۰	رله جریان زیاد لحظه‌ای (رله جریان زیاد که آنی عمل می‌کند)
۵۱	رله جریان زیاد تاخیری (رله جریان زیاد که با تاخیر عمل می‌کند)
۵۰ N	رله جریان زیاد در نوترال (لحظه‌ای)
۵۱ N	رله جریان زیاد در نوترال (تاخیری)
۵۹	رله اضافه ولتاژ
۶۰	رله تعیین مابین ولتاژ و جریان فازهای مختلف

۶۴	رله اتصال زمین (رله مشخص کننده اتصال استاتور ژنراتور به زمین و یا از بین رفتن سیستم عایقی تجهیزات دیگر)
۶۷	رله جریان زیاد جهت دار
۶۷ C	رله اتصال زمین جهت دار
۷۴	رله آلارم (روشن شدن پنجره آلارم و به صدا درآمدن بوق)
۷۷	رله عملکرد تله پروتکشن پی ال سی
۷۸	رله ضریب قدرت (برای خارج و وارد نمودن اتوماتیک خازنها)
۷۹	رله وصل مجدد (رله‌ای که وصل مجدد خودکار را کنترل می‌نماید)
۸۱	رله فرکانسی (رله سنجش فرکانس برای تعیین مقدار افزایش یا کاهش فرکانس سیستم)
۸۶	رله لاک اوت
۸۶ G	رله لاک اوت ژنراتور
۸۶ T	رله لاک اوت ترانسفورماتور
۸۷	رله حفاظت دیفرانسیل (رله سنجش درصد یا اختلاف فاز یا اختلاف سایر کمیتهای بین دو جریان و یا بعضی از کمیتهای دیگر)
۸۷ G	رله دیفرانسیل ژنراتور
۸۷ T	رله دیفرانسیل ترانسفورماتور
۸۷ GT	رله دیفرانسیل ژنراتور – ترانسفورماتور
۸۷ L	حفاظت دیفرانسیل خط
۹۰	تنظیم کننده اتوماتیک مثل عملکرد تایریستور SVC و ...
۹۴	رله تریپ

تقسیم بندی رله‌های حفاظتی با روند روبه رشد تکنولوژی ساخت

رله ها در ولتاژ و جریان بالا کار نمی کنند و ولتاژ و جریان ناشی از اتصال کوتاه توسط وسایلی مانند ترانسفورماتور ولتاژ و جریان تبدیل به مقدار کمتری می شود و رله ها با آن ولتاژ و جریان کم کار می کنند.

1. **رله‌های الکترومکانیکی (رله‌های نسل اول)**

معروف به رله‌های نسل اول، بسیار نادقیق و حساس به گرد و غبار و نیاز به توان بالا جهت کار

2. **رله‌های استاتیکی (رله‌های نسل دوم)**

دقیق‌تر از رله‌های نسل اول، دارای سلف و خازن و ترانزیستور و ....همچنان دارای مشکلاتی نظیر پایین بودن دقت اما مشکلات مکانیکی و حساسیت به گرد و غبار و .. نیست.

3. **رله‌های دیجیتالی (رله‌های نسل سوم)**

ابتدا ولتاژ و جریان را دیجیتال کرده و سپس با میکرو پروسورهای مطمئن محاسبات را انجام می‌دهند. از نسل دوم بهترند چون سوختن مقاومت و سلف و ...را نداریم، بسیار کوچک و با دقت بالا هستند

4. **رله‌های نیومریک یا عددی (نسل چهارم)**

نتیجه پیشرفت طبیعی نوع دیجیتالی هستند، در حال جایگزین شدن با رله‌های دیجیتالی می‌باشند.

نوع الکترومکانیکی و استاتیکی در حال جایگزین‌شدن با انواع دیجیتال بوده و استفاده از آنها بسیار محدود شده است. در نوع استاتیکی طراحی بر مبنای ادوات الکترونیکی آنالوگ بوده و لذا فاقد امکان برنامه‌ریزی می‌باشند. در نوع دیجیتال از ریزپردازنده‌ها و میکروکنترلرها جهت آنالیز جریان خطا و اعمال فرمان مناسب استفاده می‌شود و با توجه به این امر امکان برنامه‌ریزی رله و داشتن چندین مشخصه عملکردی متفاوت امکانپذیر خواهد بود. با این حال استفاده از رله‌های دیجیتال در حال حاضر گزینه اصلی حفاظتی می‌باشد، البته نوع نیومریک که تنها در جزئیات تکنیکی با رله‌های دیجیتالی تفاوت دارد و نتیجه پیشرفت طبیعی نوع دیجیتالی هستند، در حال جایگزین شدن با رله‌های دیجیتالی می‌باشند .

PAYAMRAHIMI2558@YAHOO.COM

رله اضافه بار (OVER LOAD RELAY)

معمولا هر مصرف کننده الکتریکی دارای توان مشخص و نامی است که توسط سازنده تعیین می‌گردد. در صورتی که توان مصرفی یک مصرف کننده بیشتر از توان نامی آن باشد، اصطلاحا دچار **اضافه بار** می‌شود. در این حالت دستگاه جریانی بیشتر از جریان نامی خود از شبکه می‌کشد که این امر Over load باعث گرم شدن بیش از حد آن می‌شود. به عنوان نمونه در موتورهای آسنکرون، که بیش از ۹۰ درصد موتورهای موجود در صنایع را تشکیل می‌دهند، چنانچه بر اثر اضافه بار مکانیکی دور موتور کاهش یابد، جریان استاتور افزایش می‌یابد. از این رو شرایط اضافه بار برای موتورها بسیار خطرناک بوده و می‌تواند موجب گرم شدن بیش از حد سیم‌پیچ استاتور و روتور و در نتیجه سوختن آ نها شود.

شماره استاندارد ANSI رله اضافه بار:

تجهیزات مختلف مانند ژنراتورها، ترانسفورماتورها و به ویژه الکتروموتورها را معمولا توسط رله‌های Overload که در استاندارد ANSI با کد شماره **۴۹** مشخص می‌شود، حفاظت می کنند. حرارت ایجاد شده در تجهیزات به میزان جریان بستگی دارد و از طرفی هر چه جریان اضافه بار بیشتر باشد الکتروموتور زودتر آسیب می‌بیند. از این رو منحنی عملکرد جریان-زمان رله‌های Overload از نوع معکوس بوده تا در جریان‌های بیشتر، زودتر عمل نموده و عملا از ایجاد گرمای زیاد در دستگاه جلوگیری شود.

- **مشخصات منحنی عملکرد رله اضافه بار:**

۱. عملکرد این رله‌ها باید به گونه‌ای باشد که در شرایط عادی عملکرد دستگاه، فرمان تریپ ندهند.

۲. در مورد الکتروموتورها، منحنی عملکرد مربوطه باید اجازه راه‌اندازی الکترو موتور را بدهد. **یعنی** زمان عملکرد رله براساس جریان راه‌اندازی الکتروموتور از زمان استارت موتور بیشتر باشد. **به عنوان مثال** :چنانچه الکتروموتوری در هنگام راه اندازی ۶ برابر جریان نامی را برای مدت ۴ ثانیه از شبکه می‌گیرد، در منحنی عملکرد رله حفاظتی، زمان معادل ۶ برابر جریان نامی از ۴ ثانیه بیشتر باشد.

معمولاً رله‌های Over load به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که در جریانی حدود ۱۱۰ ٪ جریان تنظیمی شروع به زمان گرفتن یا (Pick up) می‌کنند. در موارد خاص که الکتروموتور دارای جریان استارت زیاد یا زمان راه اندازی طولانی باشد ممکن است از رله‌ها با منحنی‌های عملکرد خاص استفاده شوند.

PAYAM.RAHIM1258@YAHOO.COM

رله‌های اضافه جریان یا رله جریان زیاد

حفاظت یک شبکه الکتریکی در برابر **جریان‌های زیاد** یکی از اولیه ترین حفاظت‌ها در شبکه است. باید توجه داشت **که حفاظت در برابر جریان زیاد با حفاظت در برابر اضافه بار متفاوت است**. در جریان‌ها که ناشی از وقوع اتصال کوتاه بین یک یا دو یا سه فاز با زمین، اتصال بین دو فاز و اتصال بین سه فاز هستند، جریان به مراتب بیشتری نسبت به حالت‌های اضافه بار از شبکه می‌گذرد که این جریان باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن تشخیص داده شده و قطع شود.

رلهٔ جریان زیاد، حساس به مقدار جریان اندازه‌گیری شده توسط CT بوده و در صورتی که مقدار جریان ورودی به رله از حد مشخصی که به جریان تنظیم یا جریان تحریک[1] معروف است، بیشتر شود، اطمینان حاصل می‌گردد که در ناحیه حفاظتی، خطا رخ داده و رله عمل خواهد کرد و باید عملکرد سریع، قابل اطمینان وانتخابی[2] داشته باشند، بویژه عملکرد انتخابی آن فاکتور بسیار مهمی است که با هماهنگی صحیح میان رله‌ها امکان‌پذیر خواهد بود .

شماره استاندارد ANSI رله جریان زیاد:

برای حفاظت در برابر اضافه جریان از رله Over current که دراستاندارد ANSI با کد شماره ۵۰ و ۵۱ مشخص شده استفاده می‌شود. کد شماره ۵۰ برای زمان عملکرد لحظه ای و آنی و کد ۵۱ برای عملکرد با تأخیر زمانی است. در حالت عملکرد لحظه‌ای یا آنی پس از این که جریان از میزان تنظیم شده برای رله بیشتر شد، رله آن را تشخیص داده و بلافاصله تریپ می دهد . در عملکرد باتأخیر زمانی، پس از رسیدن جریان به میزان تنظیم شده، رله پس از مدت زمانی که به میزان جریان بستگی دارد، دستور تریپ را صادر می کند. در این حالت معمولا از منحنی های معکوس با شکل و شیب متفاوت استفاده می‌شود.

تفاوت اضافه بار با اضافه جریان یا جریان زیاد

تفاوت اصلی در زمان است.

جریان اتصال کوتاه (چندین برابر جریان نامی) به دلیل تاثیرات مکانیکی و حرارتی **بسیار سریع** باید باید قطع شود (حداکثر در یک ثانیه) که اپراتور قادر به قطع نیست.

[1] Pickup

[2] selectivity

PAYAM.RAHIM1258@YAHOO.COM

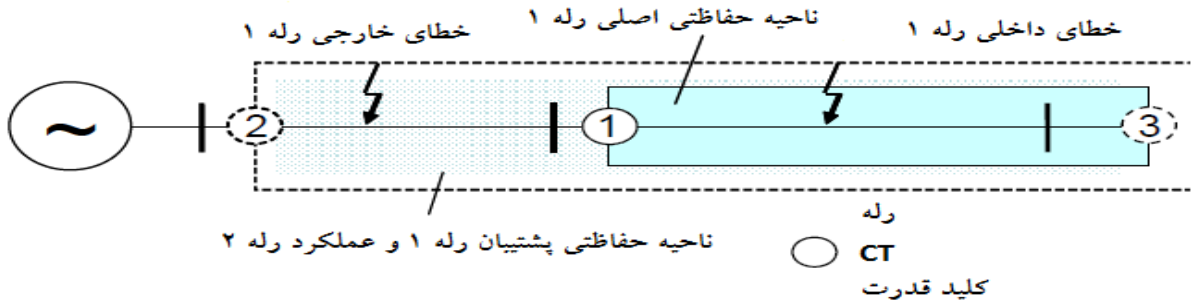
اضافه بار (جریان کمی بیشتر از جریان نامی) با توجه به ازدیاد گرما باید قطع شود (حدود یک دقیقه) اپراتور هم قادر به قطع می‌باشد.

مقایسه حفاظت جریان زیاد و حفاظت اضافه بار:

سیستم **حفاظت جریان زیاد** نباید با سیستم **حفاظت اضافه بار** اشتباه شود.

سیستم حفاظت اضافه بار بر مبنای ظرفیت حرارتی مدار می‌باشد که اگر جریان بار از حد معین تجاوز کند، فرمان قطع صادر می‌شود.

اما در **طرح حفاظتی جریان زیاد** در صورت بروز خطا، رله‌ها به ترتیب نزدیکی به نقطه اتصالی در نوبت قطع قرار می‌گیرند و در صورت عمل نکردن یک رله(اصلی)، رله بعدی(پشتیبان) فرمان قطع را صادر می‌کند.



ناحیه حفاظتی اصلی و پشتیبان

ضرورت برقراری حفاظت جریان زیاد:

پس از طراحی و احداث یک سیستم قدرت برای حفظ سرمایه‌گذاری، برخورداری از یک سیستم حفاظتی اتوماتیک و مطمئن از ملزومات آن محسوب می‌شود، چون وقوع انواع خطاها در شبکه اجتناب ناپذیر بوده و از آنجایی که توان تخریبی خطایی با سطح جریان زیاد، بسیار بالاست و تهدیدی جدی برای تجهیزات سیستم به حساب می‌آید، نقش و اهمیت حفاظت جریان زیاد که از جمله حفاظت اساسی و پایه‌ای در شبکه‌های قدرت الکتریکی محسوب می‌شود، بارزتر خواهد بود.

PAYAM.RAHIMI@YAHOO.COM

چگونگی مطرح شدن حفاظت جریان زیاد:

در اوایل پیدایش شبکه‌های قدرت حفاظت سیستم در مقابل جریانهای زیاد توسط فیوز انجام می‌گرفت اما با توسعه روزافزون شبکه قدرت تمایل به داشتن یک سیستم حفاظتی انتخاب کننده رونق گرفت، این نوع حفاظت یعنی برای هر خطایی، در هر نقطه از شبکه، مناسب‌ترین قطع انجام گیرد که سیستم حفاظتی جریان زیاد مطرح شد و گسترش یافت.

رله‌های جریان زیاد از نظر عملکرد به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- رله‌های جریان زیاد با مشخصهٔ عملکردی زمان ثابت یا زمان معین[3]
- رله‌های جریان زیاد با مشخصهٔ عملکردی زمان معکوس (کاهشی)

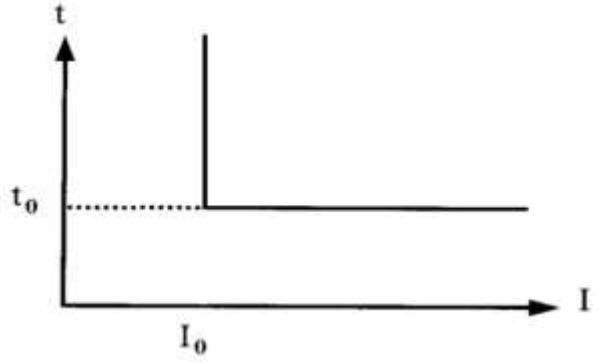
رله‌های جریان زیاد با مشخصهٔ عملکرد زمان معین (ثابت)

زمان عملکرد رله‌های جریان زیاد با مشخصهٔ عملکرد زمان ثابت به سطح جریان وابسته نیست و موارد استفاده در شبکه‌های توزیع و شبکه‌های سادهٔ شعاعی با انشعابات محدود می‌باشد (در نقاط انتهایی شبکه).

از طرف دیگر رله‌های زمان ثابت در صورت وقوع خطاهای شدید و ضعیف، به ترتیب تنظیمات زمان ثابت خود عمل می‌کنند و به تجهیزات شبکه خسارات بیشتری وارد می‌شود که از نقاط ضعف رله‌های جریان زیاد زمان ثابت است.

منحنی مشخصه رله زمان ثابت:

وقتی رله برای زمان ثابتی (فرض t_0) ثانیه تنظیم شود، با افزایش دامنه جریان، رله در زمان تنظیمی عمل می‌کند.



مشخصه عملکرد رله جریان زیاد زمان ثابت

[3] definite time

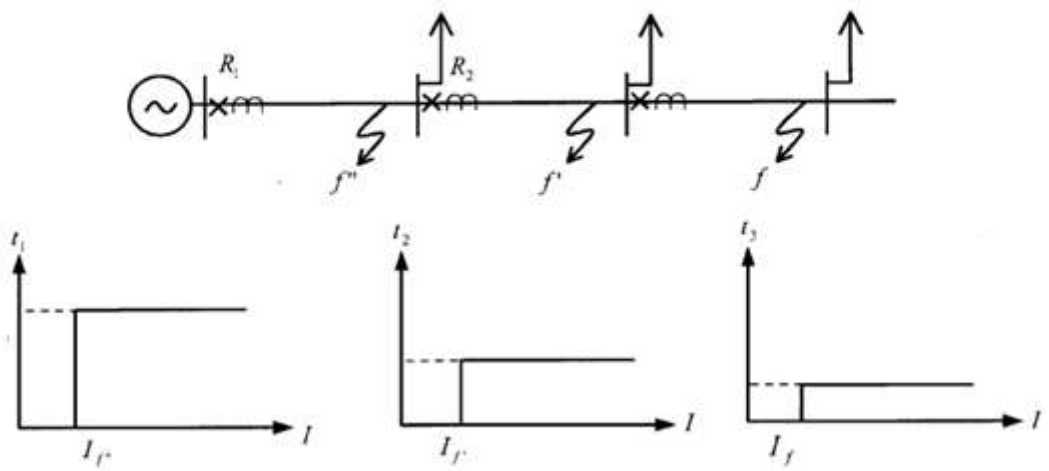
PAYAM.RAHIMI2580@YAHOO.COM

هماهنگی رله‌های زمان ثابت:

هماهنگی این رله‌ها به دو صورت انجام می‌گیرد

- هماهنگی زمانی (توسط زمان‌های مختلف)
- هماهنگی جریانی (توسط جریان‌های مختلف)

هماهنگی زمانی

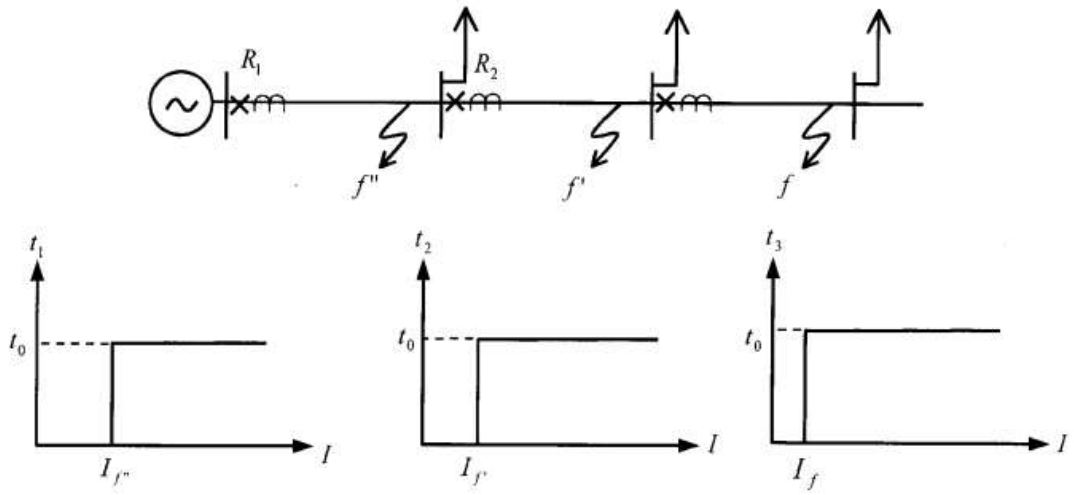


در این هماهنگی، جریان تنظیمی رله‌ها همگی ثابت و برابر(I_0) **هستند** و اما زمان عملکرد و قطع آنها متفاوت است . اشکال این نوع هماهنگی آن است که به ازای خطاهای نزدیک‌تر به منبع (اتصال کوتاه F'')که اصولا دارای سطح اتصال کوتاه بالاتر نیز می‌باشد به دلیل بالا بودن زمان تنظیم، رله‌ها زمان عملکرد طولانی تری خواهند داشت و این موضوع سبب می‌شود که تجهیزات شبکه دچار خسارت گردند.

$$t_1 > t_2 > t_3$$

PAYAM.RAHIMI.COM

هماهنگی به وسیله جریان



شکل فوق شمای یک شبکه توزیع را نشان می‌دهد که به وسیله رله‌های جریان زیاد زمان ثابت و هماهنگی جریانی حفاظت می‌شود.

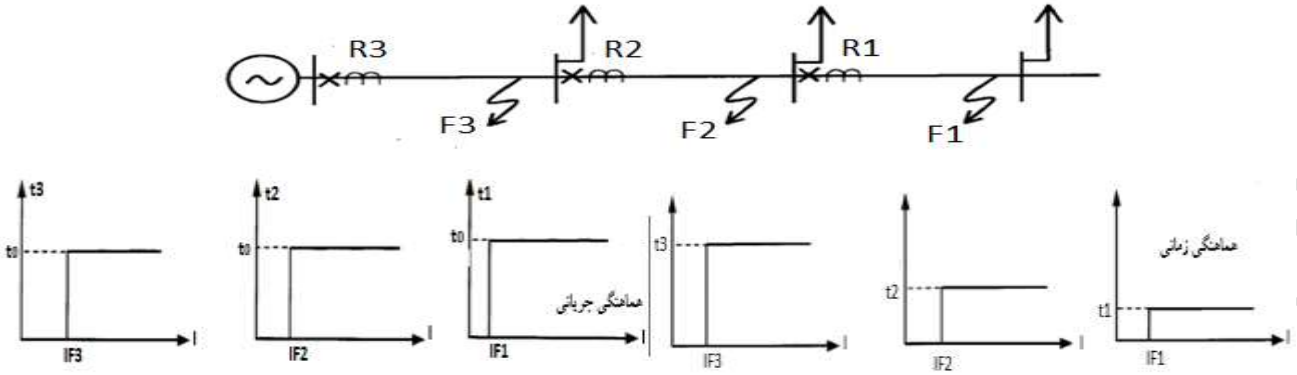
در این نوع هماهنگی زمان عملکرد و قطع رله‌ها با هم برابر می‌باشد و جریان تنظیمی آنها به گونه‌ای انتخاب شده است که برای رلهٔ R_1 جریان خطای واقع در انتهای خط اول یعنی f'' و برای رلهٔ R_2 جریان خطای واقع در انتهای خط دوم یعنی f' و برای رلهٔ R_3 جریان خطای واقع در انتهای خط سوم یعنی f تنظیم شده است و برای خطاهای نزدیک منبع رلهٔ R_1 فقط به اندازه $\mathbf{t_0}$(مثلا 0.1 ثانیه) طول می‌کشد که عمل کند و مشکل قبلی (هماهنگی زمانی) وجود ندارد.

$$I_{f''} > I_{f'} > I_f$$

معایب: با فرض وقوع خطای f امکان عملکرد همزمان رله‌های ۲ و ۱ و بی برقی ناخواسته وجود دارد.

سئوال: هماهنگی جریانی و هماهنگی زمانی رله جریان زیاد زمان ثابت را با توجه به شبکه شعاعی زیر و وقوع خطاهای مختلف با هم مقایسه کنید و معایب و برتری هر یک از روش‌های هماهنگی را بیان کنید.

PAYAM.RAHIM1258@GMAIL.COM



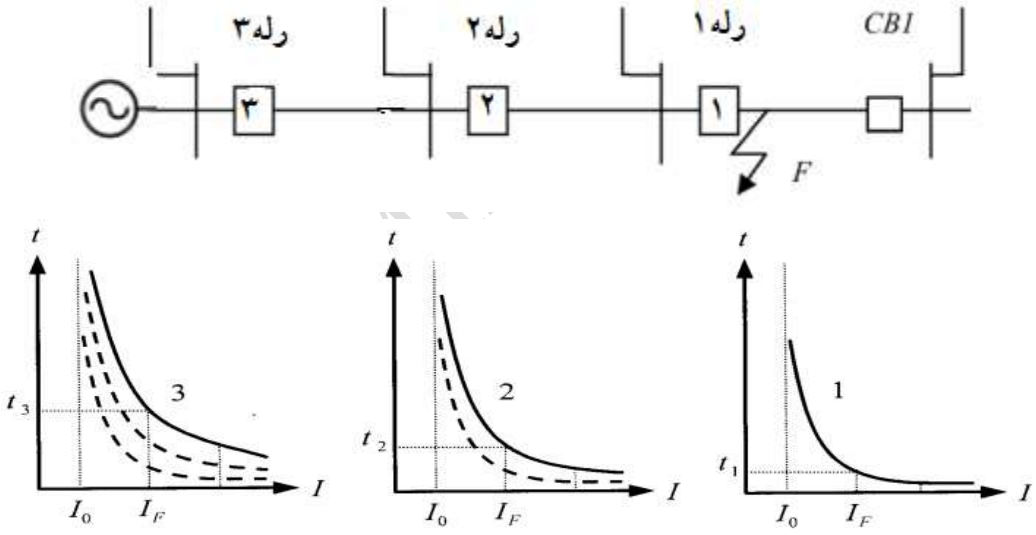
پاسخ : **در هماهنگی جریانی زمان عملکرد و قطع رله‌ها با هم برابر می‌باشد** ($t_1 = t_2 = t_3$)و جریان تنظیمی آنها به گونه‌ای انتخاب شده است که برای رلهٔ R_3 جریان خطای واقع در انتهای خط اول یعنی F_3 و برای رلهٔ R_2 جریان خطای واقع در انتهای خط دوم یعنی F_2 و برای رلهٔ R_1 جریان خطای واقع در انتهای خط سوم یعنی F_1 تنظیم شده است و برای خطاهای نزدیک منبع رلهٔ R_3 فقط به اندازه $\mathbf{t_0}$(مثلا 0.1 ثانیه) طول می‌کشد که عمل کند پس با فرض وقوع خطای F_1 امکان عملکرد همزمان رله‌های ۲ و ۳ و بی برقی ناخواسته وجود دارد.

در هماهنگی زمانی، جریان تنظیمی رله‌ها همگی ثابت هستند و اما زمان عملکرد و قطع آنها متفاوت است . اشکال این نوع هماهنگی آن است که به ازای خطاهای نزدیک‌تر به منبع (اتصال کوتاه F_3)که اصولا دارای سطح اتصال کوتاه بالاتر نیز می‌باشد به دلیل بالا بودن زمان تنظیم(t_3)، رله‌ها زمان عملکرد طولانی تری خواهند داشت و این موضوع سبب می‌شود که تجهیزات شبکه دچار خسارت گردند

PAYAM.RAHIM1258@YAHOO.COM

رله‌های جریان زیاد با مشخصهٔ عملکرد زمان معکوس

زمان عملکرد رله‌های جریان زیاد با مشخصهٔ عملکردی زمان معکوس وابسته به سطح جریان می‌باشد، زمان عملکرد این نوع رله‌ها با جریان عبوری از رله رابطه معکوس دارد به عبارت دیگر هرچه جریان خطا بیشتر باشد زمان عملکرد رله کمتر است یعنی اینکه به ازای خطاهای نزدیک منبع قدرت عملکرد رله بهتر و سریعتر است، در این رله‌ها در صورت زیاد شدن جریان عبوری، زمان عملکرد رله کوتاه‌تر می‌شود و تجهیزات شبکه قدرت، نظیر ترانسفورماتورها، کابل‌ها و...مدت زمان کمتری تحت جریان اتصالی قرار می‌گیرند و آسیب کمتری متوجه آنها می‌شود. همچنین تجهیزاتی نظیر کلیدهای قدرت و ریکلوزرها(بازبست‌ها) در سیستم قدرت با تجهیزات جریان زیاد زمان معکوس مجهز می‌شوند.. نتیجه اینکه عموما" برای حفاظت سیستم قدرت از رله‌های جریان زیاد زمان معکوس استفاده می‌گردد و هدف از هماهنگی رله‌ها طرح حفاظتی مطمئن[۴] و اضافه[۵] با کمترین اختلال برای مشترکان می‌باشد.



مشخصهٔ عملکرد زمان معکوس و هماهنگی رله‌های جریان زیاد

انواع مشخصه‌های عملکردی رله‌ها جریان زیاد زمان معکوس عبارتند از:

- مشخصهٔ عملکرد زمان معکوس استاندارد یا نرمال[۶]
- مشخصهٔ عملکرد زمان معکوس سریع(خیلی معکوس)[۷]

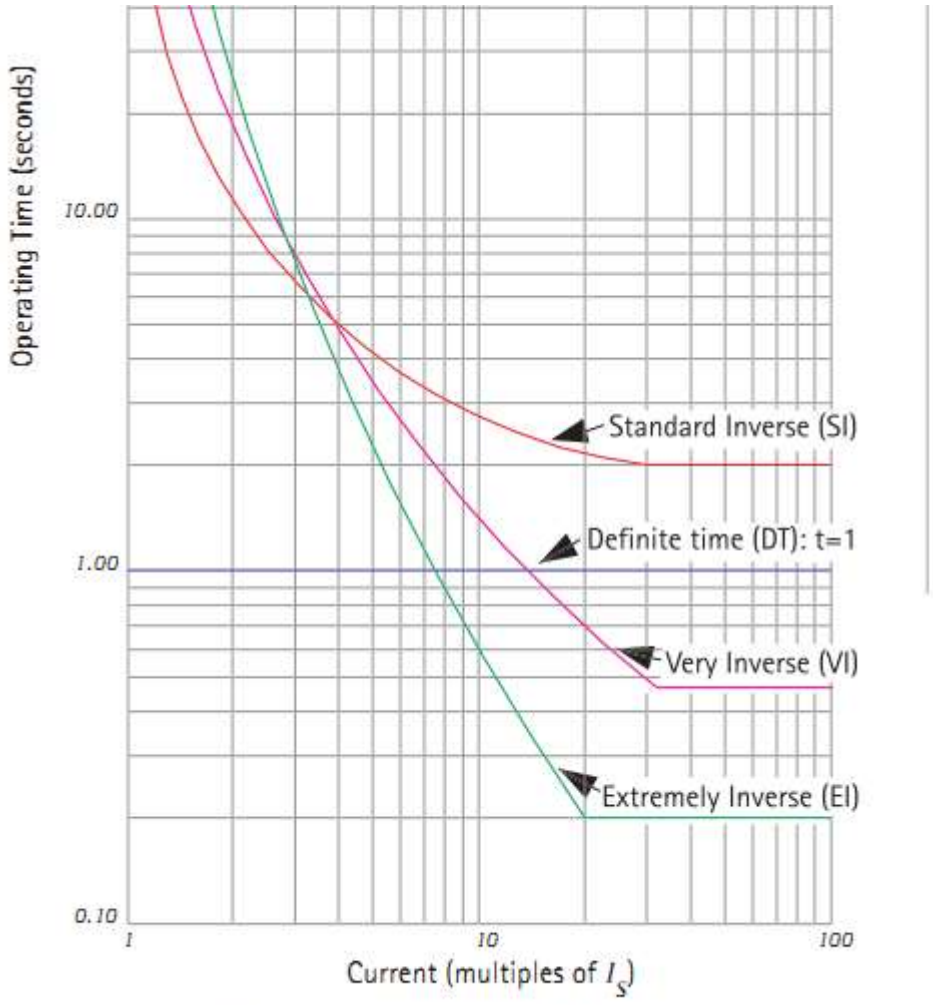
[4] Reliable

[5] Redundant

[6] normally inverse

- مشخصهٔ عملکرد زمان معکوس بسیار سریع(شدیدا" معکوس)[8]
- مشخصهٔ عملکرد معکوس با زمان عملکرد طولانی[9]

در اکثر اوقات استفاده از مشخصهٔ استاندارد قابل قبول است، اما اگر نتوان درجه‌بندی قابل قبولی بدست آورد استفاده از رله‌های زمان معکوس سریع و خیلی سریع هم به حل مشکل کمک می‌کنند، که در ادامه در مورد مشخصه‌ها بیشتر بحث می‌گردد.



انواع مشخصهٔ عملکردی رله جریان زیاد

[7] Very inverse

[8] extremely inverse

[9] Long- Time inverse

رابطهٔ عمومی عملکرد رله جریان زیاد زمان معکوس طبق استاندارد IEC 60255

$$T(S) = \frac{K}{(\frac{I_F}{I_S})^{\alpha} - 1} \times TMS \qquad \text{(a)}$$

$T_{(S)}$ = زمان عملکرد رله، I_S = جریان تنظیم پایه یا تحریک رله، TMS =ضریب تنظیم زمانی

I_F = جریان اندازه‌گیری شده توسط رله در هر لحظه (جریان وارد شده به رله در هر لحظه یا جریان خطا)

ومقادیر α و K رابطهٔ (a) با توجه به نوع مشخصهٔ عملکرد مطابق جدول زیر می‌باشد.

مقادیر ثابت رابطه زمان عملکرد رله جریان زیاد زمان معکوس طبق استاندارد IEC 60255

نوع مشخصه	α	K
زمان معکوس استاندارد	۰/۰۲	۰/۱٤
زمان معکوس سریع	۱	۱۳/۵
زمان معکوس بسیار سریع	۲	۸۰
معکوس با زمان عملکرد طولانی	۱	۱۲۰

Relay Characteristic	Equation (IEC 60255)
Standard Inverse (SI)	$t = TMS \times \frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1}$
Very Inverse (VI)	$t = TMS \times \frac{13.5}{I_r - 1}$
Extremely Inverse (EI)	$t = TMS \times \frac{80}{I_r^2 - 1}$
Long time standard earth fault	$t = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$

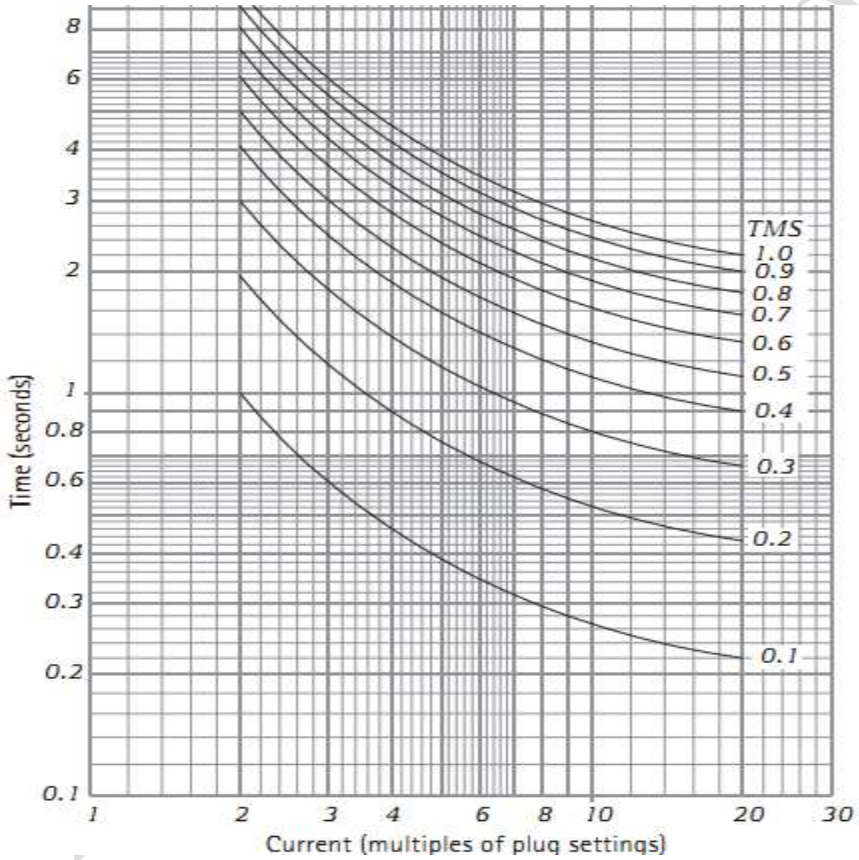
(a): Relay characteristics to IEC 60255

جریان تنظیم برای رله‌های جریان زیاد نباید کمتر از ماکزیمم جریان بار باشد، پس جریان عملکرد رله (حدود ۲-۱/۲ و به طور معمول حداقل ۱/۳-۱/۲) برابر حداکثر جریان بار تنظیم می‌شود.

PAYA1358@YAHOO.COM

تذکر:جریان تنظیم رله‌ها با I_S یا I_b یا RSI[10] نمایش داده می‌شود.

ضریب تنظیم زمانی (TMS[11] و یا TDS[12])، روی رله‌ها به طور معمول بین ۱-۰/۱ یا ۱-۰/۰۵ بیان می‌شود. در صورتی که TMS برابر(۱) باشد، به ازای یک جریان معین، بیشترین زمان عملکرد حاصل می‌شود و برعکس اگر روی (۰/۱) یا (۰/۰۵) قرار داده شود کمترین زمان عملکرد به دست می‌آید، اگر همهٔ مشخصه‌هایی که به ازای TMSهای مختلف به دست می‌آیند روی یک دستگاه مختصات رسم شوند، مطابق شکل زیر مشخصهٔ با TMS برابر(۱) بالای منحنی مشخصه‌های دیگر ومشخصهٔ با TMS مساوی (۰/۱) پایین‌تر از سایر مشخصه‌ها قرار می‌گیرد.



مشخصهٔ زمانی/جریانی معمول رله‌های IDMT[13] استاندارد(TMSهای‌مختلف)

[10] Relay Setting Input

[11] Time Multiplier Setting

[12] Time Dial Setting

[13] Inverses Definite Minimum Time (رله با مشخصهٔ معکوس زمانی که زمان عملکرد آن با افزایش کمیت مشخصهٔ الکتریکی به سمت یک مقدار حداقلی میل می‌نماید).

PAYAM...

در بسیاری موارد، زمان عملکرد رله با تغییر TMS به طور خطی تغییر می‌کند، بنابراین اگر عملکرد رله به‌ازای یک جریان معین و برای $TMS = ۱$ برابر t_1 باشد، زمان عملکرد آن به ازای همان جریان وTMSهای دیگر برابر $(t_1)\times(TMS)$ خواهد بود.

در شبکه های توزیع از رلۀ جریان زیاد هم به عنوان رلۀ اصلی و هم بعنوان رلۀ پشتیبان استفاده می‌شود که در شبکه های حلقوی بهم پیوسته و بزرگ، هماهنگ کردن رله‌های جریان زیاد کار پیچیده‌ای بوده که امروزه با استفاده از کامپیوتر این امر به سادگی محقق می شود.

هماهنگی رله‌های جریان زیاد زمان معکوس و فاصله لازم برای هماهنگی

به منظور هماهنگی بین رله های اصلی و پشتیبان برای حداکثر جریان خطا در جلوی رله اصلی، زمان عملکرد رله پشتیبان، حداقل با یک فاصله زمانی معروف به فاصله زمانی هماهنگی [۱۴](CTI) بزرگتر از زمان عملکرد رله اصلی در ناحیه حفاظتی مربوطه می‌باشد.

در گذشته فاصله زمانی هماهنگی ۰/۵ ثانیه در نظر گرفته می‌شد که این مقدار با تغییر در تکنولوژی ساخت کلیدهای قدرت و رله‌ها به ۰/۴ ثانیه و حتی بازه‌های کوتاه‌تر(۰/۳ و۰/۲۵) نیز عملی خواهد بود که در رابطۀ هماهنگی (۲) فاصلۀ زمانی هماهنگی برابر ۰/۳ ثانیه در نظر گرفته شده است.

$$\frac{0.14}{(\frac{I_F}{I_{S_B}})^{0.02}-1}\times TMS_B - \frac{0.14}{(\frac{I_F}{I_{S_m}})^{0.02}-1}\times TMS_m \geq 0.3 \qquad (b)$$

فاصله هماهنگی لازم بین رله‌های اصلی و پشتیبان (CTI) :

این زمان حدود ۰/۳ تا ۰/۵ ثانیه است و این فاصله ناشی از عوامل زیر می‌باشد:

۱) خطای مربوط به ترانس جریان و منحنی مشخصه رله (این خطا حدود ۰/۱۵ ثانیه می‌باشد)

۲) زمان عملکرد بریکر یا کلید اصلی (حدود ۰/۱ ثانیه منظور می‌گردد)

۳) زمان عملکرد رله پس از برداشتن خطا (حدود ۰/۰۵ ثانیه منظور می‌گردد)

۴) زمان اطمینان (حدود ۰/۱ ثانیه منظور می‌گردد)

فاصله لازم برای هماهنگی برابر است با مجموع زمان‌های فوق

[14] Coordination Time Interval (CTI)

PAYAM.RAHIM1258@YAHOO.COM

- ***اصول لازم برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد :**

الف – جریان تنظیم برای رله‌های فازی نباید کمتر از ماکزیمم جریان بار باشد (به طور معمول حداقل ۱/۲ تا ۱/۳ برابر ماکزیمم جریان بار).

ب – برای آخرین رله (دورترین رله نسبت به منبع تغذیه) ضریب تنظیم زمانی را مینیمم، ۰/۰۵ تا ۰/۱ در نظر می‌گیریم.

ج – برای خطوط موازی و شبکه‌های حلقوی از رله‌های جهت دار استفاده می‌کنیم.

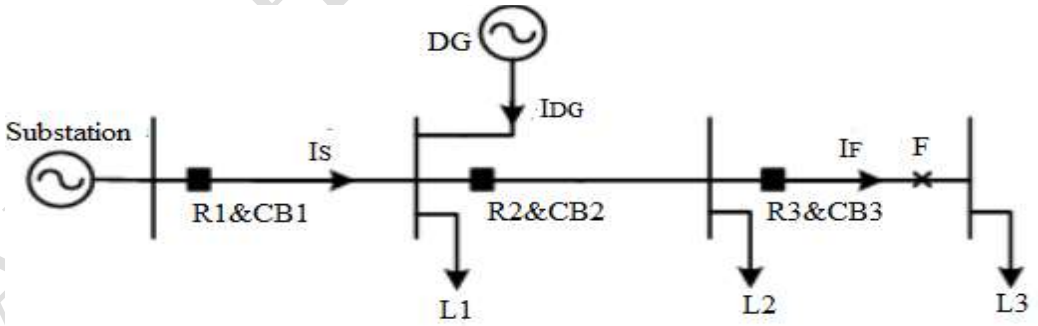
د– تنظیم رله‌های زمین را حدوداً ۰/۱ جریان بار در نظر می‌گیریم.

ه – برای هماهنگی رله‌های پشتیبان با رله‌های اصلی، محل اتصال کوتاه را درست در جلوی رله اصلی انتخاب می‌کنیم.

و – زمان (ضریب تنظیم زمانی) رله‌های پشتیبان را با توجه به اتصال کوتاه یاد شده به اندازه فاصله زمانی هماهنگی بیشتر از رله اصلی در نظر می‌گیریم.

عدم هماهنگی رله– رله

شکل زیر فیدر توزیع اصلی که به وسیله رله‌های جریان زیاد R_3, R_2,R_1 محافظت می‌شود را نشان می‌دهد.



عدم هماهنگی رله‌های جریان زیاد با حضور DG

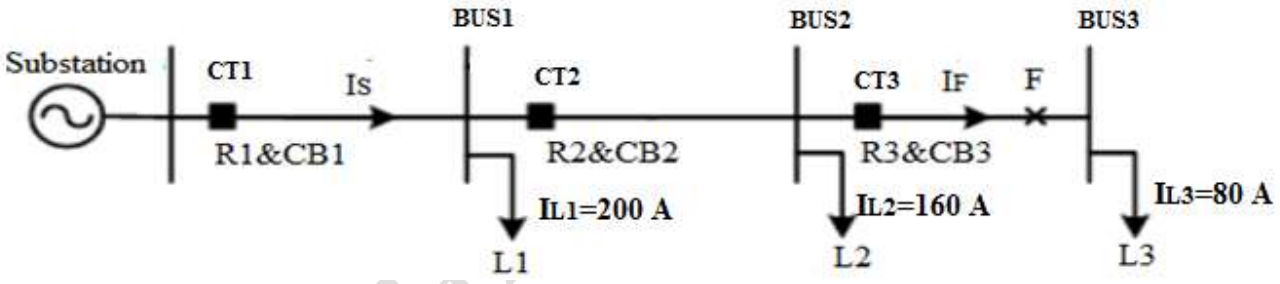
به منظور هماهنگی رله‌های R_3, R_2 برای حداکثر جریان خطا در نقطه F، زمان عملکرد رله R_2، حداقل با یک فاصله زمانی معروف به فاصله زمانی هماهنگی (CTI) بزرگتر از زمان عملکرد رله R_3 می‌باشد و با اتصال منبع تولید پراکنده(DG) به سیستم احتمال کاهش فاصله هماهنگی بین رله‌ها وجود دارد. هر چه ظرفیت این

منبع بیشتر گردد، سطح اتصال کوتاه افزایش یافته و با وقوع خطا، جریان خطا از حد تنظیمی رله‌ها فراتر رفته و در هماهنگی رله‌ها اختلال ایجاد می‌گردد.

سئوال:در شبکه قدرت با ساختار شعاعی شکل زیر با استفاده از رله‌های جریان زیاد زمان معکوس با مشخصه عملکردی استاندارد، حفاظت کامل جریان زیاد آنرا طراحی کنید و نسبت تبدیل ترانس‌های جریان و زمان عملکرد رله‌های R_3 و R_2 با وقوع خطا جلوی رله R_3 و TMS تمام رله‌ها را محاسبه نمایید.

یعنی اینکه : هماهنگ سازی رله‌ها را انجام دهید (مرحله اول : هماهنگ سازی رله‌های R_3 و R_2 با قرار دادن خطای سه‌فاز جلوی رله R_3 و مرحله دوم :هماهنگ سازی رله‌های R_2 و R_1 با قرار دادن خطا جلوی رله‌ی R_2).

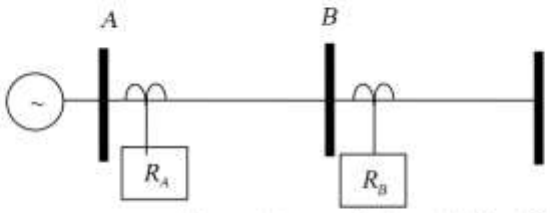
در حل مسئله CTI=0.5 Sec ، TMS دورترین رله برابر 0.1 ، جریان تحریک رله‌ها 1.25 حداکثر جریان بار در نظر گرفته شود.



حداکثر جریان خطا جلوی رله R_3 با وقوع خطا روبروی R_3	حداکثر جریان خطا جلوی رله R_2 با وقوع خطا روبروی R_2	حداکثر جریان خطا جلوی رله R_1 با وقوع خطا روبروی R_1
3000A	4000A	5000A

PAYAM.RAHIMI@YAHOO.COM

برای تنظیم و هماهنگی رله اصلی و پشتیبان در شبکه‌های شعاعی نکات زیر را باید رعایت کرد. با توجه به شکل زیر رله A پشتیبان رله اصلی B می‌باشد.



الگوریتم تنظیم و هماهنگی رله اصلی و پشتیبان به‌صورت زیر می‌باشد:

- برای آخرین رله یعنی رله B (دورترین رله نسبت به منبع تغذیه) ضریب تنظیم زمانی(TSM) را مینیمم در نظر می‌گیریم. که این مقدار برابر با ۰٫۰۵ تا ۰٫۱ در نظرگرفته می‌شود.

$$TSM_B = ۰٫۰۵$$

- ✓ جریان تنظیم (تنظیم ورودی رله یا RSI) برای رله‌های فازی را به طور معمول ۱٫۲ تا ۱٫۳ برابر جریان بار در نظر می‌گیریم.

$$RSI = I_b = ۱٫۳ I_{Load}$$

- ✓ جریان تنظیم(تنظیم ورودی رله یا RSI) برای رله‌های زمین را حدوداً ۰٫۱ جریان بار در نظر می‌گیریم.

$$RSI = I_{bG} = ۰٫۱ I_{Load}$$

- ممکن است در بعضی از مسایل ضریب تنظیم جریانی(PSM) موجود باشد، لذا می‌توان طبق تعریف زیر جریان تنظیم رله (RSI یا I_b) را بدست‌آورد :

$$PSM = \frac{I_F}{I_b} \Rightarrow RSI = I_b = \frac{I_F}{PSM}$$

که در آن PSM ضریب تنظیم جریانی و جریان اتصال کوتاه عبوری از رله و I_b جریان تنظیم رله می‌باشد.

- با داشتن مقدار تنظیم ورودی رله RSI و جریان اولیه CT از رابطه زیر ضریب تنظیم جریان (PS) رله اصلی B و رله پشتیبان A را محاسبه می‌کنیم:

$$RSI = \frac{PS \times CT}{۱۰۰} \Rightarrow PS = \frac{۱۰۰ \times RSI}{CT}$$

Time Setting Multiply	Relay Setting Input	Plug Setting Multiply	Plug Setting
TSM	RSI	PSM	PS

- ✓ برای رله‌های فازی، ضریب تنظیم جریان PS بدست آمده را نرم می‌کنیم. طریقه نرم کردن از ۵۰ درصد تا ۲۰۰ درصد در گام‌های ۲۵ درصدی صورت می‌گیرد.
- ✓ برای رله‌های زمین، ضریب تنظیم جریان PS بدست آمده را نرم می‌کنیم. طریقه نرم کردن از ۱۰ درصد تا ۴۰ درصد در گام‌های ۱۰ درصدی یا از ۲۰ درصد تا ۸۰ درصد در گام‌های ۲۰ درصدی صورت می‌گیرد.

- حال RSI نهایی رله اصلی B و رله پشتیبان A را با توجه به مقدار نرم شده PS_B و PS_A ، از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$I_b = RSI = \frac{PS \times CT}{۱۰۰}$$

- برای هماهنگی رله‌ی پشتیبان A با رله‌ی اصلی B، محل اتصال کوتاه را درست در جلوی رله اصلی B انتخاب می‌کنیم.
- زمان عملکرد رله از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$t=\frac{۰٫۱۴\times TSM}{\left(\frac{I_F}{I_b}\right)^{۰٫۰۲}-۱}$$

- زمان عملکرد رله‌ی A را با توجه به اتصال کوتاه یاد شده به اندازه فاصله زمانی هماهنگی(TD) بیشتر از رله اصلی B در نظر می‌گیریم.

$$t_A\big|_{Fault@B}-t_B\big|_{Fault@B}=TD$$

که در آن فاصله زمانی هماهنگی(TD) از مجموع زمان عملکرد کلید اصلی، زمان خطای مربوط به ترانسفورماتور جریان و منحنی مشخصه رله، زمان عملکرد رله پس از برداشتن خطا و زمان اطمینان حاصل می‌شود. این زمان حدود ۰٫۳ تا ۰٫۵ ثانیه می‌باشد.

- با توجه به معادله بالا، معادله زیر نتیجه می‌شود:

Time Delay

$$\frac{۰٫۱۴\times TSM_A}{\left(\frac{I_{FBA}}{I_{bA}}\right)^{۰٫۰۲}-۱}-\frac{۰٫۱۴\times TSM_B}{\left(\frac{I_{FBB}}{I_{bB}}\right)^{۰٫۰۲}-۱}=TD$$

که در آن I_{FBA} جریان اتصال کوتاه گذرنده از رله‌ی پشتیبان A و I_{FBB} جریان اتصال کوتاه گذرنده از رله‌ی اصلی B می‌باشد، به این شرط که اتصال کوتاه در شینه‌ی B رخ داده باشد.

- با توجه به معادله بالا و داشتن تمامی مقادیر موجود در این معادله TSM رله‌ی پشتیبان A را بدست می‌آوریم.
- ضریب تنظیم زمانی رله پشتیبان A (TSM_A) بدست آمده را نرم می‌کنیم. بالاترین ضریب تنظیم زمانی ۱ و کمترین آن ۰٫۱ می‌باشد و طریقه نرم کردن در بازه ۰ تا ۱ در گام‌های ۰٫۱ یا گام‌های ۰٫۰۵ صورت می‌گیرد.

در فرمول زیر:

$$\frac{۰٫۱۴\times TSM_A}{\left(\frac{I_{FBA}}{I_{bA}}\right)^{۰٫۰۲}-۱}-\frac{۰٫۱۴\times TSM_B}{\left(\frac{I_{FBB}}{I_{bB}}\right)^{۰٫۰۲}-۱}=TD$$

در تمامی موارد I_{FBA} و I_{FBB} همواره با هم برابر می‌باشند به جز دو مورد ذکر شده‌ی زیر که این دو مقدار جریان با هم متفاوت است:

- در مواقعی که بین شینه‌های A و B ترانسفورماتور وجود داشته باشد. در این حالت I_{FBA} (جریان اتصال کوتاه گذرنده از رله‌ی پشتیبان A) با تاثیر دادن نسبت تبدیل ترانسفورماتور قدرت در I_{FBB} (جریان اتصال کوتاه گذرنده از رله‌ی اصلی B) به دست می‌آید.
- در مواقعی که بین شینه‌های A و B دو خط موازی وجود داشته باشد. نحوه‌ی تنظیم و هماهنگی رله‌ها تحت این شرایط، در نکته‌ی * بررسی شده است.

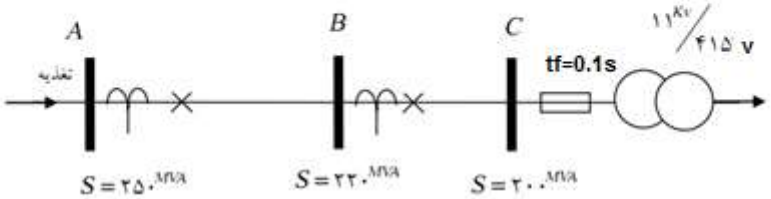
با توجه به فرمول شرط عملکرد رله برابر است با : $I_F\geq I_b$

$$t=\frac{۰٫۱۴\times TSM}{\left(\frac{I_F}{I_b}\right)^{۰٫۰۲}-۱}$$

*نکته * تغییر در سطح اتصال کوتاه یک ثبین به معنی تغییر در امپدانس دیده شده از سوی ثبین موردنظر، به دلیل اضافه یا کم کردن خط یا ترانس و به طور کلی تغییر در ماهیت شبکه می‌باشد.*

*نکته ** در حل مسائلی که دارای ترانس می‌باشند بایدتوجه نمود که با توجه به انتخاب ولتاژهای نامی دو سر ترانس به عنوان V_{BASE} ، I_{BASE} در دو طرف ترانس متفاوت خواهد بود و برای تبدیل جریان‌های واحد(P.U) به جریان‌های اصلی شبکه، باید به این نکته توجه نمود.*

سوال : یک مدار سه فازه ۱۱ کیلو ولت شامل سه ثبین A و B و C مطابق شکل زیر موجود است:



تغذیه از سوی ثبینهٔ A صورت می گیرد. سطوح اتصال کوتاه (S) در نقاط A و B و C بر روی یک شکل کاملاً نمایان است (ولتاژ مبنا ^{kv}۱۱ می باشد). در نقطهٔ C یک فیوز زمانی وجود دارد که برای قدرت ^{MVA}۲۰۰ (خطا در سمت فشار قوی) در ۰٫۱ ثانیه ذوب می شود. تمامی C.T های نشان داده شده روی شکل، دارای نسبت تبدیل ۴۰۰/۵ آمپر و همگی مجهز به رله های جریان زیاد با منحنی مشخصهٔ کاهشی می باشند. P.S این رله ها چنان است که با فرض یک اختلاف زمانی ۰٫۵ ثانیه برای یک اتصال کوتاه سه فازه پشت هر رله، PSM کمتر از ۲۰ باشد.

مطلوبست:

الف: محاسبه تنظیم زمانی و جریانی $(TSM, P.S)$ رله های پشت ثبین های A و B با فرض آنکه اختلاف زمانی جهت عملکرد رله ها برابر با ۰٫۵ ثانیه باشد.

ب: اگر ماکزیمم بارها در مقاطع AB و BC بترتیب ^{MVA}۳ و ^{MVA}۱ باشد بررسی کنید که حفاظت در شرایط کشیدن بار عمل نخواهد کرد.

در قسمت الف ابتدا جریان خطای روبروی هر باس با توجه به سطح اتصال کوتاه آن بدست می‌آوریم

الف)

$$TD = ۰٫۵$$

$$I_{FC} = \frac{S_C}{\sqrt{۳} \times V_C} = \frac{۲۰۰ \times ۱۰^{۳}}{\sqrt{۳} \times ۱۱} = ۱۰٫۴۹۷^{KA}$$

$$I_{FB} = \frac{S_B}{\sqrt{۳} \times V_B} = \frac{۲۲۰ \times ۱۰^{۳}}{\sqrt{۳} \times ۱۱} = ۱۱٫۵۴۷^{KA}$$

$$I_{FA} = \frac{S_A}{\sqrt{۳} \times V_A} = \frac{۲۵۰ \times ۱۰^{۳}}{\sqrt{۳} \times ۱۱} = ۱۳٫۱۲۲^{KA}$$

تنظیم رله‌ی B :

$$PSM_B \le ۲۰ \Rightarrow \frac{I_{FB}}{I_{bB}} \le ۲۰ \Rightarrow \quad I_{bB} \ge \frac{I_{FB}}{۲۰} \Rightarrow I_{bB} \ge \frac{۱۱٫۵۴۷\times ۱۰^{۳}}{۲۰} \Rightarrow \quad I_{bB} \ge ۵۷۷٫۳۵^{A}$$

$$RSI_B = \frac{PS_B \times CT_B}{۱۰۰} \Rightarrow PS_B = \frac{۱۰۰ \times RSI_B}{CT_B} \Rightarrow \quad PS_B = \frac{۱۰۰ \times ۵۷۷٫۳۵}{۴۰۰} \Rightarrow$$

$$PS_B = ۱۴۴٫۳۴\% \xrightarrow{Norm} PS_B = ۱۵۰\% \Rightarrow \quad RSI_B = \frac{PS_B \times CT_B}{۱۰۰} \Rightarrow \quad RSI_B = \frac{۱۵۰\times ۴۰۰}{۱۰۰} \Rightarrow \quad I_{bB} = ۶۰۰^{A}$$

$$\overset{--}{t_B}\Big|_{Fault@C} - t_C\Big|_{Fault@C} = ۰٫۵ \Rightarrow \quad \frac{۰٫۱۴\times TSM_B}{\left(\frac{I_{FC}}{I_{bB}}\right)^{۰٫۰۲} - ۱} - ۰٫۱ = ۰٫۵ \Rightarrow \quad \frac{۰٫۱۴\times TSM_B}{\left(\frac{۱۰٫۴۹۷\times ۱۰^{۳}}{۶۰۰}\right)^{۰٫۰۲} - ۱} = ۰٫۵ + ۰٫۱ \Rightarrow$$

$$TSM_B = ۰٫۲۵۲۵ \xrightarrow{Norm} TSM_B = ۰٫۲۵$$

تنظیم رله‌ی A :

$$PSM_A \le ۲۰ \Rightarrow \frac{I_{FA}}{I_{bA}} \le ۲۰ \Rightarrow \quad I_{bA} \ge \frac{I_{FA}}{۲۰} \Rightarrow I_{bA} \ge \frac{۱۳٫۱۲۲\times ۱۰^{۳}}{۲۰} \Rightarrow \quad I_{bA} \ge ۶۵۶٫۱^{A}$$

$$RSI_A = \frac{PS_A \times CT_A}{۱۰۰} \Rightarrow PS_A = \frac{۱۰۰ \times RSI_A}{CT_A} \Rightarrow PS_B = \frac{۱۰۰\times ۶۵۶٫۱}{۴۰۰} \Rightarrow PS_A = ۱۶۴٫۰۳\% \xrightarrow{Norm} PS_A = ۱۷۵\% \Rightarrow$$

$$RSI_A = \frac{PS_A \times CT_A}{۱۰۰} \Rightarrow \quad RSI_A = \frac{۱۷۵\times ۴۰۰}{۱۰۰} \Rightarrow \quad I_{bA} = ۷۰۰^{A}$$

$$\overset{--}{t_A}\Big|_{Fault@B} - t_B\Big|_{Fault@B} = ۰٫۵ \Rightarrow \quad \frac{۰٫۱۴\times TSM_A}{\left(\frac{I_{FB}}{I_{bA}}\right)^{۰٫۰۲} - ۱} - \frac{۰٫۱۴\times TSM_B}{\left(\frac{I_{FB}}{I_{bB}}\right)^{۰٫۰۲} - ۱} = ۰٫۵ \Rightarrow$$

$$\frac{۰٫۱۴\times TSM_A}{\left(\frac{۱۱٫۵۴۷\times ۱۰^{۳}}{۷۰۰}\right)^{۰٫۰۲} - ۱} - \frac{۰٫۱۴\times ۰٫۲۵}{\left(\frac{۱۱٫۵۴۷\times ۱۰^{۳}}{۶۰۰}\right)^{۰٫۰۲} - ۱} = ۰٫۵ \Rightarrow TSM_A = ۰٫۴۶۴۷ \xrightarrow{Norm} TSM_A = ۰٫۵$$

ب) با توجه به فرمول $t = \frac{۰٫۱۴\times TSM}{\left(\frac{I_F}{I_b}\right)^{۰٫۰۲} - ۱}$ شرط عملکرد رله برابر است با :

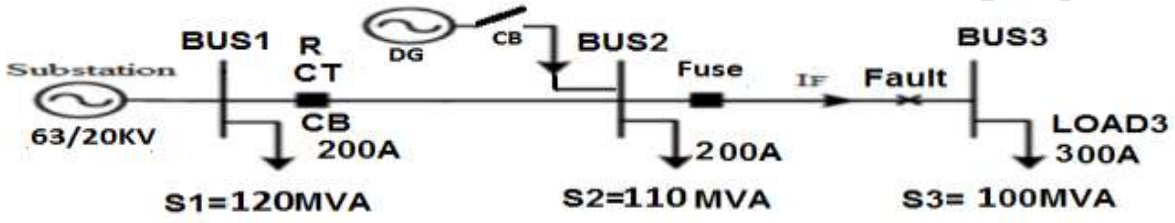
$I_F \ge I_b$ $\quad : I_F = I_{AB} = \frac{۲\times ۱۰^{۳}}{\sqrt{۳}\times ۱۱} = ۱۰۴۹۷^{A} \Rightarrow ۱۰۴۹۷ < ۷۰۰ \Rightarrow I_F < I_b \Rightarrow$

در حالت ماکزیمم بار رله‌ی A عمل نخواهد کرد

در حالت ماکزیمم بار رله‌ی B عمل نخواهد کرد $: I_F = I_{BC} = \frac{۱۰^{۳}}{\sqrt{۳}\times ۱۱} = ۵۲٫۴۹^{A} \Rightarrow ۵۲٫۴۹ < ۶۰۰ \Rightarrow I_F < I_b$

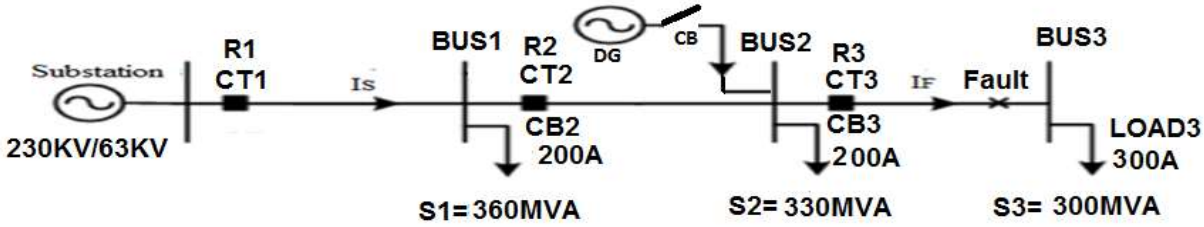
٪مساله فوق را با فرض اینکه نسبت جریان خطای باس c به جریان تنظیم باس B برابر ۲۰ باشد حل کنید.

سوال : در یک سیستم توزیع با سطح ولتاژ 20KV با ساختار شعاعی مطابق شکل زیر، که حفاظت آن توسط فیوز و رله‌ی جریان زیاد زمان معکوس با مشخصه عملکردی زمان معکوس بسیار سریع (α=2, k=80)طراحی شده است؛ چنانچه با وقوع خطای اتصال کوتاه (F) روبروی فیوز حداکثر جریان خطا 2.9KA باشد و زمان عملکرد فیوز 0.1 ثانیه باشد و با فرض اینکه (CTI=0.4 Sec و جریان تحریک رله 1.2 حداکثر جریان بار) باشند، با محاسبه‌ی TMS هماهنگ سازی رله‌ی R و فیوز را انجام دهید و زمان عملکرد رله‌ی R را بدست آورید.



سوال: در یک سیستم قدرت با سطح ولتاژ 63KV با ساختار شعاعی مطابق شکل زیر، که حفاظت آن توسط رله‌های جریان زیاد زمان معکوس با مشخصه عملکردی زمان معکوس سریع (α=1, k=13.5)طراحی شده است؛ چنانچه با وقوع خطای اتصال کوتاه (F) روبروی رله R_3 حداکثر جریان خطا 2.75KA باشد، و با فرض اینکه (CTI=0.3 Sec ، TMS3 رله R3 برابر 0.1 ، جریان تحریک رله‌ها 1.2 حداکثر جریان بار) باشند:

الف) با محاسبه‌ی TMS2 هماهنگ سازی رله‌های R_3 و R_2 را انجام دهید و زمان عملکرد رله‌ی R_3 را بدست آورید. **ب)** حداکثر جریان خطای باس دو(BUS2) را با توجه به سطح اتصال کوتاه آن بدست آورید.



فیدر

به خطوط هوائی یا کابلهای زیرزمینی که برای انتقال یا توزیع توان الکتریکی استفاده می شوند فیدر می‌گویند.

در یک سیستم انتقال و یا توزیع ممکن است از چند نوع حفاظت استفاده گردد.

فیدرها را بوسیله ۳ روش حفاظت می کنند.

حفاظتهای جریان زیاد(over current protection)

حفاظت دیستانس (distance protection)

حفاظت پایلوت(pilot protection)

حفاظت جریان زیاد از قدیمی ترین نوع حفاظت‌هاست و خودش هم به ۲ نوع تقسیم می‌گردد:

۱- طرحهای درجه بندی شده جریان و زمان غیر جهت دار

۲-طرحهای درجه بندی شده جریان و زمان جهت دار

و طبق این دو نوع تقسیم، از این نوع حفاظت در موارد زیر استفاده می‌کنند:

- فیدرهای توزیع و فوق توزیع با سیستمی که ولتاژ آن کمتر از ۶۳ کیلوولت باشد، تغذیه خطا هم فقط از یک طرف باشد. (با این روش رله‌های جریان زیاد می توانند با فیوزها هماهنگ گردند)

- جاهائی که زمان عملکردش زیاد مهم نیست و احتیاج زیادی به عملکرد سریع وجود نداشته باشیم.

- در ولتاژهای خیلی زیاد، در خطوط انتقال از رله های جهت دار یا غیر جهت دار برای حفاظت رله های حفاظتی اصلی با عملکرد آنی استفاده می شوند.

- و آخرین استفاده هم رله های اتصال زمین. برای خطاهای زمین با مقاومت زیاد که توسط رله های حفاظتی اصلی تشخیص داده نمی شوند ، مورد استفاده قرار می گیرند

PAYAM.RAHIM1258@YAHOO.COM

- **فیوز کات اوت**

برای کارکرد مطلوب سیستم توزیع لازم است که خطاهای واقع شده در هر بخش آن در کوتاهترین زمان ممکن از بقیه سیستم قطع بشود و در واقع باید در صورت امکان از وقوع آن جلوگیری به عمل آید. فیوز کات اوت یکی از وسایلی است که این کار را به عهده دارد. ترانسفورماتور های توزیع غالباً از طریق یک فیوز قطع کننده (فیوز کات اوت)به خطوط اولیه متصل می شوند. فیوز کات اوت شامل یک عنصر ذوب شوند می باشد که بصورت اتوماتیک در واقع بروز خطا منجر به جداشدن ترانسفورماتور از خط گشته و نه تنها از گسترش خسارت به ترانسفورماتور جلوگیری می نماید، بلکه از قطع مدارات اولیه که ترانسقورماتور ها و مشترکین تغذیه شده از آن مدارات را نیز تحت تاثیر قرار خواهد داد ممانعت به عمل می آورد. فیوزهای کات اوت همچنین برای جدا کردن مدارات اولیه دچار خطا یا اضافه بار از بقیه قسمتهای سالم مدار به کار می روند. فیوزهای کات اوت بیشتر برای محافظت ترانسفور ماتور ها و همچنین محافظت بانکهای خازنی و حفاظت خط استفاده می شوند.

ترانسفورماتور ولتاژ(PT) و ترانسفورماتور جریان(CT):

دلایل استفاده از ترانس‌های ولتاز و جریان در پست‌های فشار قوی:

۱) که در پست‌های فشار قوی به دو منظور اساسی **اندازه‌گیری و حفاظت**، مقادیرکمیت‌های الکتریکی ولتاژ و جریان نیاز می‌باشد، به عبارت دیگر اطلاع از وضعیت کمیت‌های الکتریکی احتیاج است.
۲) از آنجایی که مقادیر کمیت‌های مذکور (ولتاژ و جریان) در پست‌ها و خطوط فشارقوی بسیار بالا می‌باشد و دسترسی مستقیم به آنها از نظر اقتصادی به‌صرفه نبوده و عملی نیز نمی‌باشد، به همین دلیل از ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان استفاده می‌گردد.

PAYAM.RA...55@YAHOO.COM

نحوه‌ی ارتباط ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ با شبکه

ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ از یک طرف(طرف اولیه) یک وسیله و تجهیز فشارقوی بوده و باید به صورت هماهنگ با تجهیزات فشارقوی انتخاب شوند و از طرف دیگر(طرف ثانویه) به تجهیزات فشار ضعیف پست ارتباط دارند، لذا لازم است مشخصات فنی آنها هماهنگ با تجهیزات حفاظتی، کنترلی و اندازه‌گیری انتخاب شود.

ثانویه ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان نمونه‌هایی با مقیاس کم از کمیت‌های ولتاژ و جریان واقعی بوده که تا حد ممکن تمام ویژگی‌های کمیت واقعی و اصلی را دارا می‌باشد و در اختیار می‌گذارد و کلیه‌ی دستگاه‌های اندازه‌گیری، حفاظت و کنترل مانند ولت‌متر، آمپرمتر، رله‌ها و دستگاه‌های ثبت خطا و غیره از طریق آنها به کمیت‌های مورد نظر در پست دست می‌یابند.

انواع CTهای حفاظتی از نظر ساختمان:

۱) ترانسفورماتورهای جریان با هسته پایین(Buttom Core)

۲) ترانسفورماتورهای جریان با هسته بالا (Top Core)

هسته بالا

هسته پایین

PAYAM.R.M1258@YAHOO.COM

CT هسته پایین :

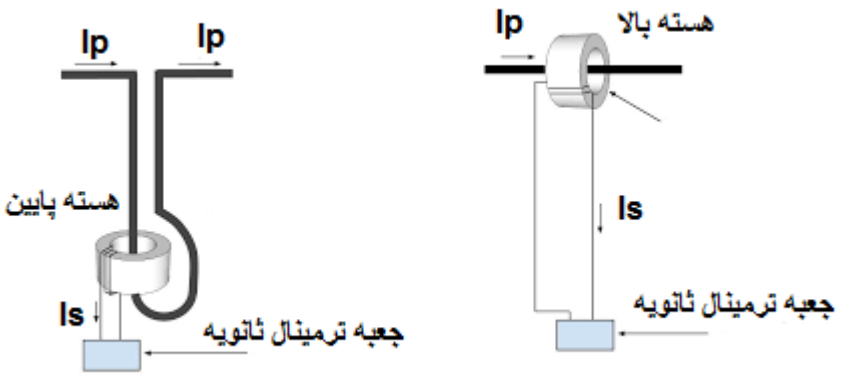
CT هسته پایین اصولا برای ولتاژهای تا ۷۶۵ کیلو ولت و جریان‌های تا ۲۰۰۰ آمپر مناسب است، این نوع ترانسفورماتور جریان با توجه به پایین بودن هسته و در نتیجه پایین بودن مرکز ثقل، نسبت به باد و زلزله مقاوم‌تر می‌باشد.

در CT هسته پایین، سیم‌پیچ اولیه که به شکل U است از داخل یک محفظه‌ی استوانه‌ای به طرف پایین به داخل مخزن برده شده است و سیم‌پیچ ثانویه در مخزن قرار دارد. طول عادی اولیه نسبتا زیاد بوده و عبور جریان باعث گرم شدن CT می‌گردد.

CT هسته بالا :

CT هسته بالا با توجه به فاصله‌ی اولیه از زمین و تانک، عایق‌بندی کمتری نسبت به نوع هسته پایین در یک سطح ولتاژ، نیاز است اما با توجه به بالا بودن هسته و مرکز ثقل، نسبت به باد و زلزله حساس‌تر است.

در CT هسته بالا، مسیر طی شده توسط هادی اولیه در داخل ترانسفورماتور، کوتاه‌ترین مسیر بوده و طرح آن به ترتیبی است که سیم‌پیچ ثانویه دور یک هسته که به صورت یک حلقه می‌باشد پیچیده شده و هادی اولیه از وسط این حلقه عبور می‌کند.



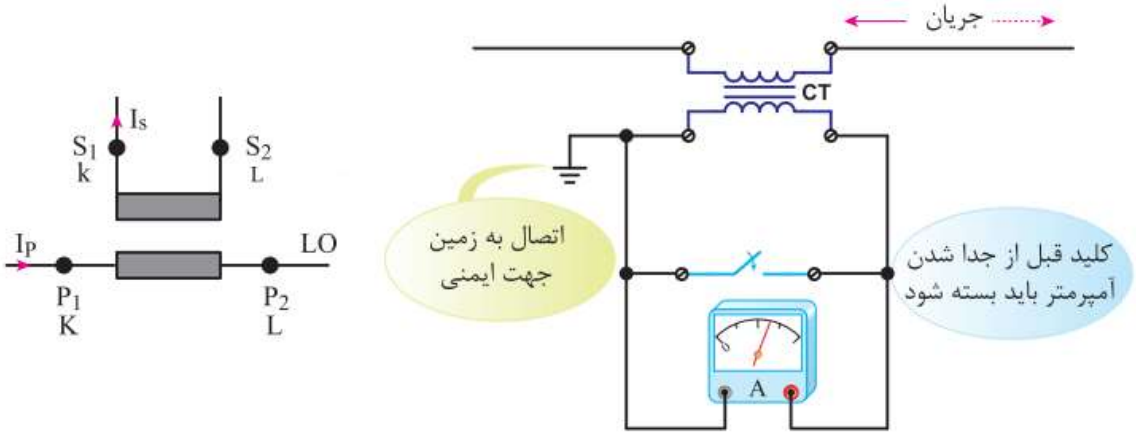
PAYAM HIM1258@YAHOO.COM

دلایل اتصال کوتاه کردن ثانویه CTها در حالت بی باری:

۱) در حالتی که ثانویه CT باز باشد، شار یا فورانی در هسته‌ی CT بوجود می‌آید که ناشی از جریان اولیه یا جریان بسیار بالای شبکه قدرت است و فوران هسته سبب تلفات بسیار زیاد در CT شده و موجب آسیب دیدن (ذوب شدن) هسته می‌گردد

۲) و به دلیل اینکه جریانی در ثانویه ایجاد نمی‌شود، ولتاژ زیادی در ثانویه القا می‌گردد، ولتاژ القایی بسیار بالا در ثانویه می‌تواند سبب آسیب جدی عایق‌های CT و در نهایت انهدام CT گردد.

۳) ولتاژ القایی بسیار بالا در ثانویه می‌تواند خطرات جانی برای اپراتور پست که در ارتباط با تابلوی فرمان است ایجاد نماید.



دلایل زمین شدن یک سر سیم‌پیچ ثانویه CTها:

۱) در شرایط مختلف احتمال القای ولتاژ بسیار زیاد در سیم‌پیچ ثانویه وجود دارد.

۲) از بین رفتن عایق بین ثانویه و اولیه می‌تواند برای افرادی که در حال کار کردن با دستگاه نصب شده در ثانویه می‌باشند، خطرناک باشد که با زمین کردن ثانویه، حفاظت افراد تضمین می‌گردد.

نکات اساسی در مورد CTها:

۱) CTها به صورت سری در شبکه قرار می‌گیرند و از اولیه‌ی CT جریان شبکه عبور می‌کند.

۲) جریان مغناطیس‌کنندگی CT بسیار کم باشد.

۳) در حالت بی‌باری ثانویه CT حتما باید اتصال کوتاه گردد.

PAYAM.RAHIMI@YAHOO.COM

۴) جریان اولیه CT توسط شبکه قدرت تامین می‌شود به عبارت دیگر جریان اولیه تعیین کننده است.

۵) بار CT (یا امپدانسی که در ثانویه CT قرار می‌گیرد نظیر آمپرمتر و رله) تاثیری بر روی جریان اولیه یا جریان شبکه ندارد و آنرا تغییر نمی‌دهد، زیرا این امپدانس در مقایسه با امپدانس بار شبکه قدرت بسیار ناچیز است.

۶) جریان ثانویه CT تابعی از جریان اولیه‌ی آن است.

۷) بار CT وسایل حفاظتی و اندازه‌گیری می‌باشد.

۸) از مهمترین مشخصات CT نسبت $\frac{I_P}{I_S}$ می‌باشد(نسبت جریان اولیه به ثانویه).

۹) جریان ثانویه CT معمولا صفر یا پنج آمپر است.

۱۰) تعداد کرهای (هسته‌های) CT گاهی به شش تا هم می‌رسد.

جنس هسته‌ی CT معمولا از آهن، سیلیکن، آلیاژ آهن- نیکل است.

تفاوت عمده‌ی CTها و ترانسفورماتورهای قدرت:

۱) ترانس‌های قدرت سه فاز هستند ولی ترانس‌های جریان حفاظتی معمولا به صورت تکفاز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲) در ترانس‌های قدرت، ثانویه نباید اتصال کوتاه شود چون جریان اتصال کوتاه موجب آسیب دیدن ترانسفورماتور می‌گردد.

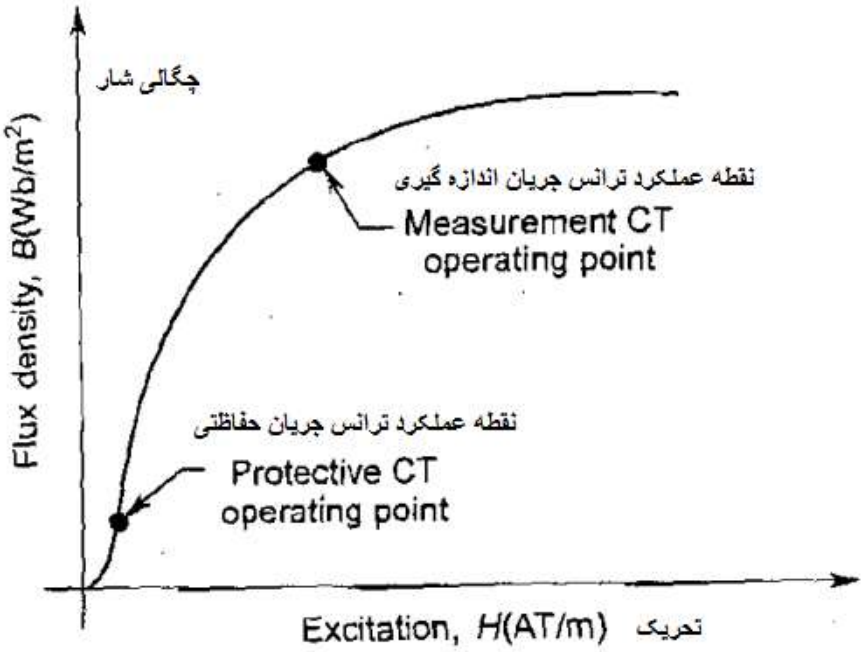
۳) نقطه‌ی کار ترانس‌های قدرت همیشه در زانوی منحنی مغناطیسی هسته (منحنی اشباع) قرار دارد، اما نقطه‌ی کار ترانس‌های جریان حفاظتی باید تا جای ممکن دور از زانوی منحنی اشباع قرار داشته باشد.

تفاوت ترانس جریان اندازه‌گیری و حفاظتی

ذکر این نکته ضروری است که ترانس‌های جریان برای اندازه‌گیری نیز به کار می‌روند و تفاوت بسیار مهمی بین ترانس جریان حفاظتی و ترانس جریان اندازه‌گیری وجود دارد.

طراحی ترانس جریان اندازه‌گیری به گونه‌ای است که در زمان وقوع خطا به اشباع رود تا مانع از صدمه دیدن سمت ثانویه آن به دلیل افزایش شدید جریان شود. از طرف دیگر ترانس جریان حفاظتی برای تبدیل صحیح جریان‌های بزرگ طراحی می‌شود و نقطه‌ی کار بسیار پایین تر از زانوی اشباع قرار دارد تا هنگام بروز اتصال کوتاه به اشباع نرود.

PAYAM.RAHIMI258@YAHOO.COM



روغن CT

۱) روغن CT روغن بسته‌ای بوده که در طول عمر CT نیاز به تعویض ندارد.

۲) اگر CT دارای نشتی روغن گردد، باید در همان مراحل اولیه توسط اپراتور ایستگاه در اسرع وقت به واحد تعمیرات اطلاع داد تا نسبت به بر طرف کردن آن اقدام گردد.

۳) اگر قسمت‌های عایقی CT بدون روغن بماند، CT در مدت کوتاهی منفجر و خسارت زیادی به تجهیزات جانبی وارد می‌کند.

۴) اپراتورهای هر شیفت باید نسبت به روغن CT بسیار حساس و هر گونه نشتی را بلافاصله به واحدهای ذیربط اطلاع دهند.

ترانسفورماتور ولتاژ(PT)

PT یا ترانس ولتاژ، ترانسفورماتوری است که در آن ولتاژ ثانویه متناسب و همفاز با اولیه بوده و به عبارت دیگر برای تبدیل ولتاژ یک سیستم به ولتاژی متناسب، برای وسایل اندازه‌گیری (ولتمترها، واتمترها) و رله‌های حفاظتی (رله‌های دیستانس و . .) به کار می‌رود.

به عبارت ساده‌تر PT به منظور ایزولاسیون یا جدا سازی این وسایل از ولتاژ فشار قوی به کاربرده می‌شود.

به صورت موازی در شبکه نصب می‌شود و دارای ویژگی‌های زیر است:

۱) بهترین حالت کاری این است که ثانویه آن باز باشد.

۲) هسته به اشباع نرود.

PAYAM.RAHIM1258@YAHOO.COM

۳) افت ولتاژ در اولیه و ثانویه حداقل باشد.

ترانس‌های ولتاژ از نظر ساختمان به دو نوع تقسیم می‌شود:

الف) ترانس‌های ولتاژ اندوکتیو ب) ترانس‌های ولتاژ خازنی

در ترانس‌های ولتاژ اندوکتیو، ولتاژ فشارقوی مستقیما به ولتاژ مورد نیاز در ثانویه تبدیل می‌شود.

اندازه‌ی ترانس‌های ولتاژ اندوکتیو برای ولتاژ بالا بطور قابل توجهی با ولتاژ نامی متناسب است و قیمت آن نیز افزایش می‌یابد، یک راه حل اقتصادی در این شرایط استفاده از ترانس‌های ولتاژ خازنی است در این نوع ترانسفورماتور ابتدا ولتاژ اولیه با استفاده از تعداد زیادی خازن از نوع کاغذ با هادی آلومنیم هستند و بطور سری به یکدیگر متصل شده‌اند به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و سپس با استفاده از یک ترانس ولتاژ کوچکتر، مقدار دلخواه که حدود ۱۰۰ ولت است در ثانویه بدست می‌آید.

نکته‌ی قابل ذکر اینکه ترانس ولتاژ مذکور در داخل تانک پر از روغن که در پایین ترانس ولتاژ اصلی قرار دارد جا داده می‌شود.

ترانس‌های ولتاژ خازنی نسبت به ترانس‌های ولتاژ الکترومغناطیسی یا اندوکتیو دارای دقت کمتر و قیمت ارزانتری هستند.

ترانس‌های ولتاژ خازنی در سیستم‌های مخابراتی پست به نام (PLC: Power Line Carrier) نیز استفاده می‌شود. سیستم PLC علاوه بر اینکه جهت ارسال سیگنال به پست مقابل به منظور عمل نمودن رله‌های پست دیگر به کار می‌رود، برای ارتباط تلفنی بین پست‌ها نیز از آن استفاده می‌شود.

مقایسه‌ی ترانسفورماتورهای ولتاژ خازنی و اندوکتیو

۱) در صورت استفاده از سیستم PLC استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ خازنی به علت بر طرف نمودن نیاز به نصب خازن کوپلاژ جداگانه به صرفه است.

۲) در ولتاژ ۶۳ کیلو ولت و بالا ترانسفورماتور ولتاژ خازنی از لحاظ قیمت ارزان‌تر است و این مزیت با افزایش ولتاژ افزایش می‌یابد.

۳) ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو از لحاظ حرارتی(اضافه بار) بهتر از نوع CVT است.

۴) ترانسفورماتور ولتاژ اندوکتیو عملکرد بهتری در شرایط گذرا دارد. یعنی نمونه ثانویه شباهت بیشتری به اولیه دارد.

PAYAM.RAHIM2558@YAHOO.COM

ریکلوزر

یکی از معیارهای مهم در سنجش کیفیت برقرسانی به مشترکین، آمار قطعی برق در یک بازه‌ی زمانی مثلا روز، ماه یا سال است.

بیشترین خاموشی در شبکه‌ی برق در توزیع فشار متوسط رخ می‌دهد که نیازمند برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری بیشتری است. مطالعات نشان می‌دهد که خطاهای رخ داده در شبکه‌های توزیع هوایی، عمدتا از نوع موقتی و گذرا هستند و این امکان وجود دارد که این خطاها در کوتاه‌ترین زمان ممکن بر طرف گردند.

برای کاهش خاموشی و وصل مجدد در زمان کوتاه از دستگاهی به نام **ریکلوزر** استفاده می‌شود.

ریکلوزر معمولا خطاهای موقتی و گذرا را قطع می‌کند، به عبارت دیگر به اتصالی‌های موقتی فرصت داده می‌شود که رفع گردد و اما اگر تشخیص دهد که خطا دایمی است به طور کامل قطع می‌کند.

ریکلوزر پس از باز شدن خط زمان بسیار کوتاهی را صبر می‌کند و سپس خط را مجدد وصل می‌کند، در صورتی که خطا رفع شده باشد، وصل مجدد با موفقیت انجام شده است، اما در صورتیکه خطا هنوز وجود داشته باشد، ریکلوزر خط را مجدد قطع می‌کند، معمولا کار قطع و وصل بیش از سه بار انجام نمی‌شود و پس از بار سوم ریکلوزر اصطلاحا قفل (Lockout) می‌شود که در این صورت پس از بررسی شبکه و رفع خطا، ریکلوزر را به صورت دستی و یا از راه دور اقدام به وصل می‌کنند.

تفاوت فیوز و ریکلوزر : فیوز خطاهای دایم و گذرا (موقتی) را مانند هم قطع می‌کند اما ریکلوزر به خطاهای موقتی فرصت می‌دهد.

۷۰-**۸۰** درصد خطاهای سیستم توزیع گذرا و موقتی هستند پس هماهنگی فیوز و ریکلوزر مهم است.

****

سوال : چرا کلیدهای قدرت NC در شبکه‌های فوق توزیع به دو سیستم از نوع فرمان دستی (توسط اپراتور) و فرمان اتوماتیک جهت باز و بسته شدن (قطع و وصل) مجهز می‌گردند؟

- اتصال کوتاه پدیده‌ای اتفاقی (Stochastic) است که زمان رخ دادن آن غیر قابل پیش‌بینی است، لذا در شبکه‌های فوق توزیع از رله‌های جریان زیاد استفاده می‌گردد و کلیدهای قدرت به صورت اتوماتیک باز می‌شوند و مجددا با فرمان دستی توسط اپراتور بسته می‌شوند تا فیدر فوق توزیع تعمیر شده مجددا وارد مدار گردد.

PAYAMRAHIM1258@YAHOO.COM

- عدم وقوع اتصال کوتاه – اگر مسیر نیاز به تعمیر و سرویس داشته باشد(نظیر تعویض دکل‌ها در مسیر هوایی و . .) پس با فرمان اپراتور، کلیدهای قدرت از دو طرف باز شده و تعمیرات انجام می‌شود و پس از اتمام تعمیرات، شبکه به حالت اول برمی‌گردد.
- یکی دیگر از مزیای فرمان دستی – در مواقع اضطراری (مثلا افزایش ناگهانی بار) یا زمانی که فیدرهای فوق توزیع در برخی از مسیرها دچار اضافه بار می‌شوند به همین دلیل برای حفظ ایمنی فیدرها در برخی از مسیرها مجبور به **بار زدایی** هستیم.

در اصطلاح فنی به بارزدایی، Load Shedding می‌گویند.

حفاظت دیفرانسیل تا تفاضلی :

حفاظت دیفرانسیل بر این حقیقت استوار است که وقوع هر گونه خطا در داخل تجهیزات باعث اختلاف بین جریان ورودی با خروجی در آن تجهیز می‌گردد، بنابراین می‌توان بوسیله مقایسه جریان ورودی و خروجی هم از نظر اندازه، هم از نظر زاویه و یا هر دو آنها، چنانچه تفاضل آنها از یک مقدار از پیش تعیین شده بیشتر باشد، فرمان قطع را صادر نمود.

این روش تشخیص خطا برای تجهیزاتی که دو انتهای آنها از نظر فیزیکی به یکدیگر نزدیک باشند بسیار مناسب است.

از کاربردهای حفاظت دیفرانسیل می‌توان به حفاظت ترانسفورماتور، ژنراتور و باسبار اشاره کرد.

در مورد **حفاظت خطوط انتقال** که دو انتهای آنها از هم بسیار فاصله دارند **نمی‌توان** از حفاظت دیفرانسیل استفاده کرد.

رله دیفرانسیل به عنوان حفاظت اصلی ترانسفورماتور، مقایسه جریان های طرفین آن به عهده داشته وعملکرد آن ناشی از عوامل زیر می باشد:

۱) اتصالی در داخل تراسفوماتور (نظیر اتصال فاز به بدنه، فاز به فاز، اتصال حلقه و یا اتصال بین سیم‌پیچ‌های اولیه وثانویه).

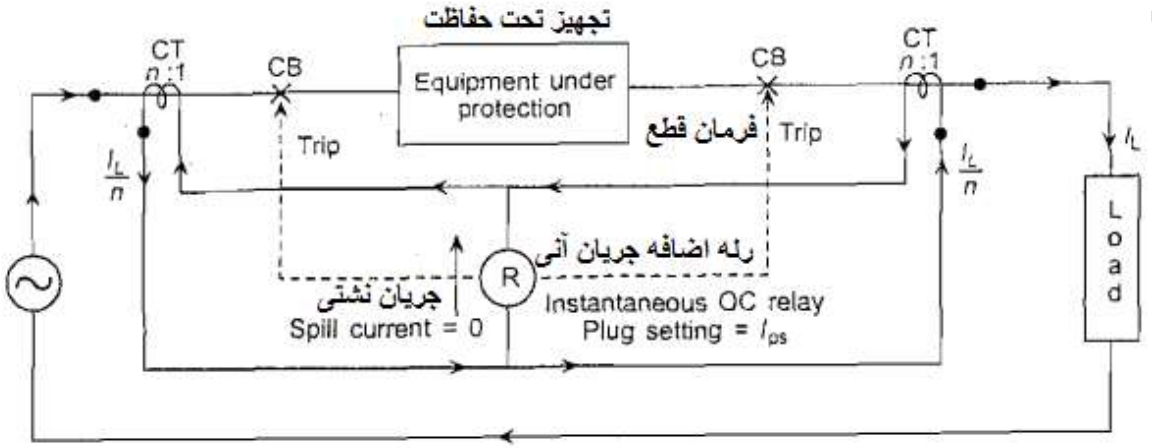
۲) اتصالی خارج از ترانسفورماتور بر اثر عوامل خارجی در محدوده حفاظت رله یعنی بین C.Tهای طرفین.

رله‌های دیفرانسیل در جریان‌های هجومی ترانسفورماتور عمل نمی نماید ولی برای تشخیص خطاهای واقع شده در محدوده C.Tهای دو طرف ترانسفورماتور قدرت همواره بهترین حفاظت، رله دیفرانسیل می باشد.د

PAYAM.RAHIM1258@YAHOO.COM

رفتار حفاظت دیفرانسیل ساده تحت شرایط بار:

در طرح حفاظتی ساده دیفرانسیل مطابق شکل زیر که به طرح مرز – پرایس معروف است. جریان ورودی و خروجی تجهیزات تحت حفاظت، با کمک ترانس‌های جریان تا حد قابل تحمل برای رله، کاهش می‌یابند. باید به این قاعده توجه گردد که هرگاه جریانی از سر نقطه دار اولیه ترانس جریان وارد شود، جریان باید از سر نقطه دار مشابه در ثانویه خارج شود.



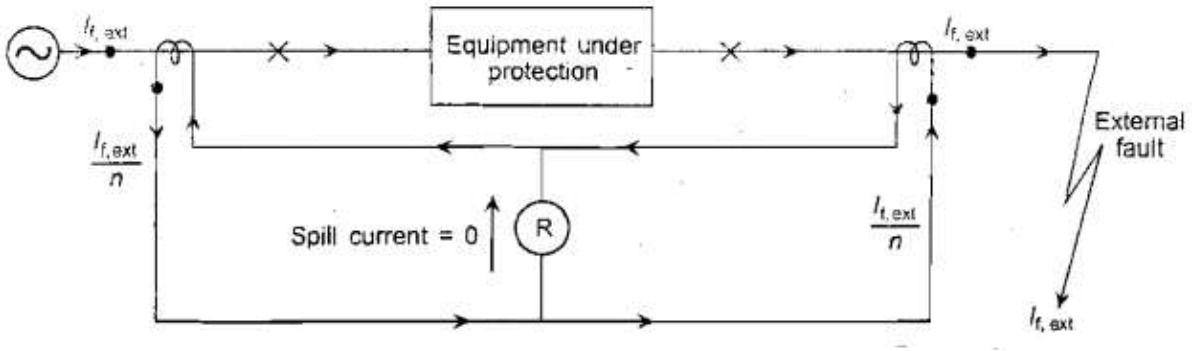
با توجه به شکل در شرایط بار عادی ، جریان‌های ثانویه دو ترانس هم از نظر دامنه و هم از نظر فاز، دقیقا مساوی هستند و فقط این جریان‌ها در ثانویه ترانس‌های جریان گردش می‌کنند و از رله‌ی جریان زیاد آنی یا لحظه‌ای نخواهند گذشت، به عبارت دیگر هیچ جریانی وارد مسیر نشتی نخواهد شد، از این رو رله‌ی اضافه جریان، فرمان قطعی به دو بریکر (CB) ارسال نمی‌کند و پایدار می‌ماند و عملکرد نخواهد داشت.

رفتار حفاظت دیفرانسیل ساده بواسطه خطاهای خارجی(ext):

طرح حفاظتی دیفرانسیل نسبت به خطاهای خارج از محدوده‌ی حفاظتی خود پایدار باقی می‌ماند.

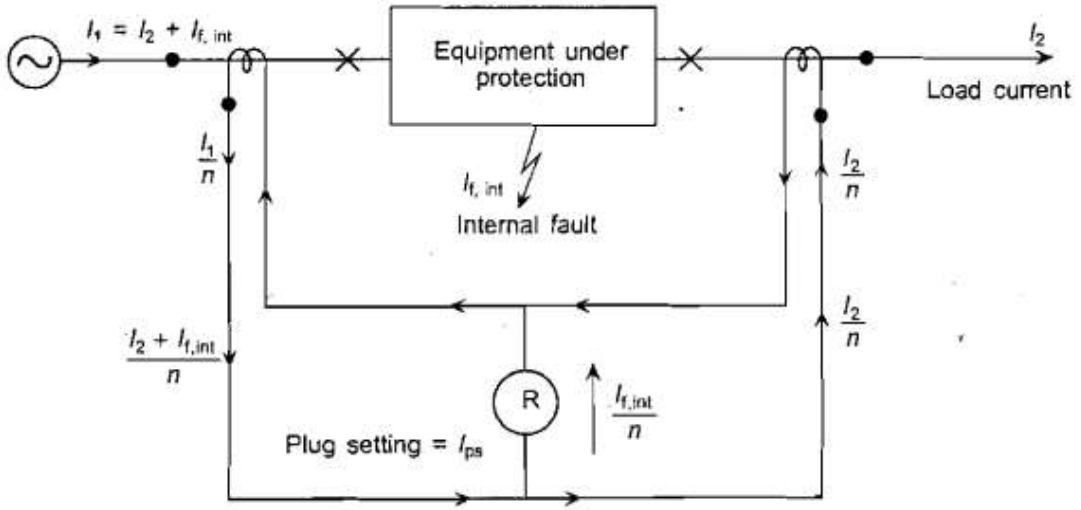
با وقوع خطای خارجی مطابق شکل زیر، جریان ورودی و خروجی ناحیه حفاظتی با هم برابرهستند، و با فرض اینکه ترانس‌های جریان بدون خطا باشند، هیچ جریانی از رله عبور نمی‌کند و طرح حفاظت دیفرانسیل، پایدار باقی می‌ماند.

PAYAM.RAHIMI255@GMAIL.COM



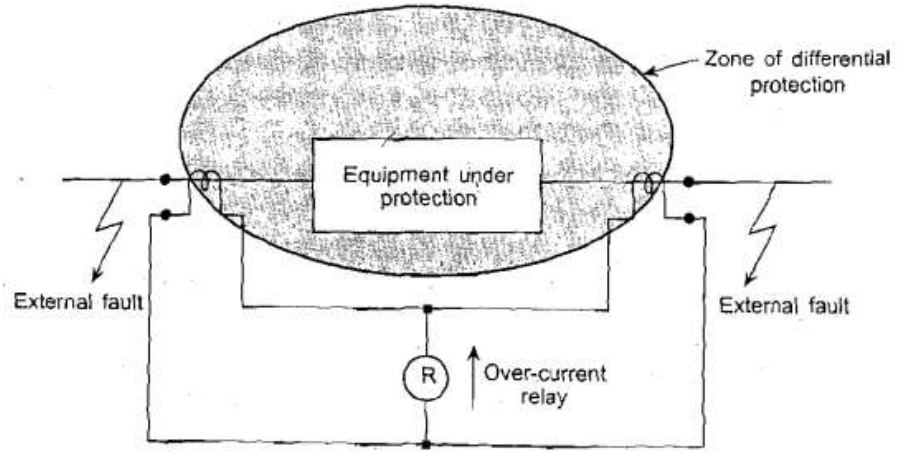
رفتار حفاظت دیفرانسیل ساده بواسطه خطاهای داخلی(int):

با وقوع خطا در ناحیه‌ی حفاظتی (بین دو ترانس جریان) مطابق شکل زیر، چنانچه جریان عبوری از رله (جریان نشتی) از مقدار جریان تحریک رله بیشتر خواهد بود($\frac{I_{f,\text{int}}}{n}$)، و شراط لازم جهت عملکرد رله بوجود می‌اید و دستور قطع به هر دو بریکر داده می‌شود.



ناحیه حفاظتی رله‌ی دیفرانسیل:

ناحیه‌ی حفاظتی دیفرانسیل، قسمت مابین دو ترانس جریان را شامل می‌شود و هر خطایی که بین دو ترانس جریان در این ناحیه رخ دهد، به عنوان خطای داخلی تلقی می‌شود و تمامی خطاهای خارج از این ناحیه خطای خارجی یا بیرونی هستند. طرح دیفرانسیل ایده‌ال فقط باید در اثر خطاهای داخلی عمل کند و در برابر خطاهای خارجی هیچگونه عملکردی نداشته باشد.



بنابراین یک طرح حفاظتی دیفرانسیل ایده‌ال در برابر کوچکترین خطای داخلی عمل نموده و در ضمن بتواند در برابر بزرگترین خطاهای خارجی عملکردی نداشته باشد و در برابر آنها مقاوم باشد. رسیدن به چنین حفاظت ایده‌الی در برابر خطاهای خارجی بزرگ به دلیل ایده‌ال نبودن تجهیزات تحت حفاظت کاری بسیار مشکل است.

دانشجویان عزیز ادامه‌ی بحث در جزوه‌ی دوم مطرح می‌گردد.

PAYAM.RAHIMI2558@YAHOO.COM