

حفاظت الکتریکی نیروگاه

(۱)

رله های جریان
حفاظت الکتریکی نیروگاه
(پدیده - محاسبات - عملکرد)



مصطفی قلم چی

مدیر پروژه های بهینه سازی

و

کارشناس ارشد مهندسی برق (قدرت)

قلم چی، مصطفی: ۱۳۳۶ -

رله های جریانی، حفاظت الکتریکی نیروگاه (پدیده- محاسبات- عملکرد) - تهران: ۱۳۸۵
ص- (حفاظت الکتریکی نیروگاه (۱))

ISBN-

ریال-

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیپا

۱- حفاظت الکتریکی ۲- ماشین الکتریکی ۳- بررسی سیستم قدرت

کتابخانه ملی ایران



• رله های جریانی، حفاظت الکتریکی نیروگاه (پدیده- محاسبات- عملکرد)

• مولف: مصطفی قلم چی

• ناشر:

• نشانی:

دفتر فروش:

• تلفن:

• صندوق پستی

• چاپ: اول / ۱۳۸۵

نسخه

• شمارگان:

• قیمت:

سخن مؤلف..... ۱۰

فصل اول

۱۴..... یادآوری مطالب تئوریک و حرفه ای پیش نیاز ورود به بحث

۱-۱- سیستم های حفاظتی..... ۱۵

مقدمه..... ۱۶

۱-۱-۱- رله های حفاظتی و اصول ساختمانی آن..... ۱۷

۱-۱-۲- سیستمهای واحد و غیر واحد..... ۱۹

۱-۱-۳- حفاظت اصلی و پشتیبان..... ۲۰

۱-۱-۴- رویهم قرار گرفتن نواحی حفاظتی..... ۲۱

۱-۱-۵- ضعف سیستم حفاظتی..... ۲۲

۱-۱-۶- پیامدهای سیستم حفاظتی..... ۲۳

۱-۱-۷- نکات عملی سیستم حفاظت نیروگاهی..... ۲۷

۲-۱- اتصال کوتاه و آسیبهای وارده به تجهیزات نیروگاهی..... ۲۸

۱-۲-۱- انواع اتصال کوتاه..... ۲۹

۲-۲-۱- تحلیل اتصال کوتاه از دید ماشین الکتریکی (به همراه شبکه متصل به آن)..... ۲۹

۱-۲-۲-۱- مولفه های جریانی..... ۲۹

۲-۲-۲-۱- رفتار گذرای جریان اتصال کوتاه..... ۳۰

۳-۲-۲-۱- ثابت های زمانی جریان اتصال کوتاه..... ۳۲

۴-۲-۲-۱- محاسبات جریانهای مختلف اتصال کوتاه..... ۳۳

۵-۲-۲-۱- تغییرات زمانی جریانهای اتصال کوتاه..... ۳۳

۶-۲-۲-۱- مقادیر موثر جریان متناوب اتصال کوتاه..... ۳۴

۷-۲-۲-۱- نقش سیستم رگولاتور ولتاژ ژنراتور در هنگام اتصال کوتاه..... ۳۴

۳-۲-۱- تحلیل رفتار ژنراتور در قبال اتصال کوتاه و صدمات ناشی از آن..... ۳۵

۱-۳-۲-۱- عوامل مکانیکی تخریب عایقی ژنراتورها (با منشاء الکتریکی)..... ۳۵

۱-۳-۲-۱- تنشهای مکانیکی ناشی از حالت های گذرای الکتریکی..... ۳۷

۲-۳-۲-۱- عوامل حرارتی تخریب عایقی در ژنراتورها..... ۴۱

۱-۲-۳-۲-۱- افزایش دمای سریع هادیها..... ۴۲

۴-۲-۱- عوامل جریانی که باعث آسیب رساندن به ترانسفورماتور می باشند..... ۴۳

۱-۴-۲-۱- خطای اتصال حلقه..... ۴۳

۲-۴-۲-۱- خطای اتصال زمین..... ۴۳

۳-۴-۲-۱- خطای اتصال کوتاه فازها..... ۴۳

۴-۴-۲-۱- خطای هسته..... ۴۳

- ۴۳.....۵-۴-۲-۱- اتصال کوتاه در شبکه.....
- ۴۴.....۱-۵-۴-۲-۱- حد تحمل ترانسفورماتور از نظر آسیب های حرارتی.....
- ۴۴.....۲-۵-۴-۲-۱- حد تحمل ترانسفورماتور از دید آسیب های مکانیکی.....
- ۴۵.....۳-۵-۴-۲-۱- ملاحظات مربوط به تحمل شرایط اتصال کوتاه.....
- ۴۶.....۶-۴-۲-۱- خطای اضافه بار.....
- ۴۶.....۵-۲-۱- موارد عام حفاظت الکتروموتورها.....
- ۴۶.....۱-۵-۲-۱- سنجشهای لازم جهت تشخیص خطا در الکتروموتورها.....
- ۴۷.....۲-۵-۲-۱- روشهای مقابله با خطا در الکتروموتورها.....
- ۴۸.....۳-۵-۲-۱- اصول کار رله های مدرن الکتروموتورها.....
- ۵۰.....۳-۱- سیستم زمین و انواع زمین کردن ماشین الکتریکی.....
- ۵۱.....۱-۳-۱- ساختار سیستم زمین در پست و نیروگاه.....
- ۵۱.....۲-۳-۱- اهداف ایجاد سیستم زمین حفاظتی.....
- ۵۲.....۳-۳-۱- زمین کردن نوترال.....
- ۵۲.....۱-۳-۳-۱- زمین کردن مستقیم.....
- ۵۳.....۲-۳-۳-۱- زمین کردن از طریق مقاومت اهمی.....
- ۵۴.....۳-۳-۳-۱- زمین کردن از طریق راکتانس (مانند راکتور).....
- ۵۴.....۴-۳-۳-۱- زمین کردن از طریق سیم پیچی قطع کننده قوس الکتریکی (Peterson)
- ۵۵.....۵-۳-۳-۱- زمین کردن ژنراتور با استفاده از ترانسفورماتورهای توزیع.....
- ۵۷.....۴-۱- اطلاعات ورودی به رله های جریان.....
- ۵۸.....۱-۴-۱- اصول ترانس جریان.....
- ۵۹.....۲-۴-۱- هسته های اندازه گیری.....
- ۵۹.....۳-۴-۱- هسته های حفاظتی.....
- ۶۰.....۴-۴-۱- بررسی حالت اشباع ترانسفورماتور جریان.....
- ۶۰.....۱-۴-۴-۱- انتخاب ترانس های جریان با توجه به رفتار گذرای شبکه ها.....
- ۶۲.....۵-۴-۱- ترانسفورماتور جریان نوری.....
- ۶۲.....۱-۵-۴-۱- معرفی.....
- ۶۳.....۲-۵-۴-۱- تشریح اصول کار کلی و اجزا دستگاه.....
- ۶۴.....۳-۵-۴-۱- اصول تئوریک.....
- ۶۵.....۴-۵-۴-۱- شرح دستگاه.....



- ۶۷-۱-۴-۵-۵- الزامات عملکرد OCT ها (مبدل‌های نوری جریان).....
- ۶۹-۱-۵- مبانی رله های میکروپروسسوری.....
- ۷۰- مقدمه.....
- ۷۱-۱-۵-۱- شمای حفاظت مقدماتی با استفاده از ریز پردازنده.....
- ۷۲-۱-۵-۲- حذف نویز ورودیهای دیجیتالی.....
- ۷۳-۱-۵-۳- فیلترینگ.....
- ۷۴-۱-۵-۴- ایزولاسیون ورودی های آنالوگ.....
- ۷۴-۱-۵-۵- دقت اندازه گیری.....
- ۷۴-۱-۵-۶- قابلیت ثبت و تحمل ولتاژ و جریان.....
- ۷۵-۱-۵-۷- رله های اضافه جریان معکوس زمانی.....
- ۷۶-۱-۶- قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی.....

فصل دوم

- ۸۰- رله های دیفرانسیلی (تفاضلی).....
- ۸۱- مقدمه.....
- ۸۱-۱-۲- انواع سیستمهای حفاظت تفاضلی.....
- ۸۱-۱-۲-۱- سیستمهای حفاظت جریان گردشی.....
- ۸۲- روش امیدانس بالا.....
- ۸۳- تنظیم رله دیفرانسیل امیدانس بالا.....
- ۸۴- مثال.....
- ۸۶- روش با یاس درصد.....
- ۸۸- تنظیم رله های با یاس درصدی.....
- ۸۹- تنظیم زمان رله های دیفرانسیل درصدی.....
- ۸۹- رله های دیفرانسیل با درصد متغیر.....
- ۸۹-۱-۱-۲- عواملی که رله دیفرانسیل (تفاضلی) بایستی در مقابل آنها پایدار گردد.....
- ۹۱-۱-۲- اصول حفاظت تفاضلی با ولتاژ متقارن.....
- ۹۲-۲- روشهای انتقال اطلاعات در حفاظت دیفرانسیلی.....
- ۹۳-۲-۳- طرحهای رله دیفرانسیلی برای ژنراتور.....
- ۹۶- مثال.....
- ۹۷-۲-۳-۱- تحلیل عملکرد رله های تفاضلی ژنراتورها در نیروگاه گازی ری.....
- ۹۹-۲-۳-۲- منطق قطع (تریپ) رله تفاضلی ژنراتور.....



- ۴-۲- طرح‌های رله دیفرانسیلی برای موتور..... ۹۹
- ۱-۴-۲- حفاظت تفاضلی جریان فاز..... ۹۹
- ۲-۴-۲- حفاظت عدم تعادل جریان در دو نیمه سیم بندی..... ۱۰۱
- ۵-۲- طرح‌های رله دیفرانسیلی برای ترانسفورماتور..... ۱۰۲

- ۱-۵-۲- حفاظت در مقابل خطای فاز به فاز..... ۱۰۴
- ۱-۵-۲- نحوه آرایش ژنراتورها و ترانسفورماتورها، و طرح رله بندی دیفرانسیل آنها در نیروگاه گازی ری..... ۱۰۴
- تنظیم رله های تفاضلی ترانسفورماتور..... ۱۰۴
- ۲-۵-۲- حفاظت اتصال به زمین یک فاز..... ۱۰۴
- ۳-۵-۲- تحلیل عملکرد رله های دیفرانسیل ترانسفورماتورهای نیروگاه گازی ری..... ۱۰۴

- ۶-۲- طرح‌های رله دیفرانسیلی برای خطوط داخل نیروگاه (شینه ها)..... ۱۰۵

فصل سوم

- رله های جریان زیاد..... ۱۰۷

- مقدمه..... ۱۰۸

- ۱-۳- انواع رله های جریان زیاد..... ۱۰۸

- الف- رله های جریان زیاد با زمان ثابت..... ۱۰۸

- ب- رله های جریان زیاد با منحنی مشخصه کاهشی..... ۱۰۸

- ج- رله جریان زیاد با کنترل ولتاژ..... ۱۰۹

- د- رله جریان زیاد با کویل بازدارنده ولتاژ..... ۱۱۱

- ۲-۳- اصول کار رله جریان زیاد..... ۱۱۲

- ۳-۳- انواع رله های با منحنی مشخصه کاهشی..... ۱۱۳

- ۴-۳- تنظیم و هماهنگی رله جریان زیاد..... ۱۱۴

- ۱-۴-۳- تنظیم جریانی (رله با مشخصه کاهشی)..... ۱۱۴

- ۲-۴-۳- تنظیم زمانی (رله با مشخصه کاهشی)..... ۱۱۴

- ۳-۴-۳- فاصله لازم برای هماهنگی..... ۱۱۵

- ۴-۴-۳- تنظیم رله اضافه جریان ولتاژی (51V)..... ۱۱۵

- ۵-۳- طرح‌های رله جریان زیاد برای ژنراتور..... ۱۱۸

- ۱-۵-۳- تحلیل عملکرد رله های جریان زیاد ژنراتورهای نیروگاه گازی ری..... ۱۱۸

- ۲-۵-۳- منطق قطع (تریپ) رله جریان زیاد ژنراتور..... ۱۲۰

- ۶-۳- طرح‌های رله جریان زیاد برای موتور..... ۱۲۰

- ۱-۶-۳- طرح‌های حفاظتی مدرن الکتروموتورها..... ۱۲۱



۷-۳- طرحهای رله جریان زیاد برای ترانسفورماتور..... ۱۲۹

۱-۷-۳- تحلیل عملکرد رله های جریان زیاد ترانسفورماتورهای نیروگاه گازی ری..... ۱۲۹

۸-۳- طرحهای رله جریان زیاد برای خطوط داخل نیروگاه (باسبار)..... ۱۳۰



فصل چهارم

رله اتصال زمین..... ۱۳۱

مقدمه ۱۳۲



۱-۴- حفاظت اتصال زمین روتور (ژنراتور)..... ۱۳۲

۱-۱-۴- عوامل ایجاد اتصال زمین در روتور..... ۱۳۳

۲-۱-۴- روشهای مشخص نمودن اتصال زمین روتور..... ۱۳۴

۱-۲-۱-۴- روش تزریق جریان مستقیم..... ۱۳۴

۱-۱-۲-۱-۴- مشخصات رله با روش تزریق جریان مستقیم..... ۱۳۵

۲-۱-۲-۱-۴- اقداماتی جهت رفع معایب استفاده از رله های با روش تزریق جریان مستقیم..... ۱۳۶

۲-۲-۱-۴- روش پتانسیومتری..... ۱۳۶

۱-۲-۲-۱-۴- وابستگی بین نقطه کور و مقدار ولتاژ تحریک..... ۱۳۹

۲-۲-۱-۴- اقدامات انجام شده جهت رفع معایب استفاده از روش رله پتانسیومتری..... ۱۳۹

۳-۱-۴- حفاظت اتصال زمین روتور در سیستم تحریک دینامیک..... ۱۴۰

۲-۴- اصول کار رله های اتصال زمین..... ۱۴۲

۳-۴- تنظیم و هماهنگی رله های اتصال زمین (و تجهیزات وابسته)..... ۱۴۳

۱-۳-۴- محاسبه مقاومت نصب شده در ثانویه ترانسفورماتور توزیع..... ۱۴۳

۲-۳-۴- اثر تلفات انرژی در مقاومت ثانویه ترانس بر ولتاژهای گذرا..... ۱۴۶

۳-۳-۴- مشخصات ترانس نقطه صفر (نقطه نول)..... ۱۴۷

۴-۳-۴- محدودیت حفاظت سیم پیچی استاتور ژنراتور..... ۱۴۸

۱-۴-۳-۴- زمان عملکرد رله..... ۱۴۸

۵-۳-۴- حفاظت صد درصد سیم پیچی استاتور ژنراتور..... ۱۴۹

۶-۳-۴- مثال..... ۱۵۳

۷-۳-۴- تنظیم جریان رله های اتصال زمین..... ۱۵۵

۸-۳-۴- تنظیم زمانی رله های اتصال زمین..... ۱۵۵

۴-۴- طرحهای رله اتصال زمین برای ژنراتور..... ۱۵۶

- ۱۵۷-۴-۱- رله اضافه جریان زمین اولیه در ژنراتورها.....
- ۱۵۸-۴-۲- رله اضافه جریان زمین ثانویه در ژنراتورها.....
- ۱۵۸-۴-۳- تحلیل عملکرد رله های اتصال زمین ژنراتورهای نیروگاه گازی ری.....
- ۱۵۹-۴-۴- منطق قطع (تریپ) و هشدار توسط حفاظت استاتور و روتور ژنراتور.....
- ۱۵۹-۴-۵- طرحهای رله اتصال زمین برای موتور.....
- ۱۵۹-۴-۶- طرحهای رله اتصال زمین برای ترانسفورماتورهای داخل نیروگاه.....
- ۱۶۰-۴-۱- وضعیت اتصال زمین شدن یک ترانسفورماتور با نقطه خنثی زمین شده.....
- ۱۶۰-۴-۲- اتصال زمین ترانسفورماتورهای زمین شده با امپدانس بزرگ.....
- ۱۶۱-۴-۳- حفاظت اتصال زمین ترانسفورماتور.....
- ۱۶۱-۴-۴- حفاظت اتصال زمین کمکی.....
- ۱۶۲-۴-۵- تحلیل عملکرد رله های اتصال زمین ترانسفورماتورهای نیروگاه گازی ری.....
- ۱۶۲-۴-۷- طرحهای رله اتصال زمین برای خطوط داخل نیروگاه.....
- ۱۶۳-۴-۱-۷- حفاظت اتصال زمین در باس بار اصلی مصرف داخلی نیروگاهها برای سیستم ایزوله.....
- ۱۶۴-۴-۱-۷- بررسی روش های پیشنهادی مختلف جهت حفاظت اتصال زمین.....
- ۱۶۸-۴-۱-۷-۲- نتیجه.....

فصل پنجم

- ۱۶۹-۴-۵- تداخل حفاظت نیروگاه با شبکه.....
- ۱۷۰-۵-۱- مطالب عام تداخل حفاظت نیروگاه با شبکه.....
- ۱۷۲-۵-۲- مطالعه موردی نیروگاه ری.....
- ۱۷۶-۵-۳- مقایسه پیامدهای سیستم حفاظتی نیروگاههای شریعتی و نیشابور.....

فصل ششم

- ۱۷۸-۶- محاسبات تنظیم رله های جریان زیاد و اتصال زمین و نحوه هماهنگی آنها.....
- ۱۷۹-۶-۱- هماهنگی رله های حفاظتی و انواع آن.....
- ۱۸۰-۶-۲- نحوه هماهنگی رله های جریان زیاد.....
- ۱۸۰-۶-۲-۱- اطلاعات مورد نیاز در مطالعات مربوط به تنظیم یک رله.....
- ۱۸۱-۶-۲-۲- قوانین اصلی برای ایجاد هماهنگی درست بین رله ها.....
- ۱۸۱-۶-۲-۳- انتخاب نوع مشخصه زمان- جریان رله های جریان زیاد.....
- ۱۸۲-۶-۲-۴- تنظیم جریان رله جریان زیاد.....
- ۱۸۲-۶-۲-۴-۱- تنظیم رله جریان زیاد ژنراتور و انتخاب راکتانس مناسب برای تنظیم رله.....
- ۱۸۳-۶-۲-۵- تنظیم زمان رله جریان زیاد.....

- ۶-۲-۶ - تنظیم حفاظت جریان زیاد معکوس با حداقل زمان..... ۱۸۴
- ۶-۲-۷-رله های اضافه جریان کنترل شده با ولتاژ..... ۱۸۶
- ۶-۲-۸- هماهنگی رله های جریان زیاد در یک نمونه از سیستم صنعتی..... ۱۸۸
- ۶-۲-۸-۱- موتور القایی..... ۱۹۰
- ۶-۲-۸-۲- ترانس توزیع ۷۵۰ KVA..... ۱۹۰
- ۶-۲-۸-۳- فیدر ۶/۶ کیلوولتی..... ۱۹۱
- ۶-۲-۸-۴- ژنراتورهای ۵ مگاوات آمپری..... ۱۹۲
- ۶-۲-۹- مثال جهت تنظیم جریان رله های جریان زیاد ژنراتور..... ۱۹۴
- ۶-۲-۱۰- تنظیم رله اضافه جریان کنترل شده با ولتاژ در شبکه های برق صنعتی..... ۱۹۶
- ۶-۳- تنظیم و هماهنگی رله های اتصال زمین و مطالعه موردی آن..... ۱۹۹

- ۶-۳-۱- طرح یک مثال..... ۱۹۹
- ۶-۳-۲- حفاظت اتصال زمین حساس..... ۲۰۰
- ۶-۳-۳- مطالعه موردی و محاسبات حفاظت اتصال زمین نیروگاه لوشان..... ۲۰۱
- ۶-۳-۴- بررسی یک اتصال کوتاه استثنایی در ژنراتور (هنگام بازبودن سکسیونر زمین)..... ۲۱۰

فصل هفتم

حفاظت بار زیاد..... ۲۱۶

- ۷-۱- روش R.T.D..... ۲۱۶
- ۷-۲- روش رله اضافه بار..... ۲۱۶
- ۷-۳- رابطه بین جریان ورودی به رله، جریان تنظیم رله و زمان عملکرد آن..... ۲۱۷

فصل هشتم

یادآوری مطالب تئوریک حفاظت مولفه منفی..... ۲۱۸

- الف) مولفه های ترتیب مثبت..... ۲۱۸
- ب) مولفه های ترتیب منفی..... ۲۱۸
- ج) مولفه های ترتیب صفر..... ۲۱۸

فصل نهم

صدمات ناشی از میدان مولفه منفی جریان (حاصل از عدم تقارن بار) بر ژنراتور..... ۲۱۹



فصل دهم

- ۲۲۱.....تحلیل رفتار ژنراتور سنکرون در قبال مولفه منفی جریان
- ۱-۱۰- تحلیل رفتار ژنراتور در قبال خطای نامتقارن (خارجی)..... ۲۲۱
- ۱-۱-۱۰- ظرفیت حرارتی ماشین..... ۲۲۳
- ۲-۱۰- تحلیل رفتار ژنراتور در قبال بار نامتقارن..... ۲۲۶

فصل یازدهم

- ۲۲۷.....فیلتر مولفه منفی
- ۱-۱۱- مدار اول فیلتر مولفه منفی..... ۲۲۸
- ۱-۱-۱۱- تاثیر مقاومت داخلی رله در مدار فیلتر اول..... ۲۲۹
- ۲-۱۱- فیلتر هسته آهنی مولفه منفی (مدار دوم)..... ۲۳۰
- ۳-۱۱- فیلتر الکترونیکی مولفه منفی جریان (و رله مذکور)..... ۲۳۱

فصل دوازدهم

- ۲۳۳.....حفاظت مولفه منفی ژنراتور و مشخصه آن

فصل سیزدهم

- ۲۳۶.....منطق قطع (تریپ) ژنراتور توسط رله مولفه منفی

فصل چهاردهم

-نحوه تنظیم رله مولفه منفی ژنراتور
- ۲۳۷
- مثال یک - با استفاده از جریان بار کامل..... ۲۳۸
- مثال دو - با استفاده از $\frac{3}{4}$ جریان بار کامل..... ۲۳۹
- ۱-۱۴- تنظیم بخش هشدار رله منفی ژنراتور..... ۲۴۰

فصل پانزدهم

مطالعه موردی

- ۱-۱۵- تعداد عملکرد رله مولفه منفی نیروگاه گازی ری..... ۲۴۲
- ۲-۱۵- تحلیل عملکرد رله مولفه منفی نیروگاه گازی ری..... ۲۴۲
- ۳-۱۵- جمع بندی مطالعه موردی..... ۲۴۲

فصل شانزدهم

۲۴۵..... پرسش و آزمون

۲۴۹..... ضمیمه یک : علائم اختصاری و اعداد نشان دهنده وسایل حفاظتی

۲۵۱..... کتاب نامه (مراجع)



سخن مولف

یکی از علمی، کاربردی، جامع و مفیدترین مباحث مهندسی برق گرایش قدرت، درس رله و حفاظت است که دانشجوی این رشته و یا دیگر گرایشهای مهندسی برق، که به مشاغل مرتبط الکتروتکنیک و قدرت می پردازد، پس از اتمام تحصیل دانشگاهی، پی به کارا بودن این مبحث مهم میبرد. جهت استدلال صفات فوق الذکر جهت این درس مهندسی بترتیب در زیر پرداخته میشود:

الف- علمی است چون:

با استفاده از کلیه روابط و معادلات ریاضی مورد استفاده در دروس دانشگاهی- مدار الکتریکی، اندازه گیری الکتریکی، ماشینهای الکتریکی، بررسی سیستم قدرت، رله و حفاظت، مقادیر تنظیم رله های حفاظتی بدست می آید و از منابع علمی دروس فوق الذکر میتوان به تحلیل وقایع رخ داده در سیستم قدرت پرداخت و علل عملکرد رله های حفاظتی را تعیین نمود.

ب- کاربردی است چون:

در مراکز تولید و انتقال برق کشور (اعم از نیروگاهها، پستهای انتقال قدرت زیر مجموعه شرکتهای برق منطقه ای، شرکت توانیر) واحدی بنام رلیاژ موجود است که محل فعالیت مهندسین حفاظت میباشد و از عمده درس رله و حفاظت جهت پیشبرد فعالیتهای خود، بهره می جویند. در کارخانجات و مراکز صنعتی نیز، مهندسین برق جهت تعمیر و نگهداری سیستم های برق، نیاز به دانستن مباحث مورد لزوم از جمله فیوزها، رله های جریان زیاد، ولتاژ زیاد و یا کم، افزایش از سطح مجاز بار و... را دارند.

در شرکتهای مهندسین مشاور و بخشهایی که به طراحی و یا تجدید نظر در طراحی سیستم های حفاظتی مراکز برق فشار قوی و یا ضعیف (کلیه موارد تولید، انتقال و توزیع) می پردازند، نیز از ضروریات انجام این فعالیتهای، دانستن تئوری و عملی مباحث حفاظت الکتریکی است.

ج- جامع است چون:

در آخرین ترمهای دوره مهندسی برق (قدرت)، دانشجویان درس رله و حفاظت را می گذرانند چون پیش نیاز این درس، کلیه دروس مدار الکتریکی، ماشینهای الکتریکی، بررسی سیستم های قدرت، اندازه گیری الکتریکی می باشد و برای یادگیری این درس، دانشجو می باید بر دروس فوق الذکر مسلط باشد.

د- مفید است چون:

همانطور که در بند ب ذکر شد این درس حالت تئوری محض نداشته و برای کلیه فارغ التحصیلان رشته برق مورد استفاده دارد. از تعیین سطح فیوز (آمپر) مورد نیاز در خانه، تحلیل وقایعی که در رابطه با فیوز، پایه فیوز و قطعی برق در رده خانه فرد، تحلیل و عیب یابی وقایع الکتریکی بوجود آمده در سطح صنعت برق کشور و ارائه راه حل، مفید بودن این درس را می رساند.

جرقه های اولیه تالیف این کتاب، به هنگام آغاز فعالیت تجربی و حرفه ای اینجانب در حیطه رلیاژ و آنهم در نیروگاه گازی ری زده شد. هر چه به علل حوادث و وقایعی که در محدوده حفاظت الکتریکی نیروگاه

می پرداختم، به ضعف منابع کاربردی علمی موجود پی می بردم. البته در آن مقطع، از اساتید گرانقدر حفاظت الکتریکی در دانشگاه های صنعتی شریف و سپس صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی بهره جسته بودم و انبان علمی ام را تا حدی پرکرده بودم. در دهه ۶۰ شمسی از کارشناسان مجرب شرکت توانیر، بهره فراوان تجربی بردم و با مطالعه کتب حفاظت، که عمدتاً از شرکتهای سازنده رله حفاظتی بود و یا دوره های آموزشی برگزار شده در این شرکتهای و نیز مطالعه مقالات علمی فنی چاپ شده در مجلات معتبر خارجی و کسب تجربه در زمینه حفاظت ماشینهای الکتریکی و تدریس در دوره های تخصصی کارشناسی و راهنمایی پروژه های دانشجویی در مقطع کارشناسی، و با این دو انبان علمی و تجربی، به طراحی زنجیره فعالیت تحقیقی، تجربی در زمینه مطالب تئوریک، کاربردی و محاسباتی پیرامون حفاظت نیروگاه نمودم و هشت دانشجوی گرامی، این مسیر را پیمودند و پایان نامه های کارشناسی آنان، عمدتاً در دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تحقق بخش این طراحی ذهنی در جهت رفع نیازهای آموزشی ضمن خدمت و کاربردی مهندسی حفاظت الکتریکی، بهره برداران، مهندسین مشاور، و مهندسین تعمیرات میتواند باشد.

علیرغم مسئولیتهای مختلفم در حوزه های مدیریت پروژه، سرپرست گروه تخصصی، نصاب نیروگاه، پژوهشگر برق، برنامه ریزی تولید، و مسئول رلیاژ نیروگاه، جهت به ثمر رساندن این زنجیره فعالیت های تحقیقی، تجربی پیرامون حفاظت الکتریکی نیروگاه، تاکنون رها نکرده ام و این کتاب ثمره عمر حرفه ای و علمی ام، و تلاشی است در جهت رفع خلاء مرجع فارسی نسبتاً جامع در زمینه حفاظت ماشینهای الکتریکی می باشد، ناگفته پیداست که اینجانب معماری و طراحی این موضوع را کرده ام، مواد و مصالح و شکل دادن آن توسط دوستان زیادی بوده است، که یاد آنان، اقل کاری است که اینجانب میتوانم انجام دهم.

بخشهایی از جزوه "حفاظت ژنراتور" دوست گرامی ام، آقای مهندس همایون حایری را در این کتاب شاهد هستید. بخشهایی از پایان نامه کارشناسی ارشد دیگر دوست عزیزم، آقای مهندس جواد عمری که پیرامون ماشین های الکتریکی است، نیز از این جمله است. پایان نامه های کارشناسی آقایان مهندسین مرتضی فارسی و علی عسگر حسین زاده، زمینه ساز مواد خام این کتاب بوده است، آقای مهندس محمد محمدی مسعودی که دوره کارآموزی خود را در شرکت مشانیر به سرپرستی اینجانب می گذرانند، در بخشی از شکل دهی اولیه کتاب نقش داشته اند، که از کلیه این عزیزان صمیمانه تشکر می نمایم. دیگر مراجعی که از آنها استفاده شده در انتهای کتاب آورده شده است.

مخاطبین این کتاب، دانشجویان و فارغ التحصیلان کارشناسی و دوره های تحصیلات تکمیلی مهندسی برق (قدرت) دانشگاهها، مهندسین رلیاژ (حفاظت الکتریکی) در نیروگاهها و مهندسین مشاور و طراحان سیستم های حفاظتی الکتریکی، کارشناسان حوزه های ستادی و پیمانکاری صنعت برق، و نیز کارشناسان بهره برداری و تعمیرات نیروگاهها و پستهای انتقال نیرو می باشند.

هدف از تالیف این کتاب، تهیه مجموعه ای علمی - کاربردی در زمینه رله های جریانی حفاظت الکتریکی نیروگاه است، تا مبانی علم رله و حفاظت و مباحث مرتبط از ماشینهای الکتریکی، و بررسی سیستم های قدرت، با تجربیات بدست آمده در صنعت برق و همچنین مباحث جدید این علم در هم آمیخته شده و در اختیار مخاطبین فوق الذکر باشد و تا حد امکان سعی شده نیازهای متفاوت این مجموعه مخاطبین را تامین نماید. و از این رهگذر به اهداف زیر نائل شویم:

- ۱- تدوین کتاب تکمیلی آموزشی جهت دانشجویان درس رله و حفاظت دانشگاهها و دوره های کارشناسی مراکز آموزشی و پژوهشی وزارت نیرو
- ۲- تدوین مرجعی علمی - کاربردی جهت مهندسان حفاظت وزارت نیرو و مراکز صنعتی کشور (با گرایش مهندس مشاور از بابت تنظیم رله حفاظتی، مهندس بهره بردار و تعمیرات از بابت تحلیل وقایع الکتریکی پیش آمده و رفع خطا در سیستم).
- ۳- تهیه متنی کاربردی جهت کلیه مهندسین برق (قدرت) برای آشنایی بیشتر با مباحث حفاظت ژنراتور، موتور و ترانسفورماتور

با توفیق الهی، در آینده کتاب رله های غیر جریان (ولتاژی- امپدانس- فرکانسی- توانی) حفاظت الکتریکی نیروگاه به رشته تحریر در خواهد آمد. تا عمده حفاظت الکتریکی نیروگاه را بتوان پوشش داد.

در فصل ابتدایی کتاب، یادآوری مطالب تئوریک و حرفه ای پیش نیاز ورود به بحث، بمنظور هماهنگی ذهنی کلیه مخاطبین کتاب با مطالب بعدی کتاب است و متخصصینی که فاصله زمانی با دوران تحصیلی دانشگاهی شان داشته اند و یا با برخی از پایه مطالب جدید، از قبیل ترانس جریان نوری و رله های دیجیتال آشنایی ندارند، این فصل یادآوری، کمک ذهنی خوانندگان خواهد بود. فصلهایی از کتاب نیز به هر یک از رله های دیفرانسیل (تفاضلی)، جریان زیاد، اتصال زمین، مولفه منفی، بار زیاد، از زوایای مختلف تبیین فیزیک پدیده رخ داده، صدمات ناشی از پدیده ای که نیاز به آن حفاظت را ضرور نموده، تحلیل رفتار ماشین الکتریکی در قبال این پدیده، علت حفاظت انتخابی، مبانی تئوری و اصول کار رله، نحوه تنظیم رله، انواع طرحهای رله گذاری، منطق قطع (تریپ) ماشین الکتریکی توسط رله مدنظر، تحلیل عملکرد رله، پرداخته شده است.

فصلهایی نیز با بحث تداخل حفاظت نیروگاه با شبکه، و محاسبات تنظیم رله های جریان زیاد و اتصال زمین و نحوه تنظیم و هماهنگی آنها با مثالهای عملی، آورده شده است.

مطالعه موردی از عملکرد رله و حفاظت مورد بررسی در این کتاب، عمدتاً در یک نیروگاه کشور و برخی از نیروگاههای دیگر بعمل آمده، آورده میشود تا مشکلات و مسائل حفاظت مذکور در عمل مشخص و مطرح گردد. لازم به ذکر است که این مطالعات موردی مندرج در کتاب، عمدتاً توسط نگارنده، در کنفرانسهای بین المللی و سمینارهای داخلی ارائه شده است. برای اطلاعات تکمیلی تر، خوانندگان می توانند به مراجع مربوطه، مراجعه نمایند. پرسش و آزمون جهت استفاده مدرسین و دانشجویان این رشته برای آموزش آورده شده است.

امید است این کتاب بتواند در جهت ارتقاء سطح علمی، فنی دانشجویان و مهندسان کشور عزیزمان موثر واقع شود. برای آشنایی با ذائقه علمی و فنی مخاطبین، ابتدا بخشی از این کتاب به همت شرکت خدمات مهندسی برق (مشانیر)- دفتر تحقیقات و استاندارد، بشکل جزوه "حفاظت مولفه منفی ژنراتور" تکثیر و در اختیار حوزه ستادی و شرکتهای صنعت آب و برق قرار گرفت. در این رابطه از مدیریت، کارشناسان و عوامل اجرایی شرکت مشانیر، که در چاپ و تکثیر این جزوه، اینجانب را همراهی نموده اند، تشکر میشود.

پیشنهاد میشود که با توجه به کاربرد وسیع این علم در عرصه عمل و تنوع مطالب و مفید و ضروری بودن این حرفه (مهندسی حفاظت)، درس رله و حفاظت در دانشگاهها و علی الخصوص در دانشکده های کاربردی در زمینه قدرت (در وزارت نیرو)، به دو درس زیر تبدیل شود:

۱- درس "مبانی حفاظت و حفاظت خط و پست"

۲- درس "حفاظت ماشینهای الکتریکی"

در درس اول، اصول حفاظت و مباحث حفاظتی انتقال انرژی تدریس شود و در درس دوم، نیز همانطور که در قبل آمد، کتاب موجود بعنوان مرجع و مبنای تدریس قرار گیرد. به اعتقاد نویسنده این کتاب، هر چقدر مطالب تجربی و کاربردی صنعت برق در دروس دانشگاهی مهندسی برق وارد شود فاصله دانشگاه با صنعت کاهش می یابد و فارغ التحصیلان با آشنایی مناسب از مبانی صنعت برق به آن راه می یابند و مثمرتر به حال خود و کشور میگردند. از دبیرخانه هیئت علمی شرکت سهامی برق منطقه ای تهران، مستقر در دفتر سازماندهی و بهبود روشها و مدیر این دفتر، جناب آقای دکتر حسین وزیری که در امر چاپ این کتاب فنی و تخصصی یاری رسان بوده اند، صمیمانه تشکر میشود. در اینجا لازم است که قدردان اساتید حفاظت و مهندسیین ارشد حفاظت در صنعت برق، که در محضر درس و کار آنان، زمینه های اساسی، اولیه و میانی حفاظت را آموختم، باشم و از این عزیزان و دیگر متخصصین و صاحب نظران حرفه حفاظت الکتریکی (ماشین های الکتریکی) درخواست کنم که اینجانب را از راهنمایی خود در جهت تکمیل و رفع اشکالات احتمالی این کتاب، محروم نمایند.

درانتها از آقای مهندس محمد بهمن پور، مدیر دهه شصت نیروگاه گازی ری، که زمینه ساز ورودم به عرصه رلیاژ این نیروگاه بوده اند، و کلیه مسئولین و کارشناسان نیروگاهها و مراکز انتقال نیرو و دانشجویان پروژه ها که ما را در جمع آوری و جمع بندی اطلاعات مورد نیاز مطالعات موردی مذکور در کتاب یاری نموده اند، کارشناسان ارشد شرکتهای مهندسین مشاور و کتابخانه های مراکز علمی و صنعتی که در جهت تهیه مراجع مورد نیاز یاری کرده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

(آدرس مولف: تهران ، میدان ونك، خیابان شهید خدای، پلاک ۳۷ ، شرکت مشانیر ، معاونت مهندسی بهره برداری و طرحهای بهینه سازی ، مدیر پروژه های بهینه سازی .

تلفن: ۸۸۷۹۴۷۴۳-۸۴۷۸۲۲۰۷-۸۸۶۷۲۱۵۷ فاکس ۰۲۱-

(E-mail:m.ghalamchi@moshanir.com

مصطفی قلم چی

مهرماه ۱۳۸۵

رمضان ۱۴۲۷

فصل اول

یادآوری مطالب تئوریک و حرفه ای پیش نیاز

ورود به بحث سیستم های حفاظتی

اتصال کوتاه و آسیبهای وارده به تجهیزات نیروگاهی

سیستم زمین و انواع زمین کردن ماشین الکتریکی

اطلاعات ورودی به رله های جریانی

مبانی رله های میکروپروسسوری

قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی



بخش اول

سیستم های حفاظتی

مقدمه

رله های حفاظتی و اصول ساختمانی آن

سیستمهای واحد و غیر واحد

حفاظت اصلی و پشتیبان

رویهم قرار گرفتن نواحی حفاظتی

ضعف سیستم حفاظتی

پیامدهای سیستم حفاظتی

نکات عملی سیستم حفاظت نیروگاهی



این فصل بمنظور یادآوری مفاهیم اولیه حفاظت الکتریکی علی الخصوص از زاویه دید رله های جریانی تنظیم شده است.

مقدمه :

سیستمی که پس از وقوع خطا و یا بروز حالت بهره برداری غیر عادی و یا خارج از حد قابل قبول برای تجهیز از شبکه، این حالات غیر عادی را تشخیص میدهد و سبب می شود 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 طور کلی وقوع خطا و یا بروز حالات بهره برداری خارج از حد قابل قبول، نتایج زیانبار ذیل را در پی دارد و نتایج کنترلی پیگرد آن بعهده سیستم حفاظتی میباشد:

۱- با عبور جریانهای بزرگ غیر عادی از بخشی از شبکه، تجهیزات بیش از حد گرم می شوند. بطور مثال رله دیفرانسیل (تفاضلی) تشخیص اتصالی در داخل ترانسفورماتور نموده و یا رله بار زیاد (Over Load) ژنراتور را در حالتی بهره برداری غیر عادی تشخیص داده و این تجهیزات را از شبکه جدا می نمایند.

۲- ولتاژهای سیستم خارج از میزان قابل قبول قرار میگیرد، نتیجه اینکه با تخریب عایق تجهیزات، ممکن است به تجهیزات خسارت وارد شود.

۳- در قسمتهایی از شبکه ممکن است سیستم سه فاز، نامتعادل شود، در نتیجه تجهیزات به طور صحیح نمی توانند کار کنند، و یا در وضعیت خاص بهره برداری از شبکه یا اشکال در مدارهای ثانویه ترانسفورماتور جریان و ولتاژ، ممکن است رله های حفاظتی عملکرد ناخواسته داشته باشند این حالتی خاص را میتوان رله های دیگری تشخیص و از عملکرد رله های حفاظتی اصلی جلوگیری نمود.

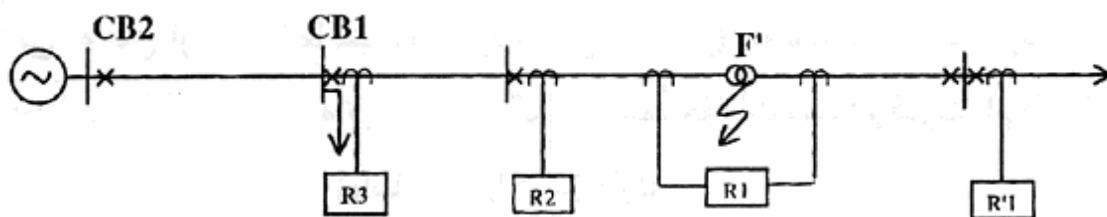
لذا به منظور رفع خطا، لازم است سیستم حفاظتی بکار رود که برخی ویژگی ها با ذکر تعاریف مورد نیاز آن در ذیل آورده می شود:

الف- سرعت: 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. هر چه زمان عملکرد رله کمتر باشد، سرعت آن بیشتر است.

ب- حساسیت: کمترین جریان مورد نیاز برای عملکرد یک سیستم حفاظتی است.

ج- تشخیص: خاصیت تمیزدادن تحت شرایط خطا، مبنی بر اینکه کلید قدرت مناسب قطع شود و نتیجه آن قطع حداقل سیستم باشد. چون عمل سیستم حفاظتی منجر به ایجاد تغییراتی در شبکه میگردد، از آن جمله میتوان قطع واحدهای تولیدی انرژی الکتریکی را نام برد عملکرد مطمئن آن از اهمیت خاصی برخوردار است.

به عنوان مثال در شکل ۱-۱ تشخیص مناسب برای خطا در نقطه f آن است که رله $R1$ و کلید $CB1$ قطع شود و کلید دیگر نظیر $CB2$ که پشتیبان $CB1$ است، عمل نکند.



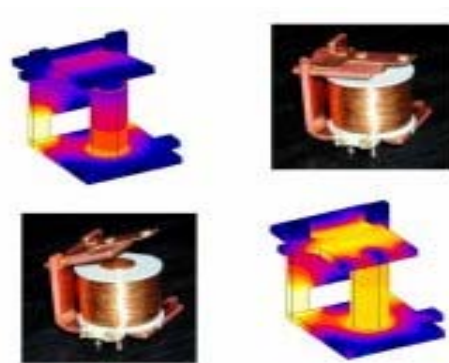
شکل (۱-۱): شماتیک شبکه

د- پایداری: توانایی یک سیستم حفاظتی در اینکه در تمام حالات نسبت به خطای خارج از ناحیه حفاظتی مربوطه عکس العملی از خود نشان ندهد.

۱-۱-۱ - رله های حفاظتی و اصول ساختمانی آن

یک رله وسیله ای است که با باز و بسته کردن کلید قدرت (مدار شکنها) سبب می شود که عملکرد وسایل و تجهیزات قدرت الکتریکی ، تحت نظارت و کنترل قرار گیرد. عملکرد یک رله، تشخیص شرایط غیر عادی در بخشی از شبکه قدرت است. رله ها در ولتاژ و جریان بالا کار نمی کنند و ولتاژ و جریان ناشی از اتصال کوتاه به ترتیب توسط وسایلی مانند ترانسفورماتور ولتاژ (P.T) و جریان (C.T) ، تبدیل به مقدار کمتری می شوند و رله ها با آن ولتاژ و جریان کم کار می کنند.

به لحاظ ساختمانی، رله ها به سه دسته الکترومکانیکی، استاتیکی (الکترونیکی) و میکروپروسسوری (دیجیتالی یا ریز پردازنده) تقسیم می شوند:

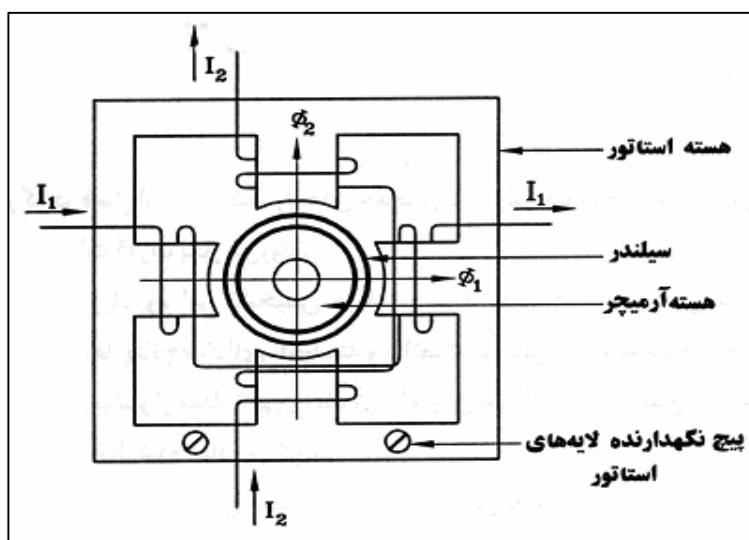


شکل (۱-۲): المانهای از رله الکترومکانیکی

الف- رله های الکترومکانیکی:

در این نوع رله، عملکرد سیستم مانند یک موتور، بر اساس حرکات میدان مغناطیسی (سیم پیچ) یا هسته در میدان الکتریکی دیگر و گردش یک آرمیچر استوار است. محور آرمیچر سبب باز و یا بسته شدن یک کنتاکتور شده و عملکرد کنتاکتور موجب قطع و وصل کلیدهای واسطه و نهایتاً قطع مدار قدرت می شود.

نمونه ای از یک رله الکترومکانیکی در زیر دیده می شود.

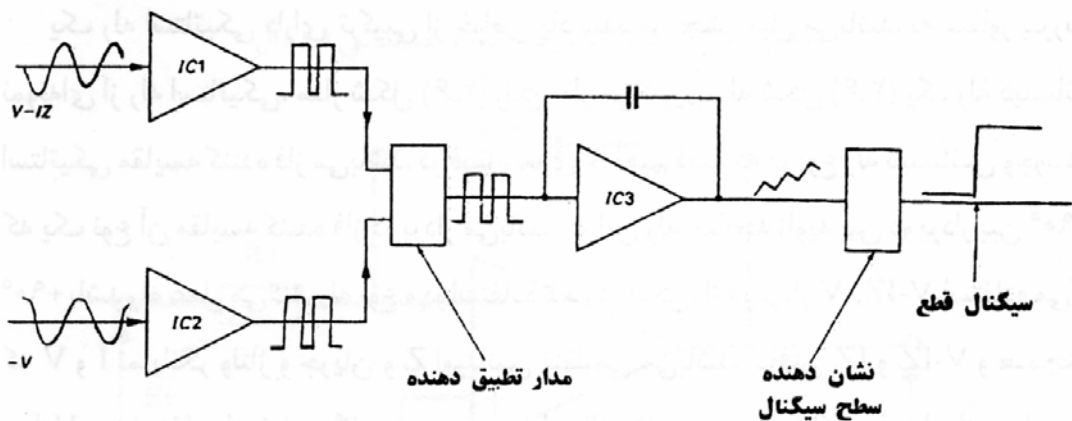


شکل (۱-۳): سیم پیچی یک رله الکترومکانیکی

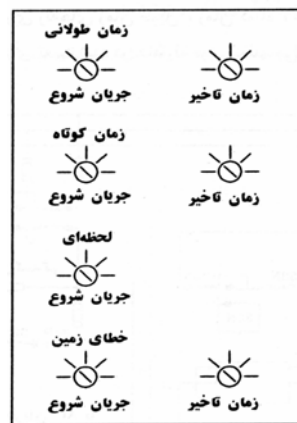
شکل (۱-۳):

(ب) رله های استاتیکی (الکترونیکی):

اساس این نوع رله ها در ترکیب المانهای ثابت ترانزیستوری و تقویت کننده های عملیاتی استوار است. در خروجی مدار استاتیکی، یک پالس تولید شده و بسته به نوع پالس خروجی، فرمان قطع به کلید فرمان صادر میشود. به منظور بررسی بیشتر، این نکته اهمیت دارد که قابلیت انعطاف این نوع رله ها با توجه به اینکه از عناصر الکترونیکی نظیر مقاومت و غیره استفاده میکنند، در مقایسه با رله الکترومکانیکی بیشتر است، شکل ۴-۱ یک نمونه از رله استاتیکی دیستانس را نشان میدهد.



شکل (۴-۱): یک نمونه رله استاتیکی



شکل (۴-۱): پتانسیومترهای تنظیم در یک رله استاتیک

ج- رله های میکروپروسسوری (دیجیتالی):

در این نوع رله ها، از مدارهای میکروپروسسوری (ریز پردازنده) استفاده شده است. این رله ها با پردازش اطلاعات ورودی (جریان و ولتاژ) مطابق برنامه ریزی انجام شده، سیگنالهای فرمان لازم را تولید می کنند. قابلیت انعطاف این نوع رله نسبت به دو نوع دیگر بیشتر است. در رله نوع اول (الکترومکانیکی) به منظور تغییر مشخصه و تغییر اثر جریان و نهایتاً مغناطیس حاصل از آن لازم است تعداد سیم پیچی را در دو قطب تغییر دهیم. رله استاتیکی نیز بر اساس نیمه هادی ها کار می کند. اما اساس کار رله سوم (دیجیتالی یا رقمی) بر برنامه استوار است. زبان برنامه نویسی این رله ها، زبان سمبلی است و با زدن دکمه، برنامه های مختلف اجرا میشود. توضیحات کاملتر در بخش پنجم همین فصل آمده است.

۱-۱-۲- سیستم های واحد و غیر واحد:

رله ای که فقط برای حفاظت داخلی یک دستگاه و یا یک محدوده معین به کار رود، **حفاظت واحد** و رله ای که برای حفاظت نواحی مختلف شبکه به کار میرود، حفاظت غیر واحد است.

سیستم حفاظتی نوع اول (واحد) به نحوی طراحی شده است که فقط برای شرایط غیر عادی در منطقه حفاظت شده شبکه قدرت عمل کند و به سیستم حفاظتی واحد معروف است معمولاً این سیستم ها بسیار سریع هستند، مانند رله دیفرانسیل، اما سیستم حفاظتی که صرفاً از یک تجهیزات معین شبکه حفاظت نمی کند یا نواحی قطع آن به طور مشخص تعریف نشده است، به سیستم حفاظتی غیر واحد مرسوم است و رله های جریان زیاد از نوع رله های غیر واحد هستند.

۱-۱-۳- حفاظت اصلی و پشتیبان

وظیفه حفاظت اصلی این است که کلید قدرت مربوط به بخش دچار خطا شده را با سرعت هر چه تمامتر قطع نماید. اما اگر حفاظت اصلی به هر دلیل (از قبیل نرسیدن جریان یا ولتاژ به رله، قطع بودن مدار تغذیه DC رله، خراب بودن رله، کار نکردن کلید قطع مدار) عمل نکند، باید حفاظت پشتیبان عمل نماید. چنانچه حفاظت پشتیبان در محل حفاظت اصلی قرار گرفته باشد، به حفاظت پشتیبان محلی و چنانچه دور از حفاظت اصلی باشد، به حفاظت پشتیبان دور مرسوم است.

ابتدا بایستی منظور از حفاظت پشتیبان را در اینجا مشخص نمائیم:

الف- تکرار حفاظت:

در تجهیزاتی که بعلاوه اهمیت زیاد که میتواند از جهت بهای بسیار آن و یا نیاز شدید به تداوم تبادل انرژی الکتریکی و... باشد از دو حفاظت مشابه که یکی اصلی و دیگری اصلی دو است بکار میبرند که هر دو دارای یک مشخصه میتوانند باشند و نیز دارای تنظیم مشابه هستند. در اینجا منظور از تکرار حفاظت، عدم عملکرد صحیح یک رله بر اثر خطای پیش آمده است و رله دوم آن خطا را می بیند و باعث حذف قسمت معیوب از سیستم میگردد. مثال این بند میتواند در حفاظت خطوط انتقال نیرو، استفاده از دو رله اصلی دیستانس که یک خط را حفاظت میکنند، باشد.

ب- جبران ضعف و یا نقص رله اصلی:

برای حفاظت یک وسیله، گهگاه از رله ای استفاده میگردد که گرچه حفاظت اصلی است ولی بخشی از ناحیه حفاظتی آن وسیله را حفاظت میکند و اگر خطا دورتر از آن درصد ناحیه رخ دهد، رله انرژی دار نشده و در نتیجه عمل نمی یابد.

بدین خاطر رله پشتیبانی را در نظر می گیرند که ضعف و یا نقص حفاظتی این وسیله را در این رابطه جبران نماید. مثالی برای این بند رله دیفرانسیل (اصلی) و رله جریان زیاد (پشتیبان) جهت حفاظت ترانسفورماتور می باشد.

ج- عملکرد با تاخیر زمانی بیشتر :

دو حفاظت، یکی اصلی و دیگری پشتیبان میتواند از دو مشخصه متفاوت ویا با اندازه گیری پارامترهای مختلف استفاده نماید ولی جدا کردن یک بخش معیوب از سیستم بکار رود که یک نتیجه را حاصل میکند بفرص یکی رله دیستانس خط (اصلی) و دیگری رله جریان زیاد خط (پشتیبان) میباشد که قاعدتا بایستی رله دیستانس که رله اصلی است با سرعت بیشتر و زمان کمتری بخش معیوب را از سیستم خارج نماید و در صورت عدم عملکرد بر اثر هر نوع عیب و ایراد احتمالی خود رله حفاظتی، رله جریان زیاد با تاخیر بیشتر این عمل را صورت دهد.

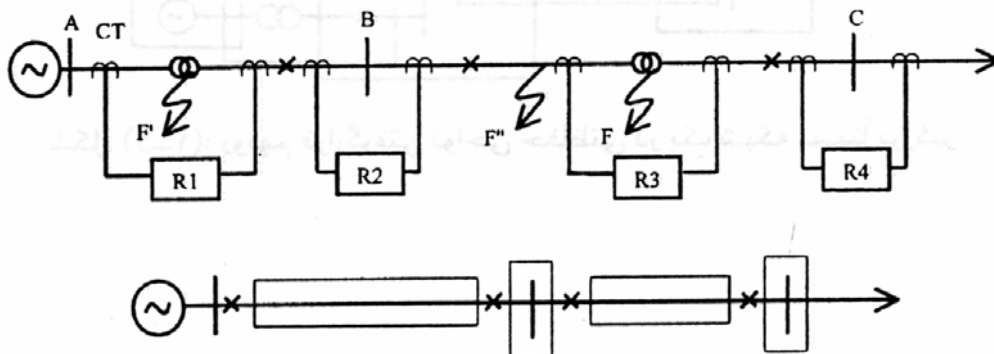
با دید تعریف بند الف (تکرار حفاظت) ، برای حفاظت ژنراتور اعمال دو رله ای را در نظر می گیریم که برروی دو فاز جداگانه نصب گردیده است و پوشش حفاظتی بیشتر برای کلیه فازها مدنظر قرار گرفته است. از این قبیل پشتیبانی، رله برگشت توان (Reverse power) رله اضافه بار (Overload) و رله فرکانس کم (Under frequency) را در نظر گرفته ایم که دو رله از حفاظت های ذکر شده برروی دو فاز متفاوت ژنراتور قرار می گیرد.

رله تعادل ولتاژ (voltage balance) و رله اشکال فیوز (fuse failure) نیز بعنوان تکرار حفاظت تلقی میشود و هر دو یک نقش را در سیستم حفاظتی ژنراتور بازی میکنند که جهت اطمینان بیشتر در سیستم حفاظتی از هر دو آنها استفاده بشود. رله lockout ژنراتور، بعلمت اینکه عملکرد چندین رله به این رله اعمال میگردد و عمل نهایی را این رله انجام میدهد نیاز به قابلیت اعتماد بیشتری برای آن است بدین خاطر دو رله lockout برای حفاظت ژنراتور بایستی استفاده گردد (که اینهم تکرار حفاظت میباشد). رله دیستانس (حداقل امپدانس - minimum impedance) که بعنوان پشتیبان رله دیفرانسیل و از نوع حفاظت پشتیبان بند ج میباشد نیز با حفاظت دو مرحله ای جهت حفاظت واحد در نظر گرفته میشود. جهت درجه بالای سلامت تجهیزات واحد نیروگاهی، دو مدار جداگانه ای جریان مستقیم (DC) جهت انرژی دار کردن کویلهای تریپ دهنده کلید قدرت برای هر کدام از رله های اصلی و پشتیبان در نظر گرفته میشود.

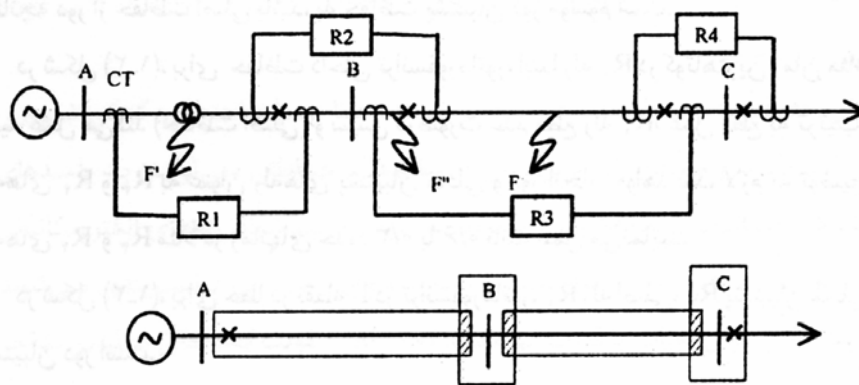
۱-۱-۴- روی هم قرار گرفتن نواحی حفاظتی:

در حفاظت واحد که برای تجهیزات مختلف به کار میرود ، محل قرار گرفتن ترانسفورماتورهای جریان باید به گونه ای انتخاب گردند که نواحی مجاور حفاظتی روی هم قرار گیرند. به عبارتی دیگر، چنانچه C.T های حفاظت واحد

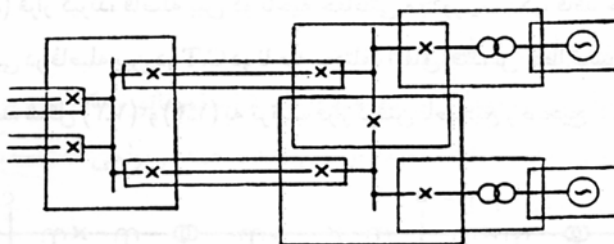
، مجاور کلید و به طرف قطعه مورد حفاظت قرار گیرند، فاصله بین دو ناحیه حفاظتی مجاور یکدیگر، فاقد حفاظت خواهد بود. در شکل ۱-۶ قرار گرفتن صحیح C.T ها را می بینید.



شکل (۱-۵):حفاظت نوع واحد وشکل قرار گرفتن ناصحیح C.T ها



شکل (۱-۶):حفاظت نوع واحد وشکل قرار گرفتن صحیح C.T ها وروپهم قرار گرفتن نواحی حفاظتی



شکل (۱-۷):روپهم قرار گرفتن نواحی حفاظتی در یک شبکه نسبتا بزرگتر

۱-۱-۵- ضعف سیستم حفاظتی

- ۱- عدم هماهنگی عملکرد رله های حفاظتی: در واقع هنگام بروز حادثه در یک نقطه از شبکه انتظار آن است که رله های حفاظتی مربوطه عمل نموده و قسمت معیوب را از شبکه جدا و بقیه شبکه بکار عادی خود ادامه دهد.

- ۲- اشکال رله حفاظتی: یک حفاظتی می‌تواند قبل از وقوع حادثه معیوب باشد و هیچکس از آن اطلاعی نداشته باشد و بعد از بروز اتصالی و عملکرد سایر رله‌ها با تجزیه گزارش حوادث، اشکال آن مشخص گردد. همچنین یک رله حفاظتی می‌تواند در هنگام حادثه دچار اشکال گردد و این ناشی از طراحی می‌تواند باشد و نیز یک رله می‌تواند از دقت لازم برخوردار نبوده و یا به حالت‌های گذرا حساس باشد.
- ۳- وجود رله‌های حفاظتی بدون کنترل جهت دار: مثل رله‌های اتصال زمین بدون جهت و جریان زیاد بدون جهت، این رله‌ها می‌تواند در مواردی عملکرد ناخواسته داشته باشند و باعث ارسال فرمان نابجا گردند.
- ۴- اشکالات طراحی رله‌های حفاظتی: وجود اشکالات رله سیستم‌های حفاظتی می‌تواند در بهره‌برداری عادی از شبکه اختلال ایجاد کند و هم در حوادث، مثلاً فرض کنید منبع تغذیه یک رله دیستانس مرتباً دچار اشکال گردد و یا رله دیستانس یک خط در حالتیکه از مدار خارج است توسط ولتاژهای القایی خط مجاور عمل نماید.

۱-۱-۶- پیامدهای سیستم‌های حفاظتی

وظیفه هر سیستم حفاظتی آن است که در صورت وقوع هر خطا، حداقل قسمتهایی را که احتمال آسیب دارند در کمترین زمان ممکن از سرویس خارج نموده و در حداقل زمان پس از رفع عیب، به شبکه متصل نمایند. بهر حال نقش حفاظتهای سیستم پس از آشکارسازی خطا، جلوگیری از گسترش آن و آسیب دیدگی از تجهیزات است. در این بخش به معرفی انواع پیامدهایی که ممکن است در صورت عملکرد سیستم‌های حفاظتی رخ بدهند، اشاره میشود:

تریپ آنی^۱

در صورت عملکرد این گروه از حفاظتها، ژنراتور بطور آنی از سیستم قدرت جدا میشود. این دسته از حفاظتها در صورت وقوع عیب داخلی ژنراتور و شرایط غیر عادی و خطرناک در نواحی حفاظتی ژنراتور صورت می‌گیرد. همزمان با باز شدن بریکر اصلی واحد، بریکر تحریک نیز باز شده و با بسته شدن کنترل والوهای سوخت واحد گازی، واحد تریپ نموده یا به اصلاح بطور خودکار (خروج اضطراری) از مدار خارج میشود. در اینصورت تامین تغذیه واحد به تغذیه آماده^۲ تعویض میشود. بیشتر حفاظتهای توربین با تریپ آنی همراه است.

این حفاظتها شامل:

- ۱- حفاظت عدم وجود شعله^۳
- ۲- حفاظت آتش^۴
- ۳- حفاظت سرعت بیش از حد^۵ توربین
- ۴- حفاظت درجه حرارت زیاد^۶ توربین
- ۵- حفاظت در برابر لرزش زیاد^۷
- ۶- حفاظت روغن روغنکاری^۸ در برابر افزایش بیش از حد درجه حرارت و یا کاهش بیش از حد فشار
- ۷- حفاظت در برابر نشت گاز

1- Simultaneous trip
2- Stand by
3- Loss of flame
4- Fire protection

5- Over speed
6- over temperature
7- Over vibration
8- Lubricating oil



و... میشوند. همچنین با عملکرد حفاظت دیفرانسیل ژنراتور، تریپ آنی واحد، امری قطعی است.

تریپ ژنراتور^۹

این دسته از حفاظتهای سیستم معمولاً بریکرهای ژنراتور و تحریک را تریپ داده ولیکن باعث توقف توربین نمی شوند. چنانچه امکان برگشت سریع واحد به شرایط عادی وجود داشته باشد و پس از آن بتوان در یک زمان کوتاه، واحد را با شبکه سنکرون نمود، این پیامد انتخاب میشود. برای برخی از اختلالهای سیستم قدرت و نه برای عیوب داخلی ژنراتور، میتوان از عملکرد تریپ ژنراتور بهره برد.

تریپ جداسازی واحد^{۱۰}

در این حالتها تنها بریکر خط (یا بریکر پست) باز شده و واحد از شبکه جدا میگردد. در اینصورت تغذیه تجهیزات کمکی از ژنراتور واحد تامین شده و نیاز به تامین برق با تغذیه آماده نیست. مزیت این پیامد، حفظ تغذیه واحد و سنکرون شدن سریع واحد پس از رفع عیب، در حداقل زمان ممکن است. در صورت عملکرد این دسته از حفاظتها باید تاثیر برداشتن بار^{۱۱} از روی واحد مورد بررسی قرار گیرد تا از وقوع شرایط افزایش بیش از حد مجاز سرعت، ممانعت بعمل آید.

تریپ ترتیبی

تریپ ترتیبی یا مرحله ای در واقع مد عملکرد برخی از حفاظتهاست که ضمن جداسازی و ایزوله نمودن با تاخیر واحد از شبکه، مانع از ایجاد شرایط افزایش بیش از حد سرعت واحد میشوند. اغلب سازندگان در طراحی سیستم های حفاظتی از تریپ ترتیبی سود برده اند، چرا که بکارگیری از آن در واحدهای بزرگ، خطرات ناشی از برداشتن بار از واحد را به حداقل میرساند. بدین لحاظ تریپ ترتیبی در جهت جلوگیری و حفاظت برخی از حفاظتهای مکانیکی توربین و الکتریکی ژنراتور مورد استفاده قرار می گیرد. در بخش بعد به اهمیت این پیامد مهم حفاظتی و نقش آن در کاهش تنش های حرارتی خواهیم پرداخت.

۱-۶-۱-۱- تریپ ترتیبی و نقش آن در واحد نیروگاههای گازی

همانطور که در قبل بطور مختصر ذکر شد، تریپ ترتیبی پیامد برخی از حفاظتهای سیستم است که در صورت عملکرد، واحد را با تاخیر از شبکه جدا نموده، بدون آنکه سبب وقوع افزایش بیش از حد سرعت واحد شود بنابراین در مواردیکه در اثر وقوع خطا، تریپ با تاخیر بریکرهای ژنراتور و تحریک تاثیر مهمی بر روی ژنراتور واحد نداشته و نیازی به تریپ سریع واحد نباشد، استفاده از این مد، سودمند خواهد بود.

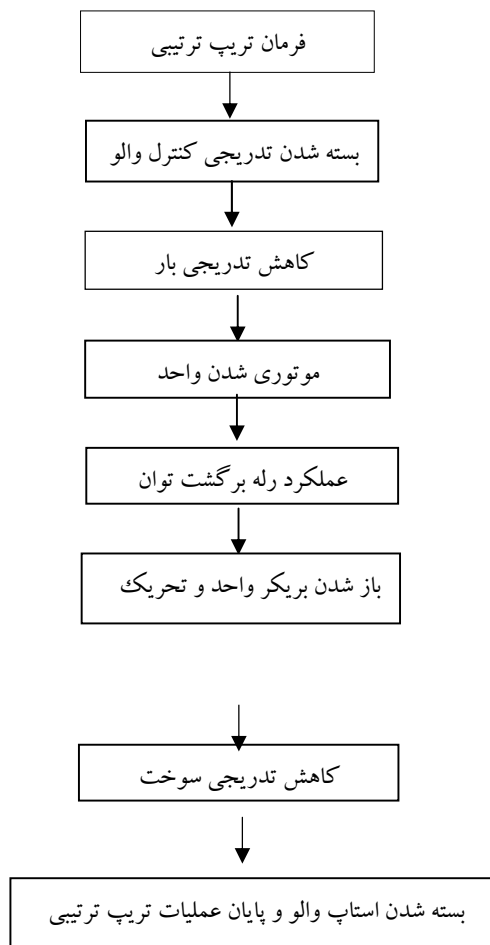
9- generator trip
10-Unit separation trip
11- Load rejection

پیاده سازی این مد با توقف عادی^۱ واحد همراه است. توقف عادی در واحدهای گازی GE-F9 در سیستم کنترل اسپیدترونیک^۲ مارک چهار، بگونه ای طراحی شده است که حداکثر در مدت زمان ۸ دقیقه پس از باز شدن بریکر اصلی واحد، کنترل والو سوخت واحد بطور کامل خواهد بست.

در صورت انتخاب مد توقف عادی واحد یا عملکرد حفاظتهایی که منجر به آن میشوند بار واحد با بسته شدن کنترل والو سوخت با شیب خاصی شروع به کاهش نموده و تا جایی پیش میرود که قدرت حقیقی از شبکه جذب می نماید و ژنراتور بصورت موتوری انجام وظیفه میکند. قدرت الکتریکی این موتور که محرک توربین و کمپرسور است، صرف اصطکاک و تلفات چرخشی توربین ژنراتور شده، که حدود ۳ الی ۵ درصد قدرت نامی ژنراتور است. در اینصورت چنانچه قدرت جذب شده از شبکه بیش از این حدود باشد، احتمال افزایش درجه حرارت سیم پیچ و افت بیش از حد ولتاژ در شینه ژنراتور و صدمات مکانیکی جدی خواهد بود. اما در این حالت اگر بریکر واحد باز شود مانع از افزایش بیش از حد سرعت توربین (Over Speed) خواهد شد. شکل یک، بطور خلاصه عملکرد مد ترتیبی را نشان میدهد. اکثر طراحان و سازندگان معتقدند که خطر افزایش بیش از حد سرعت توربین به مراتب از خطر موتوری شدن ژنراتور بیشتر است. از اینرو میتوان با استفاده از رله برگشت بار^۳ و با اجازه دادن به موتوری شدن محدود واحد، مانع از ایجاد شرایط افزایش بیش از حد سرعت شد. این رله بهترین وسیله برای آشکارسازی این حالت بوده و فرمان قطع بریکرهای اصلی واحد و تحریک را صادر می نماید.

پس از باز شدن بریکر واحد، والوهای سوخت با دو شیب خاص به تدریج بسته شده و فلوی سوخت به داخل اتاق احتراق به آرامی کاهش می یابد. به عبارتی توقف و یا خواباندن عادی واحد بمراتب از تنش های حرارتی شدیدی که در تریپ آنی با بستن آنی والوهای سوخت عملی میشود، خواهد کاست. بنابراین یکی از مزایای تریپ ترتیبی در مقابل تریپ آنی کاهش تنش های حرارتی است. اهمیت این مسئله به حدی است که هر تریپ آنی، معادل ۸ ساعت کار عادی واحد در نظر گرفته میشود و منجر به آن خواهد شد که زمان انجام بازدیدها و تعمیرات اساسی و نیمه اساسی واحدها زودتر از موعد مقرر فرا برسد و یا به عبارتی در برنامه ریزی میان مدت واحدهای نیروگاهی تاثیر خواهد گذاشت. بهرحال مادامیکه استفاده از این پیامد، خسارت و صدمه ای را به واحد نزند، قطعاً تریپ آنی مقرون به صرفه نیست و باید از آن اجتناب نمود.

1- Normal shutdown
2- Speedtronic
3- Reverse power



شکل (۸۱-۱): عملیات تریپ ترتیبی واحدهای گازی GE-F9

از طرفی طراحی پره های توربین برای حداکثر بازدهی بگونه ای صورت گرفته که تحمل حداکثر ۱۲۰ درصد سرعت نامی را دارند. از اینرو تریپ ترتیبی با توصیفی که شد در حالتی اقدام به باز شدن بریکر واحد و برداشتن بار از روی واحد میکند که احتمال افزایش بیش از حد سرعت که خسارت جبران ناپذیری را بر واحد تحمیل میکند، به حداقل ممکن برسد.

افزایش بیش از حد پراکندگی^۴ درجه حرارت ترموکوپلهای آگروز و خرابی تعدادی از سنسورهای لرزش و یا غیر فعال شدن آنها و افزایش بیش از حد اختلاف فشار فیلترهای هوای ورودی و ... از مواردی هستند که در اکثر واحدها سبب عملکرد تریپ ترتیبی خواهند شد.

۴-Spread

۱-۷- نکات عملی سیستم حفاظت نیروگاهی

همه رله های حفاظتی بایستی از سطح رطوبت و گرد و غبار (IP43) برخوردار باشند. ترجیحاً رله ها از نوعی باشند که قابل نصب بر روی تابلو بوده (flush mounting) همچنین بطور کشویی از قابشان قابل جدا شدن می باشند (-draw out) رله های حفاظتی بر روی تابلو (پانل) حفاظتی واقع در مجموعه کنترل واحد (نیروگاه) نصب میشود. پانلهای رله مربوط به ژنراتور، ترانسفورماتور ژنراتور، ترانسفورماتور واحد و دیگر پانلهای رله مهم می بایستی بطور مستقل از یکدیگر جدا شوند (ترجیحاً پانلهای رله هر بخش از این تجهیزات جدا باید باشند و در وهله بعد بر روی یک پانل تقسیم بندی شده رله هر بخش از این تجهیزات قرار گیرد).

همه رله های حفاظتی اصلی می بایست از نوع استاتیک (الکترونیکی) و یا از نوع دیجیتال (میکروپروسسوری) بوده و دیگر وسایل حفاظتی بایستی مورد پذیرش مهندس مشاور باشد. ترانسهای جریان تغذیه کننده بخشهای حفاظت، اندازه گیری و اینسترومنت از یکدیگر بایستی جدا باشند. تجهیزات حفاظتی بایستی بگونه ای طراحی گردند که سرعت و بدون تداخل با مدار سالم، مدار مورد خطا را قطع نماید. هر سیستم رله حفاظتی بایستی بگونه ای طراحی گردد که اگر خطایی در سیستم خارج از ناحیه حفاظتی رخ دهد، باعث تریپ غلط کلید قدرت نگردد.

کنتاکتهای همه رله ها می بایست ظرفیت تحمل ماکزیمم جریانی که ممکن است در مدار تحت کنترلش رخ دهد، را دارا باشند. پیشنهاد دهنده می بایست وظایف تریپ دهنده همه وسایل حفاظتی بعلاوه آنچه که مورد نیاز برای تجهیزات غیر الکتریکی میباشد، را باهم هماهنگ نماید. بخصوص ماموریتهای (وظایف) تریپ دهنده به کلید قدرت طرف ولتاژ بالای ترانسفورماتور ژنراتور (بعنوان مثال ۲۳۰ کیلوولت)، کلید قدرت طرف ولتاژ پایین ترانسفورماتور واحد (بعنوان مثال ۶ کیلوولت) کلید قدرت تحریک و شیرهای قطع (Stop valve) توربین و نیز کلید قدرت ترانسفورماتور مصرف داخلی واحد (station) را با یکدیگر هماهنگ نماید.

رله ها توسط ضربه های مکانیکی یا ارتعاشات (لرزه) و یا توسط مغناطیسی خارجی که در محل وجود دارند و یا از شیوه نصب آنها نبایستی تاثیر بپذیرند.

بخش دوم

اتصال کوتاه و آسیبهای وارده به تجهیزات نیروگاهی

انواع اتصال کوتاه

تحلیل اتصال کوتاه از دید ماشین الکتریکی

تحلیل رفتار ژنراتور در قبال اتصال کوتاه و صدمات ناشی از آن

عوامل جریانی آسیب رسان به ترانسفورماتور

موارد عام حفاظت الکتروموتورها



۱-۲-۱- انواع اتصال کوتاه:

خطاهایی که در سیستم های قدرت اتفاق می افتد، عبارت است از:

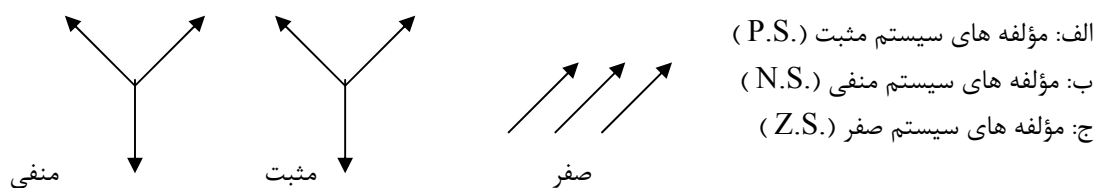
- ۱- اتصال یک فاز به زمین
- ۲- اتصال دو فاز با هم
- ۳- اتصال دو فاز با هم به زمین
- ۴- اتصال سه فاز به زمین با هم
- ۵- قطع یک فاز
- ۶- قطع دو فاز
- ۷- اتصال زمین یک فاز از دو محل مختلف
- ۸- اتصال زمین دو فاز به زمین از دو محل مختلف
- ۹- قطع یک فاز و اتصال زمین یک طرف

خطاهای شماره ۴ از نوع خطاهای متقارن و بقیه خطاها از نوع خطاهای نامتقارن هستند. در انواع خطاهایی که ذکر شده، اکثراً جریان اتصال کوتاه سه فاز متقارن نسبت به بقیه اتصال کوتاهها بیشترین مقدار را دارد و معمولاً مبنای محاسبات جهت تنظیم رله ها قرار می گیرد.

۱-۲-۲- تحلیل اتصال کوتاه از دید ماشین الکتریکی (به همراه شبکه متصل به آن)

۱-۲-۲-۱- مؤلفه های جریانی

در حالیکه سیستم سه فاز، بالانس است، جریان و ولتاژ هر فاز مقدارشان مساوی می باشد و از نظر زاویه به ترتیب 120° اختلاف فاز دارند و اصطلاحاً به آنها سیستم متقارن نیز می گویند. آنالیز این سیستم برای محاسبه جریان بسیار ساده می باشد. ولی وقتی بار نامتعادل شود، آنالیز آن مشکل می شود برای حل این مسئله، فازهای نامتقارن را میتوان به سه سیستم سه فاز متقارن تبدیل کرد:



شکل (۹-۱): مؤلفه های جریانی

رابطه بین مؤلفه های سه فاز با مؤلفه های توالی به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} I_b \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_0 \\ I_c \end{bmatrix} \quad a = 1 \quad 120^\circ$$

مؤلفه صفر: به سیستمی از بردارها گفته می شود که از لحاظ مقدار مساوی و با یکدیگر اختلاف فاز نداشته باشند.

مؤلفه مثبت: به سیستمی از بردارها گفته می شود که دارای مقدار مساوی و با اختلاف فاز 120° و راستگرد می باشد.

مؤلفه منفی: به سیستمی از بردارها گفته می شود که دارای مقدار مساوی و با اختلاف 120° و چپگرد می باشد.

۱-۲-۲- رفتار گذرای جریان اتصال کوتاه

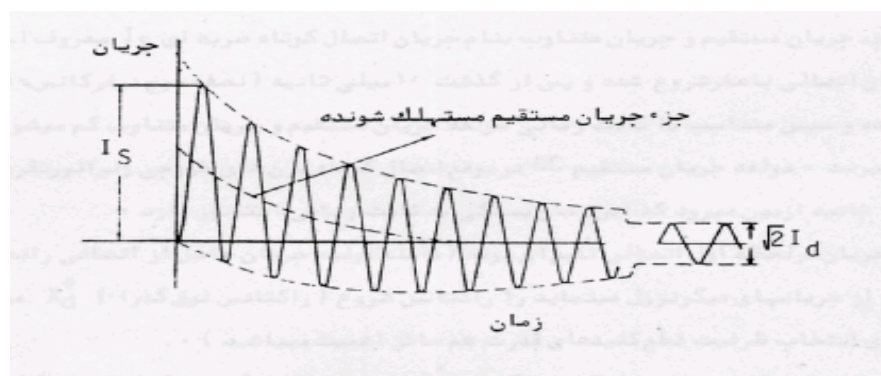
در هنگام وقوع اتصالی در شبکه و یا خروجی ژنراتور، امپدانس ژنراتور از بقیه امپدانسها دارای اهمیت بیشتری خواهد بود. زیرا در مدت اتصالی حوزه تحریک توسط اثر متقابل روتور کم و بیش ضعیف گردیده و در نتیجه ولتاژ ژنراتور سریعاً نزول می نماید.

اگر نیروی الکتروموتوری ژنراتور (نیروی الکتروموتوری حاصل از خطوط فاصله هوائی و متناسب با تحریک حالت نرمال ماشین) قبل از اتصال، ثابت فرض گردد میتوان افت ولتاژ ژنراتور را بر اثر ازدیاد امپدانس ژنراتور فرض نمود، بطوریکه ازدیاد امپدانس ژنراتور باعث افت جریان اتصال کوتاه گردیده و این افت جریان هر چه محل اتصالی نزدیکتر به ژنراتور باشد سریعتر انجام میگردد.

$$I_d = \frac{E}{X_d} \quad (\text{از مقاومت اهمی } R \text{ صرفنظر گردیده است})$$

بنابراین میتوان نتیجه گیری نمود که تحریک ژنراتور بر روی مقدار جریان اتصال کوتاه دائم (پایدار) I_d موثر است و چون ژنراتور در موقع بار کامل بیشتر از حالت بی باری یا کم باری تحریک میگردد لذا جریان اتصال کوتاه دائم در موقع بار صد در صد، بمراتب بیشتر از حالتی است که ژنراتور بدون بار یا کم بار می نماید.

در هنگام اتصالی، جریان در وهله اول به ماکسیمم حالت خود میرسد که بآن جریان اتصال کوتاه ضربه ای گفته میشود. جریان پس از رسیدن به نقطه ماکزیمم ابتدا سریع و سپس بطور آهسته کم شده و نهایتاً به مقدار دائمی و پایدار خود یعنی همان جریان اتصال کوتاه دائم I_d میرسد.



شکل (۱۰-۱): رفتار گذرای جریان اتصال کوتاه

با توجه به شکل ۱۰-۱ جریان اتصالی از دو جزء جریان متناوب و جریان مستقیم تشکیل شده است که جریان متناوب نسبت به محور زمان متقارن بوده و جریان مولفه مستقیم در بالای محور زمان قرار داشته و مثبت میباشد که پس از گذشت زمان کوتاهی صفر خواهد گردید. نتیجه این دو جریان، جریان حقیقی اتصال کوتاه را میدهد که نسبت به محور زمان قرینه نمی باشد. این عدم تقارن از مولفه مستقیم جریان اتصالی ناشی میگردد.

مدت برقراری مولفه مستقیم (DC) بستگی به مشخصات R و X مربوط به مسیر برقراری جریان اتصالی داشته و با نسبت $\frac{X}{R}$ مشخص میگردد. با افزایش نسبت $\frac{X}{R}$ مدت برقراری مولفه مستقیم طولانی تر میگردد. هنگامی که مدار جریان اهمی خالص باشد در آن صورت $X=0$ و در نتیجه حالت گذرای جریان خطا فاقد مولفه مستقیم خواهد بود و در اینصورت منحنی جریان خطا را مولفه متقارن تشکیل میدهد (البته هنگامی که سیم در زمان اتصال کوتاه شدن دارای حداکثر ولتاژ الکتریکی باشد در آن سیم نیز مولفه مستقیم جریان صفر است و لذا جریان متناوبی که ۹۰ درجه عقب افتادگی نسبت به ولتاژ دارد با صفر شروع شده و نسبت به محور زمان متقارن است).

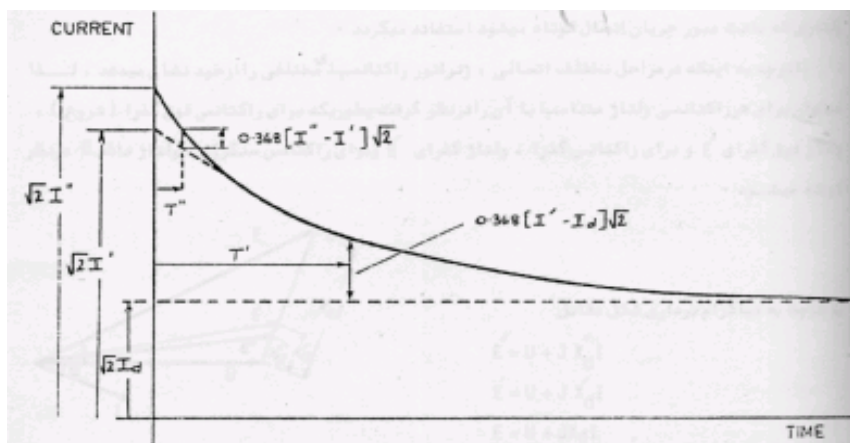
در صورتیکه لحظه بروز اتصالی، منطبق با لحظه حداکثر ولتاژ سینوسی نبوده و مدار نیز دارای مقاومت سلفی باشد $X \neq 0$ جریان اتصالی همراه با مولفه مستقیم (DC) خواهد بود که در این حالت مولفه سینوسی جریان اتصالی با مولفه DC جمع شده و مولفه نامتقارن جریان اتصالی را ظاهر میسازد، بیشترین نسبت $\frac{X}{R}$ و در نتیجه بیشترین مولفه مستقیم، بلافاصله پس از بروز اتصال در مراکز تولیدی و ژنراتورها بوقوع می پیوندد که در این حالت هنگام بروز اتصالی در مجاورت ژنراتور مقدار اولیه مولفه متقارن تا دو برابر نسبت به مقدار آن افزایش پیدا می نماید و پس از طی حالت گذرا و استهلاک کامل مولفه مستقیم، جریان خطا تنها شامل مولفه AC بوده و جریان اتصالی را پس از طی حالت گذرا بوجود می آورد. بهرحال نتیجه جریان مستقیم و جریان متناوب بنام جریان اتصال کوتاه ضربه ای I_s معروف است، این جریان در مبدا زمان اتصالی با صفر شروع شده و پس از گذشت ۱۰ میلی ثانیه (نصف موج در فرکانس ۵۰) به ماکسیمم خود رسیده است و سپس متناسب با ثابت زمانی مولفه جریان مستقیم و جریان متناوب کم میشود تا به مقدار ثابت خود میرسد. مولفه جریان مستقیم DC در موقع اتصال کوتاه در خروجی ژنراتور تقریباً پس از ۰/۳ تا ۰/۶ ثانیه از بین میرود که این زمان بستگی به ثابت زمانی استاتور دارد.

راکتانسی که شدت جریان در لحظه اول اتصالی تابع آن بوده (دامنه اولیه جریان حاصل از اتصالی را تعیین میکند) و سریعتر از جریانهای دیگر نزول مینماید را راکتانس شروع (راکتانس فوق گذرا) X^d می نامند. (این راکتانس برای انتخاب ظرفیت قطع کلیدهای قدرت هم حائز اهمیت می باشد).

راکتانس ظاهر شده بعد از راکتانس شروع راکتانس گذرا X_d نامیده میشود (این راکتانس در مطالعات پایداری گذرا مورد استفاده قرار می گیرد) و هنگامیکه اتصال کوتاه بمقدار دائمی (پایدار) خود رسید در آن حالت راکتانس موجود را راکتانس سنکرون X_d می نامند (این راکتانس حالت پایدار ماشین را اندازه می گیرد و هر چه کوچکتر باشد پایداری ماشین زیادتیر خواهد بود). لذا تغییرات جریان اتصال کوتاه از موقع شروع تا رسیدن به سر حد جریان اتصال کوتاه پایدار بستگی به راکتانسهای ژنراتور که ذکر گردید و امپدانس قسمتی از شبکه که بین ژنراتور و محل اتصال کوتاه قرار گرفته، دارد. بدیهی است هنگامیکه اتصال کوتاه در خروجی ژنراتور اتفاق افتاده باشد مقدار جریان اتصال کوتاه فقط به راکتانس های ژنراتور بستگی دارد.

۱-۲-۲-۳- ثابت های زمانی جریان اتصال کوتاه

برای تعیین جریان اتصال کوتاه نسبت به زمان، آشنایی با ثابت های زمانی مراحل مختلف مورد نیاز است که در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده اند. (این شکل بدون در نظر گرفتن مولفه مستقیم رسم گردیده است).



شکل (۱-۱۱): روند تغییرات جریان اتصال کوتاه بدون مولفه مستقیم

الف- ثابت زمانی فوق گذرا T_d'' : بستگی به قدرت میرایی مدار جریان روتور و سیم پیچی میرا کننده دارد و برای یک اتصال سه فاز در خروجی ژنراتوری با قدرت بیش از ۱۰ MVA برابر با ۰/۰۳ تا ۰/۰۶ (معمولاً ۵٪) میباشد. T_d'' نسبت به محل خیلی کم تغییر می نماید و حتی نوع اتصال کوتاه (دو یا سه یا تک فازه) در مقدار ثابت زمانی شروع جریان اتصال کوتاه بحدی کم موثر است که میتوان از نوع اتصالی صرف نظر کرد.

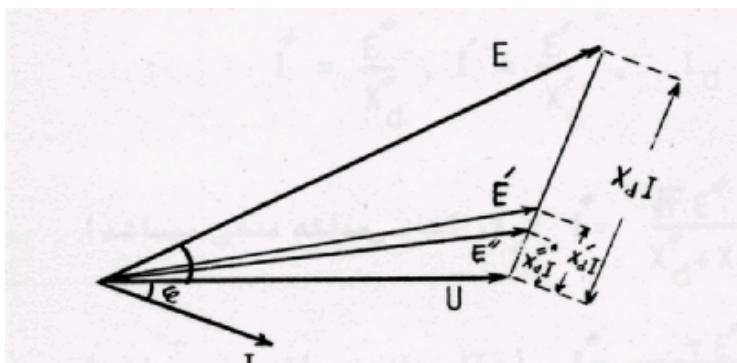
ب- ثابت زمانی گذرا T_d' : طول زمانی این مرحله گذرا به قدرت میرایی مدار تحریک و نوع اتصال (سه فاز، دو فاز یا تک فازه) دارد. این ثابت زمانی T_d' در اتصال سه فاز بستگی به راکتانس ژنراتور و شبکه دارد و در یک اتصالی در

ترمینال خروجی ژنراتور (هنگامی که راکتانس شبکه صفر در نظر گرفته شود)، این ثابت زمانی در توربوژنراتورها به ۱ ثانیه و در ژنراتورهای با قطب بر جسته تقریباً به ۲ ثانیه میرسد بدین ترتیب جریان اتصال کوتاه گذرا در ۳ تا ۶ ثانیه از بین می‌رود. برای ثابت زمانی T_d' در اتصالی دو فاز به جز امپدانس مثبت، امپدانس منفی نیز موثر می‌باشد و لذا از این جهت جریان اتصال کوتاه گذرا در اتصال دو فاز آهسته تر از اتصال سه فاز از بین می‌رود. همچنین ثابت زمانی T_d' در اتصال کوتاه تک فاز علاوه بر امپدانسهای مثبت و منفی، شامل امپدانس صفر نیز می‌باشد که در اینصورت میتوان اظهار داشت که جریان اتصال کوتاه گذرا در اتصال تک فاز آهسته تر از اتصال دو فاز از بین می‌رود.

۱-۲-۲-۴- محاسبات جریانهای مختلف اتصال کوتاه

در یک ژنراتور تحت بار، نیروی الکتروموتوری E بعلاوه موجود بودن افت ولتاژ داخلی همیشه بزرگتر از ولتاژ ترمینالهای خروجی ژنراتور U میباشد. این نیروی الکتروموتوری E ولتاژیست که در اثر حوزه اصلی ژنراتور بوجود می‌آید در موقع اتصال کوتاه، E نمیتواند بعلاوه اینرسی حوزه مغناطیسی بلافاصله تغییر نماید بنابراین از نیروی الکتروموتوری در موقع محاسبه اتصال کوتاه بعنوان ولتاژی که باعث عبور جریان اتصال کوتاه میشود استفاده میگردد.

با توجه به اینکه در مراحل مختلف اتصالی، ژنراتور راکتانسهای مختلفی را از خود نشان میدهد، لذا میتوان برای هر راکتانسی ولتاژ متناسب با آن در نظر گرفت بطوریکه برای راکتانس فوق گذرا (شروع)، ولتاژ فوق گذرای E'' و برای راکتانس گذرا، ولتاژ گذرای E' و برای راکتانس سنکرون، ولتاژ دائم E در نظر گرفته میشود.



شکل (۱۲-۱): دیاگرام برداری

۱-۲-۲-۵- تغییرات زمانی جریانهای اتصال کوتاه

تغییرات جریان اتصال کوتاه نسبت به زمان از رابطه زیر مشخص میگردد.

$$i(t) = \sqrt{2} \left[(I'' - I') e^{-\frac{t}{T_d''}} \sin(\omega t - \alpha) + (I' - I_d) e^{-\frac{t}{T_d'}} \sin(\omega t - \alpha) + I_d \sin(\omega t - \alpha) + I'' e^{-\frac{t}{T_d}} \sin \alpha \right]$$

عضو اول رابطه فوق جریان شروع (فوق گذرا) اتصال کوتاه، عضو دوم جریان گذرای اتصال کوتاه، عضو سوم جریان اتصال کوتاه دائم و عضو چهارم سهم جریان مستقیم در اتصال کوتاه میباشد. قابل ذکر است که مولفه مستقیم (مولفه DC جریان استاتور) رابطه مذکور، یک میدان DC که دارای رپلهای ۵۰ سیکل میباشد ایجاد مینماید که بر روی روتور اثر القائی دارد و در نهایت بر روی جریان تحریک قرار گرفته و با چرخش فلوی روتور اثر متقابلی بر روی استاتور خواهد گذاشت که در رابطه فوق از آن صرف نظر گردیده است.

در معادله بالا $i(t)$ جریان اتصال کوتاه لحظه ای در زمان t و α اختلاف فاز بوجود آمده در موقع اتصال کوتاه میباشد. در اکثر حالات که اتصالی در خروجی ژنراتور (ترمینال خروجی) بوقوع می پیوندد $\alpha = 90^\circ$ در نظر گرفته میشود و در نتیجه معادله فوق تبدیل میگردد به معادله زیر:

$$i(t) = \sqrt{2} \left[(I'' - I') e^{\frac{-t}{T_d}} \cos wt + (I' - I_d) e^{\frac{-t}{T_d}} \cos wt + I_d \cos wt - I'' e^{\frac{-t}{T_g}} \right]$$

کلیه جریانها و ثابت های زمانی موجود در رابطه فوق را میتوان برای اتصالیهای مختلف در خروجی ژنراتور با در نظر گرفتن ولتاژهای مربوطه محاسبه نمود.

در مورد T_d'' و T_d' در مبحث قبل توضیحاتی داده شد، T_g ثابت زمانی عضو جریان دائم میباشد و بستگی به نسبت مقاومت سلفی و اهم سیم پیچی استاتور و مدار خارجی اتصال کوتاه دارد.

۱-۲-۲-۶- مقادیر موثر جریان متناوب اتصال کوتاه

برای محاسبه جریانهای اتصال کوتاه جهت تنظیم رله های جریان زیاد ژنراتور، مقدار موثر جریان متناوبی را که هنگام اتصالی بوجود می آید در نظر میگیرند این مقادیر موثر جریانهای اتصالی کوتاه I_d ، I' و I'' را میتوان در حالت های مختلف و با استفاده از امپدانسهای مربوطه، بصورت زیر محاسبه نمود:

$$I'' = \frac{E''}{X_d''}, I' = \frac{E'}{X_d'}, I_d = \frac{E}{X_d} \quad \text{برای اتصال سه فاز:}$$

$$I'' = \frac{\sqrt{3}E''}{X_d'' + X_2}, I' = \frac{\sqrt{3}E'}{X_d' + X_2}, I_d = \frac{\sqrt{3}E}{X_d + X_2} \quad \text{برای اتصال دو فاز:}$$

(میباشد)

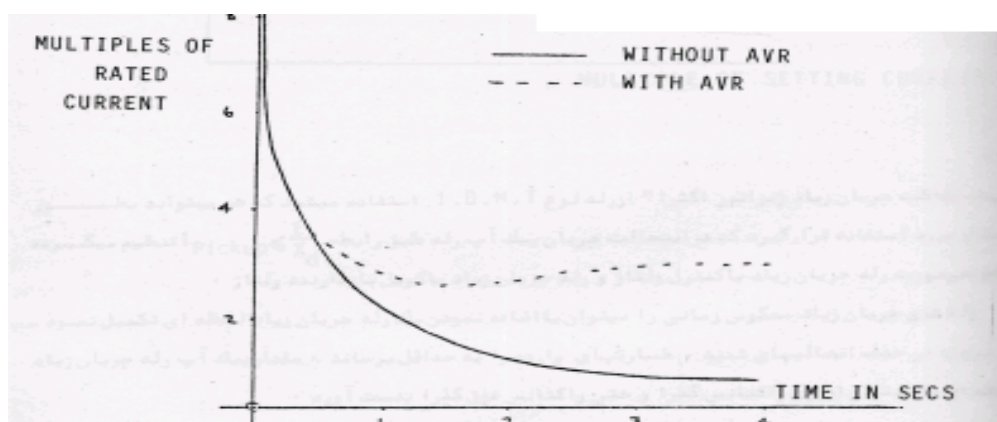
$$I'' = \frac{3E''}{X_d'' + X_2 + Z_0}, I' = \frac{3E'}{X_d' + X_2 + Z_0}, I_d = \frac{3E}{X_d + X_2 + Z_0} \quad \text{برای اتصال تک فاز:}$$

(میباشد)

۱-۲-۲-۷- نقش سیستم رگولاتور ولتاژ ژنراتور در هنگام اتصال کوتاه

در زمان وقوع اتصال کوتاه در ترمینالهای ژنراتور، ولتاژ خروجی ژنراتور افت نموده و رگولاتور ولتاژ توسط افزایش ولتاژ تحریک سعی به رساندن ولتاژ خروجی ژنراتور به مقدار نرمال خود (ولتاژ قبل از اتصالی) خواهد نمود، که این افزایش تحریک، منجر به افزایشی در جریان اتصال کوتاه ژنراتور خواهد شد. این تغییرات در جریان اتصال کوتاه تابعی خواهند بود از پاسخ زمانی رگولاتور ولتاژ، ثابت زمانی مدار تحریک ژنراتور و ماکزیمم توانایی ولتاژ تغذیه تحریک (سقف ولتاژ تحریک).

شکل ۱۳-۱ بطور تقریبی نقش یک نوع سیستم رگولاتور ولتاژ (A.V.R) را بر روی جریان اتصالی کوتاه سه فاز در خروجی یک ژنراتور بدون بار مشخص نموده است.



شکل (۱۳-۱): تاثیر AVR بر جریان اتصال کوتاه

۱-۲-۳- تحلیل رفتار ژنراتور در قبال اتصال کوتاه و صدمات ناشی از آن

عمر یک مولد یعنی عمر سیستم عایقی آن، و سلامت سیستم عایق بندی یک مولد سنکرون از کلیدی ترین مسائل برای یک بهره برداری مطمئن از مولد است.

تخریب عایق سیم پیچ مولدهای سنکرون به دو دسته زیر میتوان تقسیم بندی نمود:

الف- عوامل مکانیکی تخریب عایق

ب- عوامل حرارتی تخریب عایق

۱-۲-۳-۱- عوامل مکانیکی تخریب عایقی ژنراتورها (با منشاء الکتریکی):

عوامل مکانیکی تخریب عایقی با منشاء الکتریکی ناشی از فرآیند الکتریکی ژنراتور، از دو دیدگاه میتواند مورد بررسی قرار گیرد یکی رفتار مکانیکی سیم پیچی ژنراتور در حالتی گذرا و دیگری رفتار مکانیکی سیم پیچ در حالت کار پایدار و مداوم است.

در حالت‌های گذرا نیروهای وارده بر سیم پیچ ژنراتور، بر اثر عبور جریان‌های شدید اتصال کوتاه، باعث شکستگی و تغییر شکل کلاف‌های ماشین الکتریکی میشوند و در حالت کار پایدار ماشین نیز عبور جریان کار ماشین از سیم پیچها باعث اعمال نیروهایی به کلافها میشود گر چه مقدار آن از نیروهای وارده در حالت گذرا کمتر است ولی چون تداوم دارد در زمانهای طولانی باعث افت کیفیت عایقی و خستگی عایق و نهایتاً تخریب آن میگردد.

- بررسی خصوصیات مکانیکی عایق بندی کلافها:

عایقهایی که جهت عایق بندی کلاف ژنراتورها مورد استفاده قرار می گیرد باید دارای مقاومت کششی و قابلیت انعطاف بسیار خوبی باشد تا بتواند نیروهای ناشی از حالت‌های گذرا را تحمل کند همچنین نوع عایق باید از نوعی باشد که در مقابل تنشهای ممتد در طول بهره برداری تحمل لازم را داشته باشد و دچار خستگی زودرس نگردد لذا قبل از آنکه عایقها را برای عایق بندی کلافها مورد استفاده قرار دهند تستهای عمر سنجی مکانیکی بر روی نمونه هایی از آن انجام می گیرد و کیفیت عایق در مقابل این تنش ها برآورده میشود.

عایقهایی که معمولاً در ماشین گردان مورد استفاده دارند عبارتند از:

a) An epoxy impregnated-mica flake backed by a paper tape

این عایق عبارت است از ذرات میکائی که بر روی یک صفحه کاغذ و به کمک رزین ها اپکسی در کنار یکدیگر قرار گرفته و هنگام عایق بندی نیز در لابلای نوارهای عایقی رزین اپکسی تزریق میشود.

b) An epoxy impregnated-mica flake backed by a glass fiber tape

در این عایق زمینه ای که ذرات میکا روی آن به کمک رزین در کنار یکدیگر قرار می گیرند نوارهای پشم شیشه میباشد.

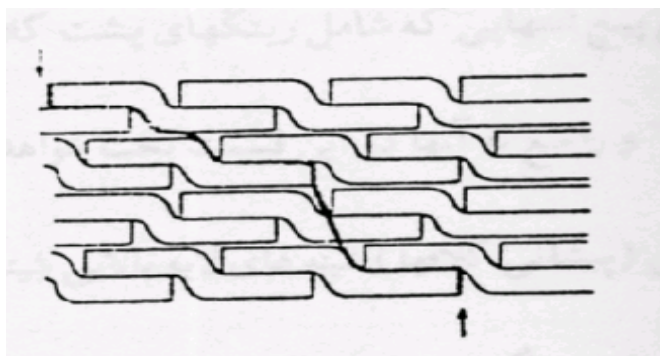
c) An epoxy resin rich-mica paper backed by a polyester film

در این نوع عایق قطعات میکا بر روی پرده نازکی از پلی استر به کمک رزین چسبانده میشود این نوع عایق سرشار از رزین بوده و پس از عایق بندی احتیاج به تلقیح رزین ندارد و تحت پرسهای گرم ورقهای میکا توسط رزین موجود به یکدیگر چسبیده و رزینهای اضافی همراه با حبابهای هوا نیز خارج خواهد شد.

کج شدگی و کشش سطحی عایق با افزایش گشتاور خمشی افزایش می یابد و اگر کشش سطحی به حدود 2500×10^{-6} mm/mm برسد لایه های عایقی دچار شکستگی مکانیکی شده و نهایتاً ولتاژ شکست الکتریکی عایق (BDV) به مقدار بسیار زیادی کاهش می یابد.

با افزایش گشتاور خمشی، کج شدگی (δ) در کلافهایی با عایقی از نوع a,b (فوق الذکر) بصورت غیر خطی درخواهد آمد و در کلافهایی با عایقی از نوع c ، افزایش کج شدگی (δ) بصورت خطی افزایش خواهد یافت. افزایش کج شدگی (deflection) کلافها موجب شکستگی و ترکهای موئین(در حد میکرو) در لایه های عایقی است.

در ضمن تغییر در خصوصیات الکتریکی ماده عایقی بر اثر فشارهای مکانیکی است. یک نمونه مسیر انتشار ترک بوسیله برش مقطعی از عایق در شکل ۱۴-۱ نشان داده شده است. شکستگی توسط به هم پیوستن مسیر بین لایه های میکا با شروع از لبه های نوار بوقوع می پیوندد بنابراین میتوان گفت که با کاهش در پهنای نوار میکا مسیر انتشار ترک کاهش می یابد و عایق زودتر دچار شکست الکتریکی میشود.



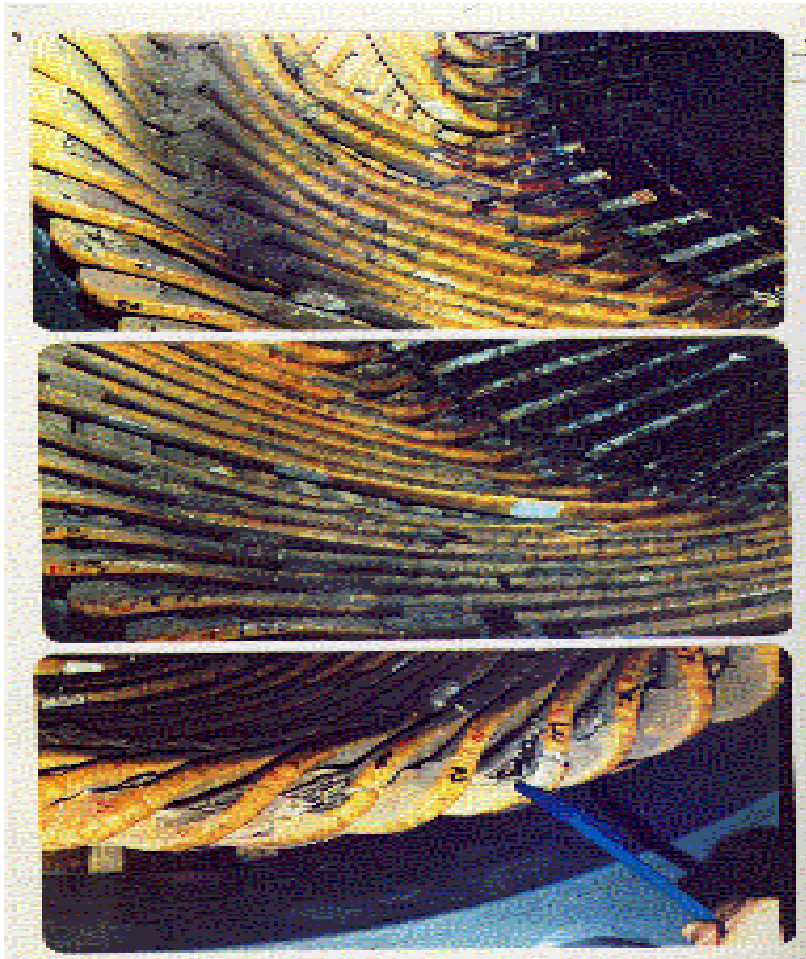
شکل (۱۴-۱): مسیر انتشار ترک بوسیله برش مقطعی از عایق

نتیجه ای که از مطالعات انجام شده میتوان گرفت آن است که خصوصیات قدرت خمش و خستگی کششی با افزایش پهنای نوار بهبود می یابند این موضع منجر به این عقیده میشود که لبه های نوار نقاط ضعیفی برای خصوصیات مکانیکی هستند.

۱-۲-۳-۱-۱- تنشهای مکانیکی ناشی از حالت‌های گذرای الکتریکی:

حالت‌های گذرا در ماشین الکتریکی از قبیل اتصال کوتاه در خروجیهای آن و یا سنکرون نبودن ژنراتور هنگام وصل به شبکه از عوامل اصلی است که باعث آسیب رسیدن به عایق کلافهای سیم بندی ژنراتور و کوتاهی عمر آنها میشود. شدت جریان حاصله از سنکروناسیون غیر صحیح بمراتب بالاتر از شدت جریان در حالت اتصال کوتاه ژنراتور میباشد و عبور چنین جریان‌هایی از سیم پیچ موجب پیدایش نیروهایی میشود که شکست مکانیکی عایق و بدنبال آن شکست الکتریکی را در بر خواهد داشت.

کلافهای ژنراتور را میتوان به دو محدوده متفاوت از یکدیگر تقسیم نمود منطقه داخل شیار «slot region» و منطقه بیرون از شیار که اصطلاحاً به ناحیه انتهایی کلاف «End Winding» و یا «overhangregion» معروف میباشد، هر یک از این نواحی در مقابل خط‌هایی که در سیستم بوجود می آید رفتار خاصی داشته و نیروهای متفاوتی نیز به آنها اعمال میگردد ولی آنچه مسلم است آن است که سیم پیچ ناحیه انتهایی در معرض خطرات بیشتری قرار دارد، زیرا در این قسمت کلافها نیروهای بزرگتری را تحمل میکنند.



شکل (۱۵-۱): تغییر فرم و شکستگی عایق کلافها در ناحیه انتهایی سیم پیچی ژنراتور- فولاد اهواز

چون نیروهای الکترومغناطیسی تابعی از مربع جریان هستند لذا سیم پیچ ژنراتورهای بزرگ امروزی هم در حالت اتصال کوتاه و هم در حال کار مداوم نیروهای بزرگی را تحمل میکنند و قابلیت اطمینان سیم پیچ ژنراتور را میتوان در سه عامل زیر خلاصه کرد:

- ۱- قابلیت اطمینان عایق که بوسیله خواص مکانیکی الکتریکی و حرارتی آن تعیین میشود.
- ۲- سیستم نگهداری شینه ها در شیارهای استاتور
- ۳- سیستم نگهداری سیم پیچ انتهایی که شامل رینگهای پشت کلافها "backing ring" و گره بین بازوهای شینه ها یا "spacer" خواهد شد.

در طراحی رینگهای نگهدارنده سیم پیچ انتهایی یا پیشانی کلافهای ژنراتور می باید به عامل زیر توجه شود:

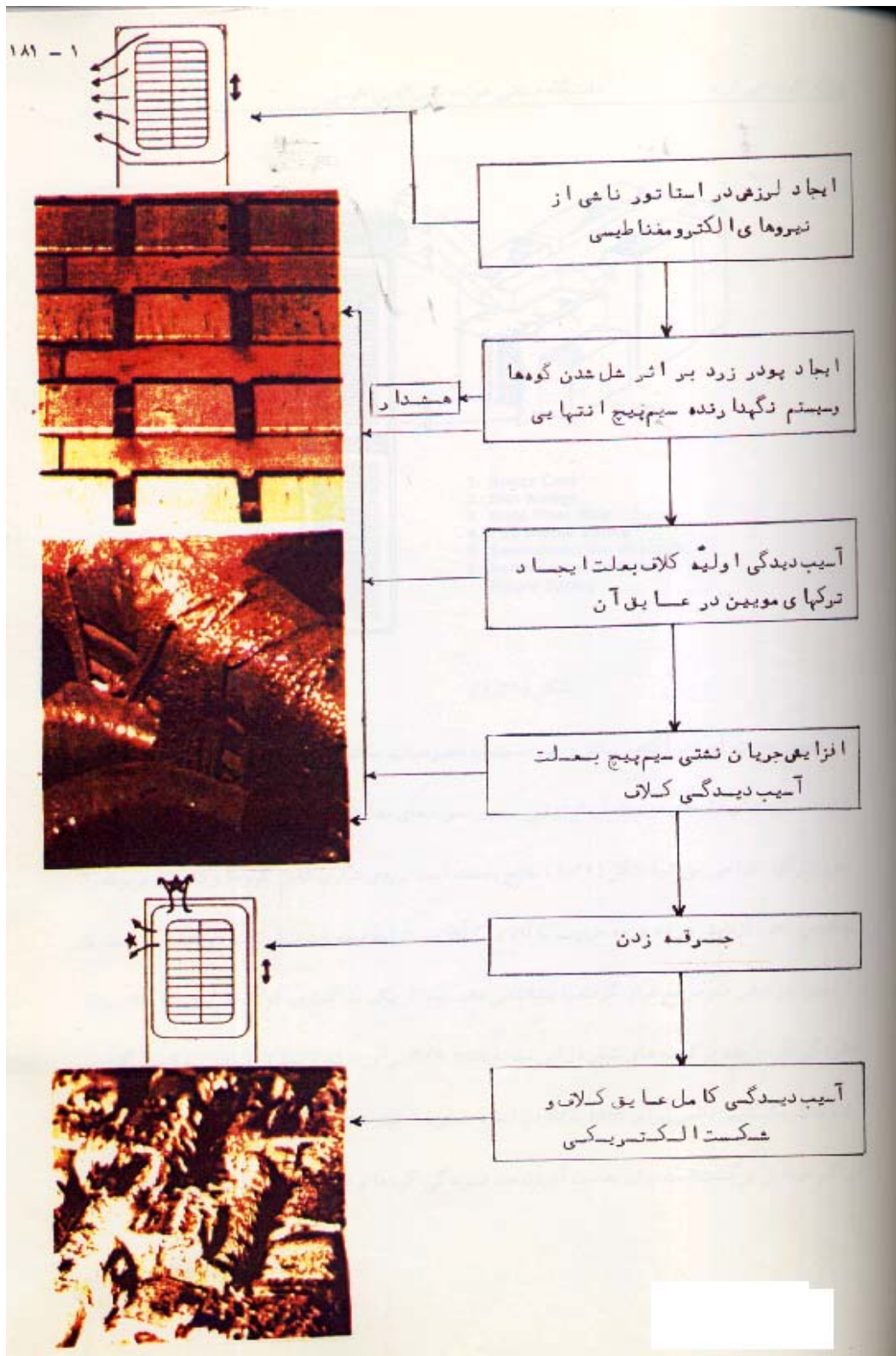
- اثر لرزشهای الکترومغناطیسی ناشی از مولفه dc ناشی از شرایط اتصال کوتاه

بعلت بالا بودن سطح جریان اتصال کوتاه و متناسب بودن نیروهای وارده با مربع جریان، انتخاب رینگهای نگهدارنده در ژنراتورهای با قدرت بالا از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

روند شکست الکتریکی حاصله در عایقهای ماشینهای الکتریکی و پیگرد آن بروز اتصال کوتاه در آن در روند نما و شکل ۱-۱۶ آورده شده است:

نیروهای مکانیکی ناشی از اتصال کوتاه و عدم سنکروناسیون ژنراتور هنگام وصل به شبکه صدمات شدیدی را بر کلافها مخصوصا در قسمت انتهایی آنها وارد میکند، این مسئله از دو جنبه قابل بررسی است اول بررسی خصوصیات مکانیکی عایقهایی که قابلیت تحمل نیروها را تا حد معینی داشته باشند و دوم محدود کردن و مهار این نیروها بوسیله سیستمهای نگهدارنده پیشانی کلافها در حدی که عایق تحمل برخورد با آن را داشته باشد.





شکل (۱-۱۶): مراحل ایجاد خسارت در یک ژنراتور بر اثر نیروهای الکترومغناطیسی (عدم استحکام گوه های شیار)

۱-۲-۳-۲- عوامل حرارتی تخریب عایقی در ژنراتورها:

افزایش حرارت موجب شماری فرآیندهای شیمیایی میشود که بر عملکرد مطلوب مکانیکی و الکتریکی عایق اثر میگذارد. مواد عایقی جامد تحت حرارت زیاد بتدریج نرم شده و استقامت مکانیکی خود را از دست میدهند حرارت‌های زیاد در عایق باعث ایجاد فرآیند اکسیداسیون در موارد ارگانیک عایق تا احتراق کامل آن میگردد که با قطبی شدن شدید عایق همراه است و در نتیجه الاستیسیته کاهش و سختی عایق افزایش می یابد و این مسئله منجر به تشکیل ترکها و شکافهایی در عایق شده تا حدی که باعث جدا شدن پوشش عایقی از محیط عایق گردیده و موجب ورقه ورقه شدن میکا در عایقهای ژنراتور میگردد این مسئله بویژه طی تغییرات سیکلیک گرمائی که موجب انبساط و انقباض عایق میگردد مشهود است.

در بعضی موارد، قطبی شدن عایق در اثر حرارت ممکن است منجر به تخریب مولکولهای پولومریک عایق گردد که تاثیرات نامطلوبی روی خواص مکانیکی عایق میشود. این فرآیند ممکن است برگشت پذیر و یا برگشت ناپذیر باشد بعضی اثرات چنین فرآیندهایی در کوتاه مدت و برخی در بلند مدت ظهور پیدا میکند.

حرارت بیش از حرارت مجاز کار عایق ماشین الکتریکی، باعث زوال خواص مکانیکی و الکتریکی عایق میشود با اعمال تنش های حرارتی بیش از حد، در محل عایق ژنراتورها با از دست رفتن خواص مکانیکی، پدیده های زیر در سیستم عایق بندی کلافهای ژنراتور رخ خواهد داد:

۱- پدیده armor opening :

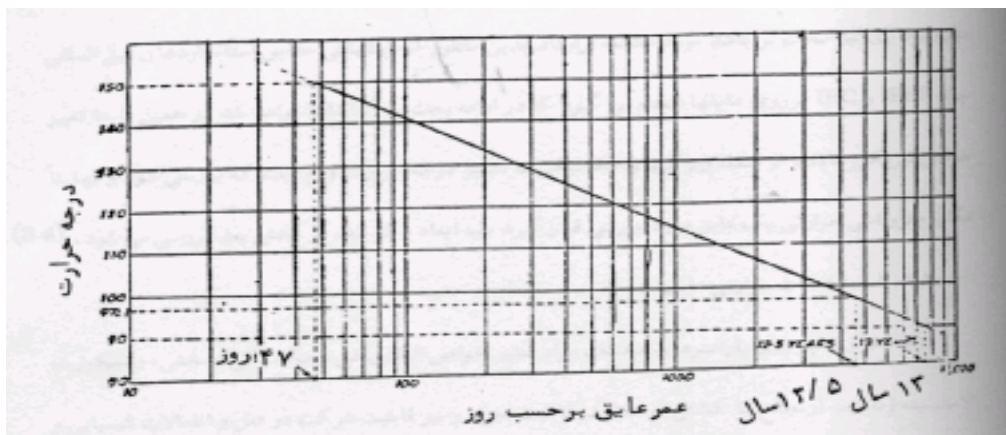
این پدیده عبارت است از جدا شدن لایه عایق اصلی کلاف، از عایق رشته ها در انتهای هسته، این پدیده خود به متورق شدن میکا و ترک خوردگی عایق در انتهای هسته، هنگام بیرون آمدن شینه ژنراتور از شیار خواهد گردید.

۲- پدیده tape migration :

این پدیده عبارت است از جابجایی نوارهای عایق که بر اثر انبساط و انقباض های ایجاد شده در عایق نوارهای عایقی جابجا میشود و ایجاد ترکهای موئی در عایق میکند.

۳- پدیده Girth Cracking :

این پدیده عبارت است از ترک خوردگی های محیطی که نهایتاً باعث شکست عایقی میشود. افزایش بیش از حد معین درجه حرارت بر مواد عایقی که سیم پیچ ها را از هسته استاتور جدا میکند اثر منفی میگذارد شکل ۱۷-۱ نشان دهنده رابطه بین درجه حرارت و عمر ماده عایقی رده A را نشان میدهد.



شکل (۱۷-۱): منحنی درجه حرارت- عمر عایق رده A

مثال اخیر مشخص میکند که حتی اگر ماشین الکتریکی درجه حرارتی کمی بالاتر از درجه حرارت مجاز کار کند جداباً عمر مواد عایق اثر میگذارد و با توجه به اینکه کار ماشین بستگی به شرایط عایق دارد. واضح است که مواد عایق باید در حدود درجه حرارت مجاز مورد بهره برداری قرار گیرند.

۱-۲-۳-۲-۱- افزایش دمای سریع هادیها:

در شرایط اتصال کوتاه در مدت کوتاهی هادیها خیلی سریع گرم می شوند اگر خطا پس از زمان کوتاه مشخص شود میتوان فرض کرد که حرارت به محیط اطراف انتقال نمی یابد، یعنی حرارتی که تولید میشود در هادیها ذخیره میشود. با این فرض ، افزایش درجه حرارت هادیها ناشی از چنین حالتی را محاسبه میشود چون هادیها در تماس مستقیم با عایق می باشند و اینگونه افزایشها در عمر آنها تاثیر خواهد گذاشت.

عوامل موثر در محاسبه بترتیب عبارتند از طول هادی، سطح مقطع هادی، مقاومت مخصوص آن ، شدت جریان الکتریکی عبوری، زمان عبور جریان، حرارت مخصوص هادی، چگالی (وزن مخصوص) هادی، افزایش درجه حرارت ناشی از اتصال کوتاه . بعنوان مثال ، برای یک هادی مسی به مقطع 30 mm^2 ، عبور جریان 20 KA در عرض 50 میلی ثانیه (و دارای مشخصات مقاومت مخصوص $0.021 \Omega / \text{m/mm}^2$ ، حرارت مخصوص $418 \text{ J/Kg/}^\circ\text{C}$ ، چگالی (وزن مخصوص) kg/m^3 8900) افزایش درجه حرارتی معادل 125 درجه سانتیگراد را حاصل خواهد شد که البته این مقدار افزایش دما، آسیبی برای عایق خواهد داشت.

۱-۲-۴- عوامل جریانی که باعث آسیب رساندن به ترانسفورماتور می باشند

۱-۲-۴-۱- خطای اتصال حلقه

در ترانسفورماتور همیشه حلقه های مجاور مربوط به یک فاز می باشند از این جهت نقصان ایزولاسیون سبب اتصال حلقه در ترانسفورماتور میشود. اتصال حلقه در ترانسفورماتور همیشه سبب اضافه بار روی یک فاز میگردد. در نتیجه در اثر اتصال شدن یک یا چند حلقه، جریان اتصال کوتاهی از تمام سیم پیچی های اصلی عبور میکند.

۱-۲-۴-۲- خطای اتصال زمین

اتصال زمین در ترانسفورماتورها اغلب در اثر فشار زیاد بین حلقه های سیم پیچی ترانسفورماتور و بدنه آن میباشد. اتصال زمین یا اتصال بدنه در ترانسفورماتورهای روغنی ابتدا در اثر تخلیه الکتریکی و سرانجام در اثر جرقه و قوس الکتریکی بوجود می آید. این جرقه و تخلیه الکتریکی ابتدا باعث تجزیه روغن میشود، و سپس تولید گاز در داخل روغن میکند. شدت جریان اتصال زمین اولاً بستگی به ولتاژ سیم پیچی که اتصال زمین شده است و ثانیاً به محل اتصال شدن دارد.

۱-۲-۴-۳- خطای اتصال کوتاه فازها

در ترانسفورماتور به علت اینکه حلقه های مجاور مربوط به یک فاز می باشند لذا احتمال اتصال حلقه بیشتر از اتصال فاز به فاز میباشد بنابراین، این اتصالی در یک ترانسفورماتور بندرت اتفاق می افتد.

۱-۲-۴-۴- خطای هسته

جهت کاهش جریان های فوکو از هسته هایی با ورقهای فولادی که نسبت به یکدیگر عایق می باشند استفاده میکنند. پیچهای کلمپ ها که جهت محکم کردن هسته بکار میروند نسبت به هسته عایق هستند اگر قسمتی از عایق ورقهای هسته خاصیت خود را از دست بدهد در نتیجه در آن نقطه ایجاد حرارت میشود این حرارت میتواند موجب خسارت به سیم پیچها شود. همچنین این حرارت میتواند تغییرات قابل توجه ای در جریان ورودی ترانسفورماتور گردد نیز نمیتوان این پدیده را توسط یک مدار مشخص نمود بنابراین قبل از وارد شدن خطای بیشتر به ترانسفورماتور آن را باید مشخص نمود. در این ترانسفورماتورهای روغنی اگر این حرارت بیش از حد افزایش یابد به عایق سیم پیچی خسارت وارد میکند که در این حالت شکست در داخل روغن رخ میدهد که ایجاد گاز می نماید که این گازهای ایجاد شده را میتوان توسط رله بوخهلتس تشخیص داد.

۱-۲-۴-۵- اتصال کوتاه در شبکه

از خطاهای شبکه که میتواند برای ترانسفورماتور خطرناک باشد خطای اتصال کوتاه میباشد، و این در صورتی است که مسیر جریان اتصال کوتاه از ترانسفورماتور عبور کند. اگر این اتصال کوتاه در شین تغذیه کننده ترانسفورماتور رخ دهد برای ترانسفورماتور بسیار خطرناک است. زیرا جریان اتصال کوتاه شین باعث گرم شدن سیم پیچهای میگردد که این

گرما، متناسب با مجذور جریان اتصال کوتاه میباشد. همچنین این جریان میتواند نیروهای مکانیکی به سیم پیچ ترانس وارد ساخته و باعث تغییر شکل آن بشود.

۱-۲-۴-۵-۱- حد تحمل ترانسفورماتور از نظر آسیب های حرارتی

سه اثر اساسی حرارتی برای در نظر گرفتن تنظیم حدود حرارتی وجود دارد که عبارتند از:

- ۱- اثر درجه حرارت ماکزیمم در زمان کوتاه مدت بر روی عایق
- ۲- اثر پیری (عمر) طولانی مدت بر روی عایق
- ۳- اثر نرم کنندگی مواد هادی
- اثر درجه حرارت ماکزیمم در زمان کوتاه مدت میتواند تغییر در حالت وضعیت فیزیکی عایق را شامل گردد.
- آثار عمر عایق از نظر اتصال کوتاه قابل ملاحظه است. اگر خطای سیستم در کمتر از یک ثانیه حذف شود درجه حرارت نهایی هادی به سطحی نخواهد رسید که پیری عایق از حادثه خطا قابل ملاحظه باشد.
- سومین نکته حرارتی نرم کردن هادی است بر اساس استاندارد IEC حد درجه حرارت ماکزیمم ۲۰۰ درجه سانتیگراد برای آلومینیوم و برای مس ۲۵۰ درجه سانتیگراد در ترانسفورماتورهای حاوی روغن میباشد.

۱-۲-۴-۵-۲- حد تحمل ترانسفورماتور از دید آسیبهای مکانیکی

علاوه بر آثار حرارتی، جریان های خطا نیروی الکترومغناطیسی در درون سیم پیچی ترانسفورماتور تولید می نماید که این عمل باعث له شدن، خم شدن، کشیده شدن هادی و عایق آنها میگردد که این آثار میتواند سیم پیچ ها را از شکل انداخته، عایق را صدمه زده و منجر به خرابی عایق گردد. این آثار عمدتاً در اثر آسیبهای خطاهای خارجی میباشد این آسیبها در ترانسفورماتورهای قدرت میتوانند به سه دسته تقسیم شوند:

الف) آسیب های ناشی از نیروهای شعاعی

- امتداد و کش آمدن هادی در سیم پیچی خارجی ناشی از انبساط تسمه نگهدارنده که با وجود نیروهای شعاعی به سمت خارج حاصل میگردد. که این موضوع میتواند باعث شکستن عایق هادی گردد.
- نیروی شعاعی سمت داخل باعث خرد شدن کانال عمودی روغن و خرد شدن چوب و یا عایق حد فاصل بین هسته و سیم پیچها میگردد و همچنین این نیروها باعث ترک خوردن و شکستن عایق ها میگردد.

ب) آسیب های ناشی از نیروهای محوری

- نیروهای محوری اتصال کوتاه باعث خم شدن هادی شده، و در نتیجه عایق هادی شکسته و نیروهای بزرگی از جابجایی کلی هادی حاصل میگردد.

- پولک های نگهدارنده بوبین ها (اجسام عایق فاصله اندازنده بین بوبین ها در امتداد محوری) از بین رفته، و له میشود که در نتیجه عایق هادی شکسته میگردد.
- خاصیت مکانیکی عایق هادی بر اثر نیروهای فشارنده و جابجایی نسبی بین هادیها و پولک ها از دست میرود.
- ج) آسیب های ناشی از هر دو نیروی محوری و شعاعی
- جابجایی ماریپیچی هادیها و چوبها(عایق ها) عمودی نگهدارنده ناشی از نیروهای وارده.
- تغییر شکل یافتن سیم پیچی در نقاطی که از پیوستگی لازم برخوردار نیستند مانند محل تقاطع سیم ها را به عنوان عدم کفایت لازم نگهدارنده ها میتوان نام برد. کمبود نگهدارنده در یک جهت میتواند باعث جابجایی در همان جهت و جهات دیگر گردد.

۱-۲-۴-۵-۳- ملاحظات مربوط به تحمل شرایط اتصال کوتاه

ترانسفورماتورهای طوری طراحی و ساخته میشوند که بتوانند اثر حرارتی دینامیکی ناشی از اتصال کوتاه های خارجی را بدون صدمه دیدن تحمل کنند.

ترانس های با دو سیم پیچ جداگانه که شامل یک ترانس سه فاز و یا مجموعه ای از چند ترانس تکفاز عبارتند از:

گروه یک: ۳۱۵۰ KVA

گروه دو: ۳۱۵۰ تا ۴۰۰۰ KVA

گروه سه: بالاتر از ۴۰۰۰ KVA

در مورد گروه های دو و سه، جریان اتصال کوتاه با توجه به امپدانس اتصال کوتاه ترانس محاسبه میگردد ولی در مورد گروه یک، چنانچه امپدانس سیستم بزرگتر از ۵٪ امپدانس اتصال کوتاه ترانس باشد میتوان از مجموع امپدانس ترانس و سیستم برای محاسبه استفاده نمود، در غیر اینصورت از امپدانس سیستم صرف نظر کرد.

امپدانس به درصد	قدرت ترانسفورماتور (KVA)
٪۴	تا ۶۳۰
٪۵	۶۳۱ - ۱۲۵۰
٪۶/۲۵	۱۲۵۱ - ۷۱۵۰
٪۷/۱۵	۷۱۵۱ - ۶۳۰۰
٪۸/۳۳	۶۳۰۱ - ۱۲۵۰۰
٪۱۰	۱۲۵۰۱ - ۲۵۰۰۰
٪۱۲/۵	۲۵۰۰۱ - ۲۰۰۰۰

جدول (۱-۱): امپدانس ترانسفورماتورهای قدرت

ترانسفورماتور میتواند یک اتصال کوتاه خارجی را تحمل نماید بدون اینکه خسارتی به آن برسد اگر جریانی اتصالی توسط یک راکتانس محدود شده باشد طبق استاندارد BS ۱۷۱-۱۹۶۳ که در جدول زیر مقدار این راکتانس و همچنین مدت زمان عبور جریان اتصال کوتاه به شرح زیر میباشد.

راکتانس ترانسفورماتور	جریان خطا (مضربی از جریان نامی)	مدت خطای محدود شده (ثانیه)
۴	۲۵	۲
۵	۲۰	۳
۶	۱۶	۴
۷	۱۴/۲	۵

جدول (۲-۱): مدت زمان عبور جریان خطا بر حسب راکتانس ترانسفورماتور

۱-۲-۴-۶- خطای اضافه بار

در اثر افزایش بار، افزونی تلفات مس و بالتبع افزایش درجه حرارت بوجود می آید اضافه بار برای یک زمان محدود مجاز میباشد که طبق استاندارد و مشخصات ترانسفورماتور، مدت و مقدار اضافه بار مشخص میشود که ارتباط با درجه حرارت اولیه و همچنین سیستم خنک کنندگی دارد ناگفته نماند که ازدیاد درجه حرارت نیز ممکن است در اثر پدید آمدن نقص فنی دستگاه خنک کننده ترانسفورماتور بوجود آید.

۱-۲-۵- موارد عام حفاظت الکتروموتورها:

۱-۲-۵-۱- سنجشهای لازم جهت تشخیص خطا در الکتروموتورها:

- الکتریکی: جریان، ولتاژ، شار، فرکانس،...
- مکانیکی: لرزش، گشتاور روی محور، ...
- حرارتی: دمای قسمتهای مختلف الکتروموتور،...

در اینجا به این نکته اشاره میشود که روش و تکنولوژی اندازه گیری و سنجش هر یک از پارامترها در تشخیص خطا بسیار مهم است. هر چه این سنجش دقیق تر، سریعتر و نزدیکتر به واقعیت باشد، تشخیص خطا نیز دقیق تر و سریعتر است.

برای روشن شدن اهمیت روش سنجش کمیتهای فوق الذکر در زیر مثالی می آوریم:

معمولاً ما از یک وسیله واسط برای سنجش پارامترهای فیزیکی استفاده می کنیم. بعنوان مثال برای تشخیص اضافه بار از بایمتال استفاده می شود ساختمان فیزیکی و اصول کار این وسیله بسیار ساده است. این وسیله از دو لایه فلزی (یا آلیاژ

فلزی) با خواص مختلف حرارتی ساخته شده است عبور جریان از بایمیتال آنرا گرم می کند و در صورت عبور جریان بیش از مقدار از پیش تعیین شده باعث خم شدن تیغه بایمیتال و صدور سیگنال تشخیص خطای اضافه بار میشود مشکل اصلی آن است که ماهیت حرارتی و فیزیکی این وسیله با موتور الکتریکی متفاوت است یعنی ثابت زمانهای مختلفی نسبت به یکدیگر دارند و این امر می تواند سبب قطع ناخواسته موتور الکتریکی و یا عدم تشخیص خطا وقتی خطا وجود دارد، شود. ابتدا وضعیتی را توصیف می کنیم که سبب قطع ناخواسته موتور الکتریکی می شود.

فرض کنید موتور الکتریکی بطور مداوم اما در زمانهای کوتاه راه اندازی می شود. در این حالت با اینکه سیم پیچهای موتور دمایی بیش از دمای حد مجاز ندارد، بایمیتال خطا تشخیص میدهد.

وضعیت بعدی آن است که با اینکه زمان راه اندازی طولانی مدت است و باید خطا تشخیص داده شود ولی بایمیتال بعلا فاصله زیاد بین دو راه اندازی خطا را نمی بیند.

۲-۱-۲-۵- روشهای مقابله با خطا در الکتروموتور

مرحله بعدی در حفاظت بعد از تشخیص خطا ، رفع خطاست، منظور از رفع خطا تغییر شرایط بصورتی است که صدمه و خسارت به الکتروموتور و فرآیند به حداقل ممکن کاهش داده شود. وقتی رله خطایی را برای یک الکتروموتور تشخیص میدهد میتواند یکی از تصمیمات زیر را اتخاذ نمود:

- الکتروموتور را با قطع تغذیه ایزوله کرد.
- با تغییر در کنترل فرآیند، الکتروموتور را به شرایط ایمن رساند.
- علیرغم خسارت و صدمات احتمالی و کاهش عمر الکتروموتور بدلیل حساسیت بودن موقعیت، کار را ادامه داد تا فرآیند از مرحله بحرانی خارج شود.

اینکه چه استراتژی در مواجهه با خطا باید اتخاذ گردد وابسته به عوامل زیر است:

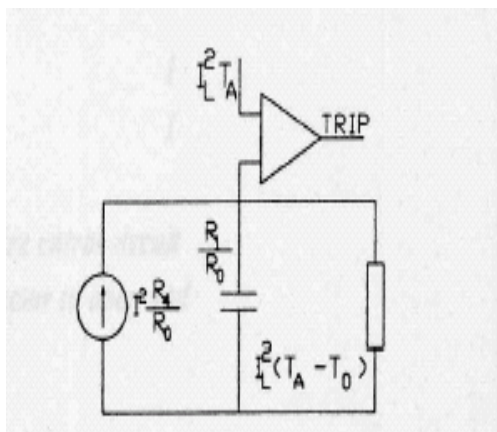
- روش و الگوریتم تشخیص خطا: روش و الگوریتم تشخیص خطا در تصمیم گیری اهمیت فراوان دارد، عملاً در رله های الکترومکانیکی که کند و غیر منعطف هستند از روشهایی استفاده می شود که تصمیم گیری بر اساس آن مشکل و در بسیاری از مواقع همراه با اشتباه است. اینکه چه باید بکنیم بیشتر به تجربه و دید طراح حفاظت وابسته است. اما در رله های میکروپروسسوری با نرم افزار و الگوریتمهای قدرتمند، اطلاعات بیشتر، دقیق تر و کارآمدتری در اختیار داریم و با اطمینان بیشتری می توانیم تصمیم گیری نماییم.

- نوع خطا: نوع و منشأ خطا از این لحاظ اهمیت دارد که میتوان با توجه به آن اقدامی موثر و با حداقل هزینه را انجام داد. یک خطا ممکن است بسیار کند پیش رفته و صدمات بسیار کمی را در زمانهای کوتاه ایجاد نماید. در مقابل یک خطای دیگر دارای پیشروی سریع و اثرات مخرب زیاد در زمانهای کوتاه باشد.
- فلسفه طراحی و دید طراح: اینکه در مقابل یک خطا چه باید کرد را نهایتاً طراح تعیین میکند هم روش و الگوریتم تشخیص خطا، هم نوع خطا در جهت دهی به طراحی مهم است. امروزه روشهای تحلیلی کارآمدی برای کمک به طراح در رسیدن به تصمیمی صحیح وجود دارد.

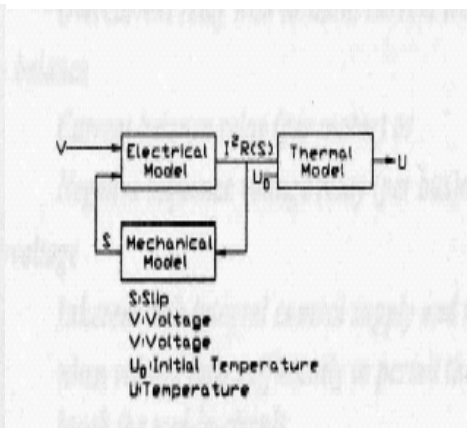
۳-۱-۲-۵- اصول کار رله های مدرن الکتروموتورها:

چنانچه مثال بند ۱-۲-۱-۵- نشان داد، تفاوت‌های فیزیکی بین عناصر سنجش پارامترها و خواص فیزیکی الکتروموتور باعث اشتباه در تشخیص خطا می شود. برای به حداکثر رساندن دقت و حداقل رساندن اشتباه در خطا باید:

- ابزارهای سنجش را دقیق تر و کارآمدتر انتخاب نمود.
 - از الگوریتمهای بهتر و دقیق تر استفاده کرد که در آنها از مدل‌های دقیق تر و نزدیکتر به واقعیت استفاده شده است.
 - چندین پارامتر را مورد بررسی قرار داد و باهم مقایسه نمود.
- در رله های مدرن هنگامی که کمیت های الکتریکی، مکانیکی و حرارتی توسط سیستم حفاظت اندازه گیری شد، یک الگوریتم حفاظتی کمیت‌های مختلف را مقایسه و با استفاده از مدل‌های مختلف حرارتی و مکانیکی شرایط موجود را با یک وضعیت از الکتروموتور انطباق می دهد. الگوریتم حفاظت این قابلیت را دارد که وضعیت تخمینی را با آستانه تحمل الکتروموتور مقایسه و نهایتاً خطا را تشخیص دهد.



شکل (۱-۱۸-ب)



شکل (۱-۱۸-الف)

بنابراین رله باید واجد یک واحد محاسباتی تخمین حالت باشد. این واحد جهت انجام محاسبات نیاز به یک مدل ریاضی خواهد داشت که بعنوان نمونه در شکل‌های بالا نشان داده میشود.

در شکل (۱۸-۱-الف):

$(R_4=(R_1-R_0)S+R_0)$: Slip dependent resistance), R_0 =Rotor resistance at rated slip
 R_1 = Locked rotor resistance, I_L =Locked rotor current, T_o = Thermal limit from oper. Temp
 T_A =Thermal limit from ambient

مدلهای فوق الذکر این قابلیت را دارند که با استفاده از پارامترهای الکتریکی، وضعیت حرارتی یا وضعیت مکانیکی موتور را تخمین بزنند یا حتی میتوانند کمیتهای حرارتی یا مکانیکی، مانند حرارت یا گشتاور را با استفاده از حسگرهای اضافی مستقیماً اندازه گیری کنند اما باید توجه داشت که تغییر در پارامترهای حرارتی و مکانیکی از طبیعتی کند برخوردار است و از سوی دیگر عموماً بعد از تشخیص این تغییرات دیگر فرصتی برای مقابله مناسب با خطا وجود ندارد، حال آنکه تغییر در پارامترهای الکتریکی را قبل از آنکه منجر به تغییرات در پارامترهای مکانیکی گردند، میتوان تشخیص داد و این یک مزیت عمده رله های مدرن است.

امروزه برای استفاده از الگوریتمهای بهتر، پیچیده تر و در نتیجه دقیق تر، از نرم افزارهای کارآمد و پردازنده قوی و سریع استفاده می شود بدین ترتیب سرعت پردازش بالا رفته علیرغم پیچیدگی و حجیم بودن محاسبات، بدلیل قابلیت نرم افزارها و سرعت و قدرت میکروپروسورها، زمان در حد قابل قبولی می باشد همین مساله درباره استفاده از چند پارامتر و تحلیل همزمان آنها نیز صادق است. بدین معنی که نرم افزارهای موثر و سخت افزارهای سریع و قوی چند پارامتر را دریافت کرده با هم مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و نتیجه ای قابل قبول ارائه میدهند. پس در این رله ها، وضعیت کار موتور (شرایط گذرا، دائمی و...) کاملاً قابل تشخیص است و حداقل اشتباه روی میدهد یا حتی میتوان ادعا نمود که اشتباهی رخ نمیدهد. رله هایی که امروزه بر اساس کار میکروپروسورها و استفاده از نرم افزارهای پیچیده و قوی مورد استفاده قرار می گیرند. تماماً چند کاره^(۱) می باشند که این امر ضمن کاهش هزینه ها، کار با آنها را در مراحل نصب و راه اندازی و تعمیرات بسیار آسان می نماید.

بخش سوم

سیستم زمین و انواع زمین کردن ماشین الکتریکی

ساختار سیستم زمین در پست و نیروگاه

اهداف ایجاد سیستم زمین حفاظتی

زمین کردن نوترال به صورت :

مستقیم

از طریق مقاومت اهمی

از طریق راکتانس (مانند راکتور)

از طریق سیم پیچی قطع کننده قوس الکتریکی

از طریق ترانسفورماتور توزیع





نیروگاه سیکل ترکیبی گیلان

۱-۳-۱- ساختار سیستم زمین در پست و نیروگاه

طراحی سیستم زمین شامل بخشهای زیر خواهد بود:

- ۱- تامین زمین نقطه نوترال سیستم الکتریکی (نقطه نول ژنراتور و پست) جهت ایجاد یک نقطه با پتانسیل تثبیت شده (Neutral Ground).
- ۲- تامین زمین حفاظتی جهت حفاظت فرد در مقابل برق گرفتگی که شامل زمین هادی هایی می باشد که در حالت کار عادی نیروگاه برقرار نبوده ولی در حالت بروز خطا ممکن است برقرار شوند (Safety Ground).
- ۳- تامین زمین تجهیزات برقی برای ایجاد یک مسیر برگشت با امپدانس کم جهت قطع سریع مدار توسط رله های حفاظتی در صورت بروز خطا در سیستم الکتریکی (Equipment Ground).

۱-۳-۲- اهداف ایجاد سیستم زمین حفاظتی

یک سیستم زمین مطلوب باید طوری طراحی شود و نصب گردد که بتواند افزایش ولتاژ و جریانها را در حالتی کار عادی سیستم و در حالت بروز خطا در حدی نگهدارد که سلامت تجهیزات را تضمین کرده و نیز افراد را از خطر برق گرفتگی حفظ کند. ضمن آنکه خللی در تداوم کار سیستم بوجود نیاید.

به خاطر اهمیت زیاد زمین کردن ژنراتور و تاثیر روشهای مختلف زمین کردن در حفاظت ژنراتور، به روشهای مختلف زمین کردن ژنراتورها می پردازیم. زمین کردن به معنی اتصال الکتریکی دستگاهها با مواد داخل زمین است که به صورت زیر قابل تقسیم است:

الف: زمین کردن نوترال

ب: زمین کردن عمومی

- اهداف زمین کردن نوترال دستگاهها عبارتند از:

- کاهش اثرات ولتاژهای ضربه ای در اثر صاعقه و قطع و وصل کلیدها و کلا محدود نمودن ولتاژهای زیادگذرا، به عبارتی دیگر، ولتاژها تثبیت شده و عایق بندی دستگاه سالم بماند.
- کنترل و یا محدود کردن جریان اتصال کوتاه به مقدار قابل قبول به جهت کم نمودن خسارت در محل اتصالی
- ولتاژ برق گرفتگی بشدت حالت جدای از زمین نباشد.

به بیانی دیگر علل زمین کردن عمومی دستگاهها عبارتند از بوجود آوردن حفاظت برای دستگاهها و هم برای اشخاصی که به نحوی در ارتباط با دستگاههای برقی بوده و یا مصرف کننده وسایل الکتریکی هستند. در حالتی که نقطه نوترال ژنراتور نسبت به زمین ایزوله باشد با بکاربردن ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ، در هنگام اتصال، کمیت های پس ماند اندازه گیری میشود که با کاربرد رله های حساس و گران قیمت برای کشف اولین اتصالی به زمین و استفاده از وسائل قطع خودکار مدار برای عمل در حالتی که دومین اتصالی بروز کند، همراه می باشد، بعلا معایب فراوان این سیستم، این حالت متداول نمی باشد. بدین خاطر انواع زمین کردن نقطه نوترال ژنراتور را توضیح می دهیم:

۱-۳-۳- زمین کردن نوترال

روش زمین کردن نقطه نوترال ژنراتور، میزان جریان اتصال کوتاه را تعیین می نماید و هر چه امپدانس زمین کردن بیشتر باشد، رله دیفرانسیل میتواند دقت بیشتری داشته باشد. بدین خاطر روشهای زمین کردن نوترال ژنراتور با عناوین زیر آورده میشود:

- ۱- زمین کردن مستقیم
- ۲- زمین کردن از طریق مقاومت اهمی
- ۳- زمین کردن از طریق راکتانس (مانند راکتور)
- ۴- زمین کردن از طریق سیم پیچی قطع کننده قوس الکتریکی
- ۵- زمین کردن با استفاده از ترانسفورماتورهای توزیع



۱-۳-۳-۱- زمین کردن مستقیم:

در این روش، محل نوترال ماشین الکتریکی از طریق اتصال فلزی (مانند شمش مسی) مستقیماً به زمین وصل شده است. در این روش با توجه به اینکه امپدانس توالی صفر سیستم کم بوده و در حدود ثلث توالی مثبت است اگر خطای فاز به زمین در ترمینال ماشین رخ دهد در سیم پیچی آن، جریان بیشتر از جریان خطای سه فاز می‌باشد و ولتاژ فازهای سالم کمتر از حالت‌های دیگر زمین شدن سیستم است. لذا در این روش میتوان سیستم عایقی پایین تری برای تجهیزات بکار برد.

مزیت های این روش عبارت است از :

- ۱- ولتاژ نقطه نول همیشه ولتاژ زمین است و ولتاژ فازهای سالم معمولاً از ولتاژ نرمال کمتر تجاوز می کنند.
- ۲- برقگیرها در شبکه های مستقیم زمین شده می توانند با ولتاژ نامی حدود ۸۰٪ ولتاژ نامی فاز به فاز بکار روند، حال آنکه در سیستم ایزوله ولتاژ آنها باید ۱۱۰٪ ولتاژ نامی سیستم باشد.
- ۳- اتصال زمین به علت رله بندی خوب، به سرعت مشخص میشود.
- ۴- سیستم حفاظتی بسیار ساده است.
- ۵- ولتاژ فازهای دیگر در اثر اتصال کوتاه تغییر نمیکند.

اشکالات یک سیستم زمین شده به این صورت عبارتند از:

- ۱- در خطوط هوایی اکثریت اتصالها، اتصال فاز به زمین می باشد ، لذا به هنگام خطا ضربه های سختی به سیستم وارد می شود که بیش از حالت خطای مشابه ، در سیستم ایزوله یا با مقاومت زمین شده است.
- ۲- عموماً جریان اتصال کوتاه تک فاز کمتر از اتصال کوتاه سه فاز است ولی گاهی در نزدیکی منابع تولید نسبت $\frac{x_1}{x_0}$ بیشتر از یک می باشد و باعث می شود که جریان خطای یک فاز بیش از سه فاز گردد. بنابر این باید قدرت قطع کلیدها بیشتر از حد لازم گرفته شود.
- ۳- تنش های مکانیکی زیادی در سیم پیچی ماشین ایجاد میشود.
- ۴- افزایش جریان در خطوط مخابراتی اطراف، اثرات اتصالی بیشتر دارد.
- ۵- افزایش جریان خطا، احتمال سوختن هادی را بیشتر می کند و خسارت وارده در محل اتصالی، زیاد می‌باشد.
- ۶- افزایش جریان اتصالی فاز به زمین باعث کم شدن ولتاژهای مولفه مثبت و در نتیجه کاهش حد پایداری سیستم می گردد.

۱-۳-۳-۲- زمین کردن از طریق مقاومت:

وقتی که لازم می شود جریان اتصال کوتاه فاز به زمین را محدود کنند ، لازم است در مسیر نوترال از یک وسیله محدود کننده جریان استفاده کنند . این وسیله ، مقاومتی از جنس فلز(مانند یک رشته فلزی بافته شده) یا مایع است. این مقاومتها به طور خیلی ناچیز دارای سلف می باشند که یکی از زیانهای کاربرد آنهاست.(زیرا موجهای سیار در طول خطوط هوایی در برخورد با این مقاومت ، عکس العمل مثبت نشان داده و باعث صدمه دیدن عایق ها می گردند).این روش کاربرد فراوان در حفاظت اتصال زمین ژنراتور نیروگاهها دارد.

فواید این روش عبارتست از:

- ۱- در مواردی که مقاومت کوچک باشد ، خطرات ایجاد قوس الکتریکی کاهش می یابد.
- ۲- به علت کاهش جریان خطا، از اثرات نامطلوب زیاد بودن جریان مثل اثر القاء در سیستم مخابراتی همجوار یا سوختن هادی جلوگیری می شود.
- ۳- حالت پایداری سیستم را در خطای یک فاز، تا حدودی بهبود می بخشد.
- ۴- محل اتصالی بدلیل رله بندی ، تمایزی کاملاً مشخص خواهد شد.
- ۵- از اضافه ولتاژهای گذرا خطرناک جلوگیری میکند.

اشکالات این روش عبارتند از:

- ۱- با توجه به محدود شدن جریان ، اضافه ولتاژ داریم که معمولاً از برقگیر به صورت ۱۰۰٪ ولتاژ استفاده می شود. ضمن اینکه افزایش هزینه و قبول خطر را نیز به همراه دارد.
- ۲- قیمت تجهیزات بویژه ترانسفورمرها از لحاظ عایقی افزایش می یابد.
- ۳- تهیه خود مقاومت به منزله سرمایه گذاری بیشتر است.
- ۴- تلفات زیادی در مقاومت ایجاد خواهد شد.

۱-۳-۳- زمین کردن از طریق راکتانس (مانند راکتور)

در این سیستم نقطه نوترال از طریق امپدانس(مانند یک راکتور) زمین می شود که این امپدانس نسبتاً سلفی می باشد.راکتور بکار برده شده جریان خطا را کاهش داده و ماشین الکتریکی را از جرقه های حاصل از جریان زیاد محافظت میکند. این روش در جاهائیکه با سبار ژنراتور در معرض رعد و برق قرار می گیرد بکار برده میشود این روش برای رله بندی تمایزی ژنراتورها میتواند بکار برده شود از اضافه ولتاژها در طول خطا در فازهای سالم جلوگیری میکند خصوصیات نامطلوب زمین کردن از طریق راکتور زمانی است که جریان خطای عبوری از نقطه خنثی زیاد باشد باعث میشود که در محل خطا، خسارت بوجود آید.

مزیت های این روش نسبت به روش قبل ، عبارتند از:

- ۱- برای عبور جریان اتصال کوتاه معین، راکتور حجم کمتری از یک مقاومت دارد.
- ۲- انرژی که به مقاومت تلفات اهمی در حالت سیستم زمین شده با مقاومت داریم، کمتر می گردد.

۱-۳-۳-۴- زمین کردن از طریق سیم پیچی قطع کننده قوس الکتریکی (Peterson)

این سیستم در واقع، تکمیل و توسعه منطقی سیستم زمین شده از طریق راکتانس است. مقدار سلف دقیقاً طوری است که در هنگام اتصال فاز به زمین جریان خازنی را کاملاً خنثی می کند، در نتیجه هیچ قوس الکتریکی در محل خطا بوجود نمی آید.

به لحاظ اینکه در نقاط مختلف سیستم ، ممکن است خطا رخ دهد، مقدار جریان خازنی تغییر می کند، پس این سلف باید متغیر باشد.

مزایای این روش عبارتند از:

- ۱- شبکه از تعداد زیادی قطع و وصل مصون می ماند.
- ۲- احتیاج به جداکردن قسمت معیوب نداریم. چون جریانی در محل خطا تزریق نمی گردد.
- ۳- تنش های مکانیکی در سیم پیچی های ژنراتور کاهش می یابد.
- ۴- اضافه ولتاژهای گذرا ناشی از کلیدزنی محدود میشود.
- ۵- خسارت وارده در محل خطا کاهش می یابد.

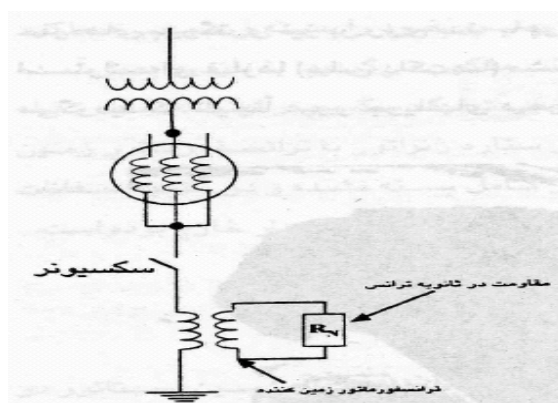
مضرات این روش عبارتند از:

- ۱- اضافه ولتاژهای فازهای سالم باعث افزایش هزینه عایقی یا خرابی آنها می گردد.
- ۲- نیاز به سلفی داریم که بتواند جریان اتصالی را مدت زمان زیادی تحمل کند.
- ۳- رله های جهت دار با حساسیت زیاد، قادر به تشخیص فیدر اتصالی در گروهی از فیدرها که با ولتاژ ژنراتور تغذیه میشوند، نخواهند بود.

۱-۳-۳-۵- زمین کردن ژنراتور با استفاده از ترانسفورماتورهای توزیع

در این حالت ژنراتورهای سیستم را با استفاده از ترانسفورماتورهای توزیع با ثانویه بار مقاومتی زمین میکنند. یک ترانس جریان بصورت سری با مقاومت ثانویه بسته میشود تا رله یا رله های اضافه جریان را تغذیه نماید. در شکل

(۱-۱۹) مقدار مقاومت در ثانویه ترانس، به میزانی انتخاب میگردد که در هنگام وقوع اتصال زمین در ترمینالهای خروجی ژنراتور، جریان اتصالی را بین ۱۵ الی ۱۰ آمپر محدود نماید، اگر مقدار این مقاومت کوچک انتخاب شود مقدار جریان اتصال زمین عبوری از هسته ژنراتور افزایش یافته و میتواند پس از مدت زمانی اثرات مخربی را بر روی لایه های عایق مربوط به ورقه های هسته استاتور ایجاد نماید و اگر مقدار مقاومت زمین از حد مطالعه شده ای بزرگتر انتخاب شود ولتاژهای گذرای را در شرایط مختلف و بخصوص در هنگام وقوع اتصال فاز به زمین بوجود می آورد، این ولتاژهای گذرا تابعی از مقدار مقاومت زمین کننده و مقدار ظرفیت کل خازن ژنراتور و تجهیزات متصل به آن نسبت به زمین می باشند.



شکل (۱-۱۹): زمین نمودن نقطه صفر ژنراتور از طریق ترانس

این رله حفاظت حساسی به میزان ۹۰ تا ۹۵ درصد برای سیم پیچی های استاتور را فراهم میکند که برای خطاهای خارجی بصورت غیر صحیح عمل نمیکند. این طرح با اینکه درست، بی خطر و مطمئن است ولی با این حال دو عیب ذیل را دارد:

- ۱- خطاهای زمین نزدیک نول ژنراتور را آشکار نمیکند.
 - ۲- دوم اینکه خود نشان دهنده نیست یعنی اینکه هر جا مدار بازی در رله یا در اولیه و ثانویه ترانس جریان یا مقاومت زمین وجود داشته باشد قبل از بروز خطا آن را آشکار نمی کند.
- این روش از جمله روشهای متداول جهت حفاظت اتصال زمین ژنراتور در نیروگاهها می باشد.
- استفاده از سکسیونر زمین در ژنراتورهای نیروگاهی، ضمن ایجاد تسهیلاتی در امر تستهای الکتریکی مورد نیاز از ژنراتور در توقف های کوتاه مدت و اطمینان از سالم بودن عایقی ژنراتور، میتواند در صورت بی توجهی به بازدید و نگهداری از آن، منجر به خارج شدن سیستم حفاظت کننده اتصال زمین ژنراتور شده و متعاقبا با تبدیل اتصال زمین تشخیص داده نشده به اتصالی های دو فاز و یا سه فاز خسارات شدیدی را بدنبال داشته باشد.

بخش چهارم

اطلاعات ورودی به رله های جریانی

اصول ترانس جریان

هسته های اندازه گیری

هسته های حفاظتی

بررسی حالت اشباع ترانسفورماتور جریان

ترانسفورماتور جریان نوری



۱-۴-۱- اصول ترانس جریان

ترانس جریان از چند جنبه با دیگر ترانسها تفاوت دارد. اوليه اين ترانس بطور سري در شبکه قرار می گیرد و بدین معنا است که جریانهای اولیه و ثانویه آن پایدار بوده و به هیچ وجه تحت تاثیر بار شبکه قرار نمی گیرد. در ترانس جریان، کمیت اصلی، جریان است و افت ولتاژ فقط در رابطه با جریان تحریک و خطاهای اندازه گیری مورد توجه واقع می شود.

الف- خطاهای اندازه گیری:

در تبدیل جریان، هم در دامنه جریان و هم در فاز آن، خطا ظاهر می شود. زیرا کل جریان اولیه از ثانویه نمی گذرد و بخشی از آن توسط هسته مصرف می شود. خطای دامنه، خطای جریان یا خطای نسبت نامیده می شود و خطای فاز، جابجایی فاز نامیده می شود. خطای مرکب ترانس جریان نیز از رابطه روبرو بدست می آید:

$$\varepsilon_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int^T (K_n i_s - ip)^2 dt}$$

اگر خطا در بار یکسان برای دو جریان مختلف محاسبه گردد، روشن می شود که خطاهای مربوط به دو جریان با هم متفاوتند. دلیل این موضوع غیر خطی بودن مشخصه تحریک است. در حالت معمولی با افزایش جریان، خطا کاهش می یابد، اما با شروع اشباع شدن هسته، افزایش کوچکی در جریان منجر به افزایش سریع خطا می شود.

خطای جریان (اختلاف بین جریان اولیه و ثانویه ترانس جریان) در عملکرد رله جریان زیان مهم است و جابجایی فازی (تفاوت فاز جریان اولیه و ثانویه ترانس جریان) در عملکرد رله های حساس به فاز مهم است مانند رله های جهت دار. در رله های دیفرانسیل بایستی ترکیبات خطای مرکب ترانسهای جریان مختلف را باید در نظر داشت. یکی از مزایای (می باشد که برای عملکرد صحیح CT محدود نمودن خطای مرکب، محدود نمودن ظرفیت هارمونیکهای جریان ثانویه) انواع معینی از رله ها ضروری است. IPS ترانس اندازه گیری، جریان ایمنی وسیله نامیده می شود و نسبت به IPA، ضریب ایمنی وسیله (FS) نامیده می شود.

$$ALF = \frac{IPS}{IPA}$$

قابلیت یک ترانس جریان توسط چهار عامل اصلی معین می شود:

- ۱- سطح عایقی
- ۲- جریان نامی اولیه
- ۳- حداکثر جریان قابل تحمل در کوتاه مدت
- ۴- بار و دقت

ترانس جریان باید قابلیت تحمل ولتاژ سیستم و اضافه ولتاژ را نیز داشته باشد.

CT ها به طور معمول طبق استاندارد ANSI C57.13, IEC 185 طراحی می شوند.

اندازه گیری جریان می تواند به دو بخش تفکیک گردد:

۱- اندازه گیری در شرایط نرمال و بطور مکرر با دقت بالا، بار کم، ولتاژ اشباع کم، هسته اندازه گیری در محدوده

۵٪-۱۲۰٪

۲- اندازه گیری در شرایط اختلال در محدوده اضافه جریان، هسته های حفاظتی کلاسهای 5p, Tp, 10 ترانس

جریان می تواند تا ۶ هسته اختصاص داده شده به اندازه گیری و حفاظت داشته باشد. جهت تامین کلاسهای دقت،

جریان مغناطیس کننده هسته باید دارای مقدار کمی باشد مخصوصا برای هسته های با دقت بالا.

لازمه نگهداشتن جریان مغناطیسی هسته در مقدار کم، وجود چگالی شار کم در هسته است. دقت زیاد و آمپر دور

کم به داشتن ضریب اشباع بزرگی منجر می شود. برای بدست آوردن دقت زیاد همراه با ضریب اشباع کوچک،

معمولا جنس هسته را از آلیاژ فولاد نیکل انتخاب می کنند.

برای تست ترانس جریان و اندازه گیری خطای جریان و جابجایی فاز، بار (Burden) ترانس برای بالاتر از ۵VA،

ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز داشته باشد ولی برای پائین تر از ۵VA، ضریب قدرت Burden بایستی یک باشد.

۱-۴-۲- هسته های اندازه گیری (measuring core)

به منظور حفاظت دستگاهها و وسایل اندازه گیری در مقابل جریان زیاد ناشی از اتصال کوتاه، هسته می بایست نوعا

در ۵ تا ۱۰ برابر جریان نامی اشباع شود. Fs ضریب ایمنی وسیله، اضافه جریانی را که در آن هسته اندازه گیری به اشباع

خواهد رفت، به صورت ضریبی از جریان نامی نشان می دهد. بنابراین موجب محدود شدن جریان ثانویه به Fs برابر

جریان نامی می شود. این ضریب به عنوان مقداری ماکزیمم داده می شود و فقط در بار نامی معتبر است. در بارهای

کمتر از بار نامی مقدار اشباع تقریبا به n افزایش می یابد.

بهترین راه برای بهینه کردن هسته با کلاس دقت، این است که یک بار نامی معادل ۱/۵ برابر بار حقیقی در نظر گرفته

شود. خروجی بیشتر از هسته، هسته بزرگتری را طلب می کند، مخصوصا برای هسته های با دقت بالا، قیمت بیشتری نیز

مطرح می شود.

۱-۴-۳- هسته های حفاظتی (protection core)

ترانس جریانهای حفاظتی:

این CT ها در محدوده جریانی بالاتر از جریانهای نامی کار می کنند. کلاسهای IEC برای ترانس جریانهای حفاظتی

10p, 5p هستند. مشخصات اصلی این CT ها عبارتند از:

الف- دقت کم (خطاهای بزرگتری نسبت به ترانس های اندازه گیری مجاز است).

ب- ولتاژ اشباع زیاد

ج- نداشتن اصلاح دور یا اصلاح دور کم

ولتاژ اشباع توسط ALF داده می شود. ALF که به معنای ضریب حد دقت، حد اضافه جریان، بیان شده به صورت ضریبی از جریان اولیه نامی است، تا زمانی که دقت نامی در بار نامی محفوظ بماند. این ضریب معمولاً به عنوان مقدار حداقل، برای هسته های حفاظتی داده می شود. ضریب مزبور را همچنین می توان به عنوان نسبت بین ولتاژ اشباع و ولتاژ در جریان و بار نامی طرف ثانویه تعریف کرد.

۱-۴-۴- بررسی حالت اشباع ترانسفورماتور جریان

در ناحیه اشباع CT، جریان ثانویه (i_2) صفر می شود و جریان مغناطیسی کنندگی دقیقاً برابر جریان اولیه خواهد شد.

نکته ای که در اشباع CTها مورد توجه است از این قرار می باشد که اشباع شدن CTها یکسان نیست و این مسئله عموماً در سیستمهای حفاظتی ایجاد اشکال می کند.

۱-۴-۴-۱- انتخاب ترانسهای جریان با توجه به رفتار گذرای شبکه ها

با توسعه سریع رله های حفاظتی اعم از استاتیکی و میکروپروسسوری و نیز افزایش قدرت اتصال کوتاه شبکه های فشار قوی، امروزه دیگر اشباع شدن هسته های ترانس جریان حتی برای مدت کوتاه مجاز نخواهد بود، و لازم است طرز رفتار گذرای شبکه و تاثیر آن روی ترانسهای جریان مدنظر قرار گرفته و بر این اساس ترانسهای جریان مناسب طراحی و انتخاب گردد تا پاسخگوی نیاز سیستمهای حفاظتی مورد نظر باشند.

ترانسهای جریان یکی از عناصر اساسی برای سیستمهای حفاظتی بوده و در موقع اتصال کوتاه، احتمال اشباع شدن آنها وجود دارد. اشباع بعلت مولفه a.c جریان در طراحی بسیاری از ترانسهای جریان مد نظر بوده است ولیکن اثر مولفه dc بسیار شدیدتر از مولفه ac جریان میباشد و بنابراین اشباع میتواند با توجه به مولفه dc جریان اتصال کوتاه از اهمیت خاصی برخوردار باشد، که این مولفه پس از مدتی میرا میگردد. البته با توجه به رله های بسیار سریع امروزه نمیتوان انتظار داشت که پس از حالت میرائی کامل رله شروع بکار کنند که در اینصورت فلسفه طراحی حفاظتی سیستمهای جدید لوث میشود. و لذا حتی با وجود این مولفه لازم است سیستم حفاظتی کار خود را بطور کامل انجام دهد. نکته دیگریکه در رابطه با اشباع ترانس جریان مطرح است وجود مقدار فلوی پس ماند (Remanence) در هسته میباشد، که علت بوجود آمدن این فلوی از جمله عملکرد رله اتوریکلوزر، تست ترانسهای جریان و تزریق جریان مستقیم جهت اندازه

گیربهای ترانس جریان را میتوان نام برد که این فلو پس ماند میتواند موجب سریعتر اشباع شدن هسته گردیده و شرایط حالت گذرا را بدتر کند. این دو مطلب خود دلیلی هستند که انتخاب ترانس جریان با توجه به رفتار گذرا در شبکه ها را توجیه میکنند.

برای آنکه هسته ترانس جریان اشباع نشود باید سطح اشباع فلوی هسته بالاتر از مجموعه مولفه های dc و ac فلو باشد و یا آنکه بار متصل به ثانویه کاهش یابد. مولفه پایدار فلو فقط بستگی به بار ثانویه داشته و با زیاد شدن بار این مولفه نیز زیاد خواهد شد. مولفه گذرا فلو در واقع تعیین کننده سطح مقطع هسته بوده که بستگی به ثابت زمانی شبکه (T_1) و ثابت زمانی ترانس جریان و بار متصل به آن دارد. وقتی بار مقاومتی باشد (مثلاً رله های استاتیکی) دانسیته فلوگذرا به حداکثر مقدار خود میرسد و در واقع بدترین شرایط میباشد.

یکی دیگر از پارامترهاییکه در طرح ترانسهای جریان از اهمیت ویژه ای برخوردار است زمان رسیدن به اشباع میباشد که عامل تعیین کننده ای بشمار میرود. این زمان باید از زمان عملکرد رله ها بیشتر باشد تعیین اثرات رفتار گذرا و نیز فلوی پس ماند هسته و بعنوان یک دستورالعمل در مورد انتخاب ترانسهای جریان پیشنهادات زیر ارائه میگردد:

- ۱- ترانسهای جریان معمولی (بدون فاصله هوایی) در موارد زیر توصیه میشود:
 - ثابت زمانی شبکه حدود ۱۰۰ میلی ثانیه باشد.
 - انتقال درست مولفه DC جریان مورد نظر باشد. مثلاً در حفاظت دیفرانسیل و رله های سریع استاتیکی.
 - آمپر دور اولیه کمتر از ۱۵۰۰ باشد.
 - بدیهی است که اگر انتقال قدرت بالا همزمان با فاکتور اشباع بالا مورد نظر باشد این ترانسها کاربردی ندارند.
- ۲- ترانسهای جریان با فاصله هوایی
 - آمپر دور اولیه باندازه ای باشد که فاصله هوایی خیلی کوچک نگردد که برای آمپر دور کمتر از ۱۵۰۰ به ندرت اتفاق میافتد.
 - در جاییکه قدرت اتصال کوتاه زیاد باشد مثلاً در سیستم تغذیه داخلی نیروگاههای بزرگ.
 - استفاده از این نوع ترانس جریان موجب کاهش اندازه هسته بمقدار قابل ملاحظه ای خواهد بود.
 - در جاییکه دقت ترانس جریان از اهمیت خاصی برخوردار باشد از این نوع ترانس نمیتوان استفاده نمود.
 - در صورتیکه حذف مولفه گذرای جریان غیر قابل قبول باشد نباید از این نوع ترانس جریان استفاده شود.
 - ثابت زمانی شبکه بزرگتر از ۱۰۰ میلی ثانیه باشد.

علاوه بر در نظر گرفتن موارد یاد شده فوق مراجعه با استاندارد امری ضروری بوده ولی از آنجا که استاندارد IEC-185 شرایط و رفتار گذرای شبکه را در نظر نمیگیرد پیشنهاد میگردد به پیش نویس استانداردیکه توسط گروه کاری شماره ۱۴ تحت شماره TC-38 (IEC:WG14) که ترانسهای جریان با کلاس TPZ,TPY,TPX,TPS مشخص گردیده مراجعه شود.

۱-۴-۵- ترانسفورماتور جریان نوری (OCT) Optical Current Transformer

کشف اثر فتوالکتریک توسط ادموند بکرل در قرن نوزدهم و توجیه فیزیکی این پدیده توسط آلبرت اینشتین در آغاز قرن بیستم را میتوان نقطه شروعی برای اهمیت یافتن تکنولوژی فتونیک دانست. اختراع لیزر در نیمه دوم قرن بیستم به این روند شتاب زیادی داد. اهل فن بدین موضوع پی بردند که لیزر امکان لازم جهت انتقال صدا و تصویر در باند نوری و نه رادیویی را در اختیار می گذارد. ظرف کمتر از ۲۰ سال لیزرهای مختلفی ساخته شده و تکامل یافتند. از جمله لیزر هلیوم-نئون، آرگون، یون آرگون، دی اکسید کربن، لیزر شیمیایی، لیزر اگزایمر، یاق و همنطور انواع لیزرهای نیمه هادی همچنین پیشرفتهای وسیع در عرصه ساخت تقویت کننده های نوری، ساخت لیزرهای سوئیچ کننده Q، تمام نگاری، نور غیر خطی، مدارهای مجتمع نوری و... خیلی زود معلوم شد که نیاز به یک واژه فراگیر است تا همچون چتری، همه این عناوین و اسامی را زیر سایه خود گرد هم آورد و در بر گیرد. واژه ای مشابه الکترونیک منتهی در برگزیده تمام زمینه های تحقیقاتی مرتبط با نور از آنجائیکه نور بصورت جریانی از فتونها در نظر گرفته میشود. لذا واژه (فتونیک) برای اینکار پیشنهاد گردید که طبق تعریف عبارتست از فناوری لازم برای تولید، تقویت، هدایت و آشکار سازی امواج الکترومغناطیسی در باند نوری در زمینه های مختلف کاربردی همچون تولید انرژی، مخابرات و پردازش اطلاعات. یکی از کاربردهای پوششها (یا فیلترهای) نوری، مبدلهای نوری الکتریکی میباشد که در ادامه به آن پرداخته می شود:

۱-۴-۵-۱- معرفی

گسترش و تنوع سیستمهای موجود در شبکه های قدرت ایجاب می نماید تا برای نمونه برداری از جریان الکتریکی در شبکه، روشهای جدیدتری بکار گرفته شود. در حال حاضر نمونه های مورد نیاز از جریان خطوط برای کاربردهای اندازه گیری و حفاظت بوسیله ترانسفورماتورهای جریان مغناطیسی تهیه می شود که علاوه بر مشکلات متعدد در امر بهره برداری، بدلیل عدم دارا بودن مشخصه های مورد نیاز، اعم از پاسخ فرکانسی برای تحلیل هارمونیک کیفیت برق، خطای اندازه گیری فاز و دامنه، عدم تطبیق با سیستمهای اندازه گیری و حفاظتی جدید الکترونیک، وزن بسیار زیاد هسته، سیم پیچ ها و روغن و سایر عوامل دیگر، جوابگوی نیاز امروز نیستند. در این راستا شرکتهای بزرگ تولید کننده

لوازم اندازه گیری فشار قوی ، بتدریج برنامه های خود را برای تولید دستگاههای مناسبتر گسترش داده اند. یکی از این تجهیزات ترانسفورماتور جریان نوری است که در آن بوسیله استفاده از روشها و قطعات اپتیکی و بدون نیاز به هسته وسیم پیچ و عایق بندی گرانیقیمت میان آنها ، جریان عبوری در خط اندازه گیری می شود و علائم نورانی دریافت شده از حسگر بوسیله مدارهای الکترونیک به علائم الکتریکی تبدیل می شود. در این قسمت ، یک دستگاه ترانسفورماتور نوری رده ۶۳ کیلوولت و جریان نامی ۲۵۰ آمپر مورد توجه قرار گرفته است. این دستگاه در یکی از پستهای شهر تهران ، تحت آزمایش قرار گرفته است.

۱-۴-۵-۲- تشریح اصول کار کلی و اجزا دستگاه:

ترانسفورماتور جریان نوری عبارت است از یک ابزار دقیق اندازه گیری اپتوالکترونیک که بوسیله آن میتوان شکل موج جریان خطوط فشار قوی را مشاهده نموده و بصورت لحظه ای اندازه گیری کرد. از آنجائیکه این دستگاه می تواند جانشین مناسبی برای ترانسفورماتورهای جریان فشار قوی در شبکه های توزیع و انتقال قدرت بشمار آید، به عنوان ترانسفورماتور نوری جریان نامیده شده است. اما در حقیقت اصول کار آن با ترانسفورماتورهای اندازه گیری متداول ، متفاوت است. منظور از اپتوالکترونیک دستگاهی است که در آن از قطعات نوری (اپتیک) و الکترونیک استفاده شده است. در ساختمان ترانسفورماتورهای جریان متداول عموماً از سیم پیچ ها و هسته های آهنی و بر اساس اصول القای مغناطیسی جهت کاهش سطوح ولتاژ و جریان استفاده می شود، اما در این طرح یک حسگر فاراده استفاده شده که بوسیله منبع نورانی تغذیه می شود و میدان مغناطیسی را روی دامنه نور مدوله می کند.

علائم حاصله بوسیله مدارهای الکترونیک شامل قطعات نیمه هادی و معمولی (اکتیو و غیر اکتیو) در یک نقطه مناسب مثل اتاق فرمان (یا مکانی دورتر مثل مرکز کنترل شبکه) مجدداً به علائم الکتریکی تبدیل می شوند. مجموعه باید در داخل محفظه مناسب، ضد رطوبت و ضد گرد و غبار، نصب و جهت استعمال در شرایط خارج از ساختمان آماده شود، بنابراین در ساختار آن سایر مسائل جانبی که تجهیزات فشارقوی با آن مواجه هستند نیز لحاظ می شود، مهمترین این مسائل شامل مسائل دما، آلودگی و رطوبت و ارتعاش هستند.

ترانس جریان نوری بطور کلی به چند دسته کلی تقسیم می شود، این تقسیم بندی اساساً بر روش نمونه گیری جریان در دستگاه استوار است، مهمترین آنها مبدلهای اکتیو و مبدلهای غیر اکتیو هستند. منظور از مبدل فعال، دستگاهی است که در آن بخش فشار قوی دستگاه برای انجام نمونه برداری جریان از مدارهای الکترونیک استفاده می کند و این قسمت نیاز به منبع تغذیه الکتریکی دارد. معمولاً تغذیه مورد نیاز بوسیله یک رشته فیبرنوری بصورت توان نورانی به آن مدار ارسال و در بالای خط بوسیله سلولهای فوتوولتائیک کوچک، توان الکتریکی تامین می شود. در مبدلهای غیر فعال برای اندازه گیری جریان از اثر اپتیکی بطور مستقیم استفاده می شود که در آن

توان مورد نیاز حسگر مستقیماً بصورت نورانی تولید و مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش در بخش نمونه برداری در طرف فشارقوی از عناصر غیر فعال اپتیکی استفاده می شود.

۱-۴-۵-۳- اصول تئوریک

تأثیر متقابل میدانهای الکترومغناطیسی روی برخی خواص نور، امری است که اولین بار بوسیله مایکل فاراده دانشمند انگلیسی کشف و به نام وی ثبت شد. این امر که بوسیله امیل وردت دانشمند فیزیکدان فرانسوی دنبال شد، به توضیح تأثیر متقابل نور و میدان مغناطیسی در مواد می پردازد. وردت که به نتایج حاصله از آزمایشهای فاراده و فرنل علاقمند بود، توانست در سال ۱۸۴۵ نسبت به تصحیح و تکمیل آنها موفق شود و به این ترتیب ثابت وردت V_E بنام وی نامیده شد.

اثر فاراده چیست؟

هنگامی که یک اشعه نورانی، اعم از مرئی و یا نامرئی، با پلاریزه ای با زاویه θ_1 نسبت به یک مرجع خاص، وارد کریستالی که داخل میدان مغناطیسی H قرار دارد شود، چرخش در پلاریزاسیون آن ایجاد می شود که مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$\theta_2 - \theta_1 = V_e \cdot \int H \cdot dl \quad (1)$$

که در آن:

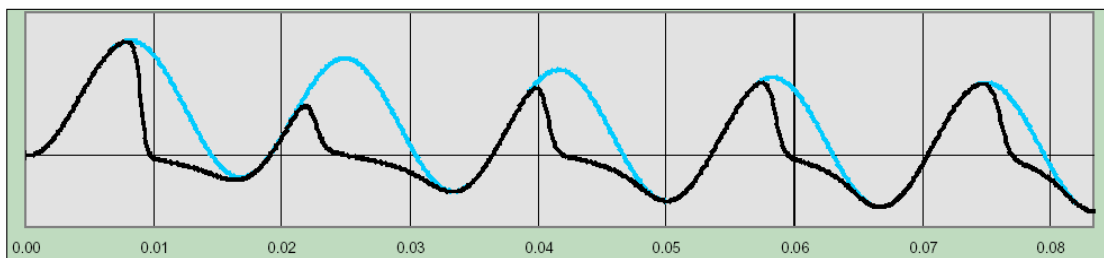
V_e : ثابت وردت که معمولاً بر حسب دقیقه بر اورستد-سانتیمتر (و اگر در رابطه ۱ بجای B, H استفاده شود، بر حسب دقیقه بر گاوس- سانتیمتر) بیان می شود.

$\theta_2 - \theta_1$: بترتیب زاویه پلاریزاسیون ورودی و خروجی نسبت به مرجع خاص هستند که بر حسب دقیقه یا درجه سنجیده

می شود.

L : طولی از کریستال که در آن مسیر اشعه در امتداد بردار میدان است.

H : شدت میدان مغناطیسی بر حسب اورستد.

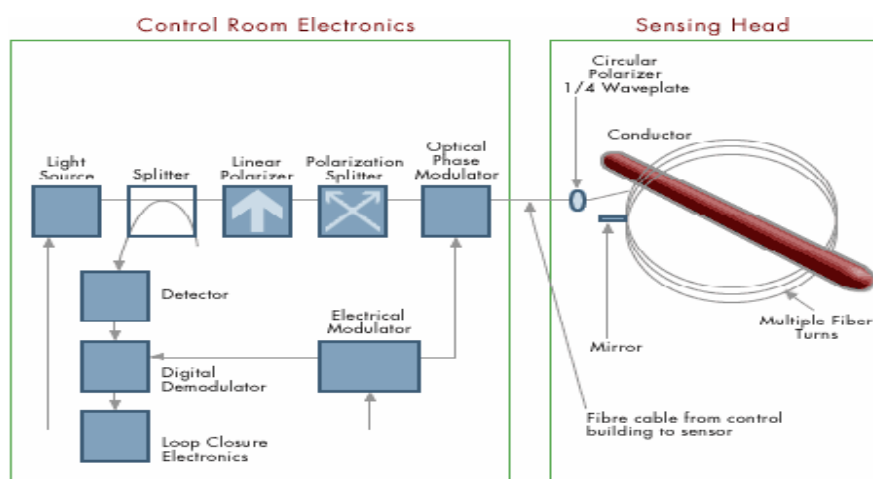


شکل (۲۰-۱): اثر فاراده

ثابت وردت و در نتیجه اثر فاراده در موارد مختلف، متفاوت است و تابع طول موج، دما، جهت عبور اشعه و برخی پارامترهای مربوط به شبکه کریستالی است. اغلب مواد شفاف دارای این خاصیت (اثر فاراده) هستند. اما این اثر در مواد مختلف از شدت و ضعف برخوردار است و انواع کریستالهای مختلف، شیشه های سخت، کوارتز، آب و اغلب مواد آلی اعم از گاز، مایع و جامد دارای این خاصیت هستند.

تحقیقات وسیع جهت اصلاح خواص فیزیکی و تهیه ترکیباتی که دارای خواص بهتر، ثابت وردت و بالا و پایدار باشند در کشورهای مختلف به سرعت ادامه دارد.

۴-۵-۴-۱- شرح دستگاه :

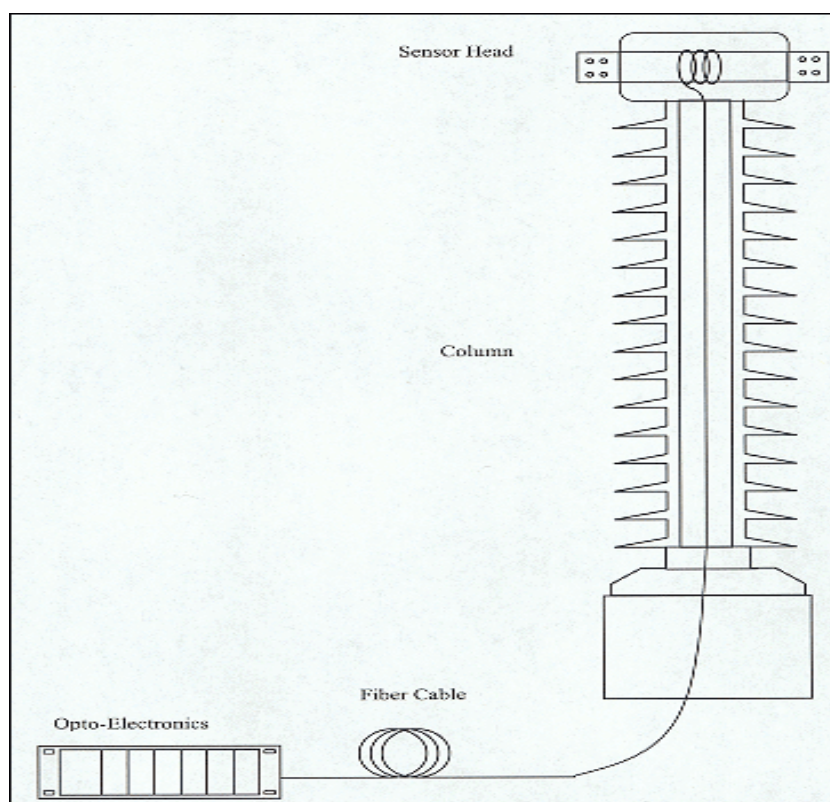


شکل (۲۱-۱): دستگاه ترانسفورمر نوری

دستگاه ترانسفورمر نوری، مطابق شکل ۲۱-۱ از دو بخش تشکیل شده است. یک بخش در داخل محوطه پست (سوئیچگیر) و بخش دوم بعنوان مدار واسط قدرت دیجیتال به آنالوگ D/A در داخل اتاق فرمان نصب و ارتباط این دو دستگاه بوسیله کابل فیبر نوری بطول ۵۰۰ متر الی ۲۰۰۰ متر برقرار می شود.

قسمت اول دستگاه شامل یک محفظه فوقانی است که سنسور فارادی در داخل آن نصب شده است. همچنین اتصال مناسب جهت عبور جریان شبکه، که قابلیت تحمل جریانهای اتصال کوتاه را نیز داشته باشد، در آن تعبیه شده است. یکی از محل های اتصال هادی، با بدنه هم پتانسیل است و نقطه دیگر از بدنه عایق شده تا عبور جریان تنها از مسیر میله مرکزی میسر باشد و کل قطعات فلزی محفظه فوقانی با یکدیگر هم پتانسیل باشند. تغذیه نوری از مدار واسط A/D در جعبه تحتانی دستگاه بوسیله یک رشته فیبر نوری به کریستال ارسال و علائم مدوله شده از آن بوسیله یک رشته فیبر نوری دیگر دریافت می شود. برای منبع نور باید از لیزرهای کم قدرت یا LED های پر قدرت استفاده شود که این امر بستگی به حساسیت مدار آشکار ساز دارد. مدار واسط علائم را دریافت و بصورت علائم دیجیتالی مدوله می کند و بوسیله

فیبر نوری به اتاق فرمان پست ارسال می نماید. تغذیه مدار با توجه به اینکه در داخل محوطه سوئیچگیر نصب می شود، از خروجی یک PT یا باتری خانه دریافت می شود.



شکل (۲۲-۱): ارتباط ترانسفورمر نوری با اتاق کنترل

یک شیر گاز سوزنی جهت تخلیه هوای درون مقره و تزریق هوای خشک یا گاز خشک ازت در نظر گرفته شده است. این امر برای جلوگیری از شکست عایقی روی سطح فیبرهای نوری و فضای داخلی مقره در اثر تغییرات شرایط آب و هوایی ضرورت دارد.

همانطور که ذکر شد با توجه به اینکه طول مسیر ارتباطی محوطه و اتاق فرمان در حدود ۵۰۰ الی ۲۰۰۰ متر است و با توجه به موقعیت هر ترانسفورماتور در محوطه، طول های مختلف فیبر نوری، ایجاد افت نوری متفاوتی می نماید، لذا کلیه ترانسفورماتورهای نوری در پای هر دستگاه سیگنال مشابهی را جهت اتاق فرمان ارسال می نمایند که با توجه به مدولاسیون بکارگرفته شده نسبت به مسیر انتقال فیبر نوری و طول مصون هستند. و بنابراین در اتاق فرمان سیگنالهای استاندارد دریافت می شود که بستگی به عوامل اختلال آمیز مذکور ندارد. تغذیه مدار مبدل دوم نیز از باتری اتاق فرمان تامین می شود.

مطابق با شکل ۲۲-۱، در محفظه فوقانی، یک هادی قدرت نصب شده است که برای عبور جریان نامی تا ۲۰۰۰ آمپر مناسب است. جریان اتصال کوتاه و آستانه ذوب آن که بستگی به شرایط شبکه و شکل موج جریان دارد، متغیر بوده و ماکزیمم آن در بدترین شرایط به شرح زیر است.

جریان نامی	۲۵۰ آمپر
حداکثر جریان نامی دائمی	۲ کیلوآمپر
جریان تحمل حرارتی	۴ کیلوآمپر
جریان قابل تحمل حرارتی بمدت یک ثانیه	۸۰ کیلوآمپر
جریان تخلیه ضربه ای (Impulse)	۸۰ کیلوآمپر

محفظه فوقانی روی پتانسیل خط فشار قوی (در این نمونه ۶۳ کیلوولت) قرار داده می شود.

۱-۴-۵-۵- الزامات عملکرد OCT ها (مبدل‌های نوری جریان) [۳۷]

۱-۴-۵-۵-۱- استانداردها :

برای تعیین الزامات عملکرد ترانسفورماتورهای جریان معمولی یا CT ها معیارهای مشخصی تدوین گردیده و موجود می باشند. بسیاری از این الزامات در قالب استانداردهای معتبر مانند ANSI/IEEE C57.13-1978 و IEC185.1987 مورد توجه قرار گرفته اند. این الزامات بیانگر تطبیق مشخصات CT با شرایط کاربرد می باشند. متأسفانه نمیتوان از استانداردهای CT برای OCT استفاده نمود. از جمله مشخصات اساسی عملکرد یک OCT میتوان پاسخ فرکانسی، نسبت سیگنال به نویز، اعوجاجات هارمونیک، پایداری و رنج دینامیکی را نام برد. البته فعالیتهایی در جهت ایجاد استانداردهای مبدل های نوری جریان در کمیته های فنی IEEE آغاز شده است ولی تا پیش از تدوین استانداردهای مربوطه، مشخصات OCT بر اساس نیازهای موجود و بصورت توافقی میان سازنده و کاربر تعیین می شوند.

۱-۴-۵-۵-۲- مدارات واسطه:

در بیشتر کاربردها جریان خروجی در CT معمولی یکی از مقادیر ۱ یا ۵ آمپر می باشد. مقدار این جریان حدود یک سده قبل و بر اساس ملاحظات همچون پایداری در برابر نویز و نیز داشتن انرژی کافی برای تحریک رله های الکترومغناطیسی انتخاب شده است از آنجا که در برخی از OCT ها از ادوات الکترونیکی فعال استفاده میشود، وجود چنین جریان بزرگی سبب ازدیاد مصرف سیستم DC و باتری های پست خواهد بود از سوی دیگر وجود چنین جریان بزرگی در خروجی OCT قابل توجهی نمی باشد، چرا که این ادوات به علت داشتن ماهیت نوری در برابر نویز و اغتشاشات پایدار می باشند. همچنین برای تحریک وسایل جدید سنجش کمیات و رله های پیشرفته نیاز به انرژی زیادی نمی باشد. بنابراین مقدار جریان یا ولتاژ در خروجی OCT ها چند میلی آمپر یا ولت خواهد بود. انتخاب OCT با

خروجی جریانی یا ولتاژی بصورت استاندارد پذیرفته شده نیست و هر مصرف کننده ای می تواند OCT مورد نیاز خود را با مشخصات خروجی مطلوب تهیه نماید. به علاوه برای تبدیل خروجی OCT، که یک سیگنال نوری با توان نمونه ای چند میکرو وات می باشد، به کمیت اصلی که معرف جریان های فشار قوی باشد، نیاز به وجود مدارات واسطه ای است این مدارات واسطه در هر مدل OCT بنا بر شرایط طراحی و ساخته می شوند.

۱-۴-۵-۳- کالیبراسیون:

بر اساس استاندارد IEC185:1987، در سختگیرانه ترین شرایط کلاس دقت یک CT برای حداکثر خطای نسبت تبدیل برابر 0.1% می باشد با فرض وجود شرایط مشابه برای OCT و نیز با فرض آنکه وسیله کالیبره کننده باید دست کم 10 برابر بیش از وسیله کالیبره شونده دقت داشته باشد، برای انجام عمل کالیبراسیون نیاز به وسایلی با دقت $0.1/0$ یا 100 ppm خواهد بود. با این شرایط میتوان از وسایلی که برای کالیبراسیون CT استفاده می شوند، برای کالیبره نمودن OCT نیز استفاده نمود. در این شرایط باید با استفاده از یک تقویت کننده، سیگنال خروجی OCT را به میزان جریان CT تقویت نمود تا امکان کالیبراسیون وجود داشته باشد. روش های دیگری نیز برای کالیبراسیون OCT با جریان خروجی اندک (در حد میلی آمپر) وجود دارد هنگام کالیبراسیون OCT باید مشخصات آن مانند پاسخ فرکانسی، رنج دینامیکی و پایداری نیز مورد نظر قرار گیرند.

یکی از ویژگی های OCT آن است که این وسیله از قسمت های مختلفی ساخته می شود. بنابراین بر عکس CT های معمولی با بروز خطا در OCT ها، تنها قسمت معیوب تعویض می شوند و نیازی به جایگزین نمودن کل سیستم اندازه گیری نمی باشد. با در نظر گرفتن این شرایط، وجود روش های کالیبراسیون OCT که در محل تاسیسات فشار قوی قابل اجرا باشند، بسیار مفید خواهد بود.



بخش پنجم

اصول رله های میکروپروسسوری و تفاوت آنها در ورودی

شمای حفاظت مقدماتی با استفاده از ریزپردازنده

حذف نویز ورودیهای دیجیتالی

فیلترینگ

ایزولاسیون ورودی های آنالوگ

دقت اندازه گیری

قابلیت ثبت و تحمل ولتاژ و جریان

رله های اضافه جریان معکوس زمانی





مقدمه:

با توجه به گسترده تر و پیچیده تر شدن شبکه های قدرت و استفاده از عناصر جدیدتر در آنها تقاضای روزافزون برای استفاده از وسایل حفاظتی هر چه دقیقتر، سریعتر و قابل اطمینان تر در شبکه های قدرت ایجاد گشته است. رله های میکروپروسسوری در مقایسه با نسل های قبلی رله ها دارای مزایای قابل توجهی می باشند. از جمله این مزایا میتوان به قابلیت مهم چک کردن قسمتهای مختلف سیستم حفاظتی توسط خود رله کرد. با توجه به قابلیت برنامه ریزی رله های میکروپروسسوری این رله ها بطور قابل ملاحظه ای از قابلیت انعطاف پذیری برخوردار می باشند. با در نظر گرفتن اینکه در پست ها و نیروگاهها تکنولوژی دیجیتال مبنای مهمی برای طراحی و کاربرد سیستم های گوناگون گشته است، رله های میکروپروسسوری در چنین محیطی راحت تر قابل انطباق با مابقی سیستم می باشند. رله های میکروپروسسوری علاوه بر عملکرد حفاظتی خود قابلیت انجام وظایف جنبی را نیز دارا می باشند. از جمله مزایای دیگر این رله ها میتوان به قیمت، و عملکرد آنها اشاره کرد، در حال حاضر استفاده از رله های میکروپروسسوری به حدی متداول گشته است که بسیاری از کمپانیهای مهم سازنده رله های شبکه های قدرت تولید رله های نسل های قبلی را به حداقل رسانده و یا متوقف کرده اند. این شماهای ریزپردازنده، انعطاف پذیری و بهم چسبیده بودن اجزا را به نحو خوبی عرضه میکنند. آنها تعداد انواع رله های تکی را کاهش میدهند. با بکارگیری یک سیستم واسطه چند برابر کننده آنالوگ، مبدل A/D، تقویت کننده ها، مقایسه کننده های ولتاژ و عناصر فعال توسعه داده شده اند تا مشخصه های انواع مختلف رله ها، از

قبیل رله های محدود زمانی، رله های اضافه جریان معکوس زمانی، مقایسه کننده های فاز و رله های برگشت توان و غیره را بوجود بیاورند.

مزایای رله های نوع ریز پردازنده (میکروپروسسوری) عبارتند از:

- ۱- بار حرارتی کم بر روی ترانس دیوسر^(۱): رله های نوع ریزپردازنده دارای یک بار مقاومتی بسیار کم بر روی ترانسفورماتورهای جریان و ترانسفورماتورهای ولتاژ می باشند. با استفاده از ترانسفورماتورهای جریان با فاصله هوایی که دارای یک خروجی محدود شده است میتوان از اشباع آن جلوگیری کرد.
- ۲- استاندارد کردن: با رله های الکترومغناطیسی یا نوع استاتیک (الکترونیکی) معمولی، تغییر در طرح رله، برای هر کاربرد خاصی ضروری است اما سیستم های نوع ریزپردازنده که دارای واحدهای فرعی هستند میتوانند با خصوصیات سخت افزار استاندارد و خصوصیات ویژه ای تنها با اصلاح برنامه ایجاد شوند. این کار باعث ساده سازی در تولید، تست و نگهداری میشود.

۳- توانایی خود بررسی کردن: رله های معمولی اساساً برای تقریباً تمام مدت کارشان بیکار هستند. اتصال آنها برای

چند ثانیه از بیست تا سی سال خدمات رسانی ممکن است خود را نشان دهند. آزمایش و تعمیر و نگهداری دوره ای برای بررسی توانایی آنها برای انجام کار در صورت نیاز، ضروری است. آزمایش در خلال مدت زمان های عدم وجود اتصال میتواند بر اساس رله های نوع ریزپردازنده / رقمی انجام بشود. رله های ریزپردازنده برای کمک به مهندسين ایمن تر و مطمئن تر هستند. زیرا قبل از اینکه یک قطع کاذب یا یک عیب در مکانیزم قطع رخ بدهد مسئولین را از یک عملکرد غلط رله آگاه میکنند.

۴- انعطاف پذیری: تغییر ترکیب عملکردهای و/ یا مربوط به منطق حفاظت نیاز زیادی به جایگزینی سخت افزار ندارد.

۵- توانایی تطبیق مناسب.

۶- مسائل اندازه گیری میتواند بصورت معاملات ریاضی بیان شده و بطور مستقیم اجرا شود.

۷- انجام وظایف جانبی: مونیتورینگ، ثبات خطا، مخابرات اطلاعات به راه دور

۸- حذف وسایل پیرامونی مورد نیاز رله، کاهش فضای مورد نیاز در پانل حفاظت و نیز باتری خانه

معایب و یا الزامات رله های میکروپروسسوری:

۱- استفاده از زبان اسمبلی، یعنی زبان سطح ماشین (پایین)، یکی از مشکلات این رله ها است.

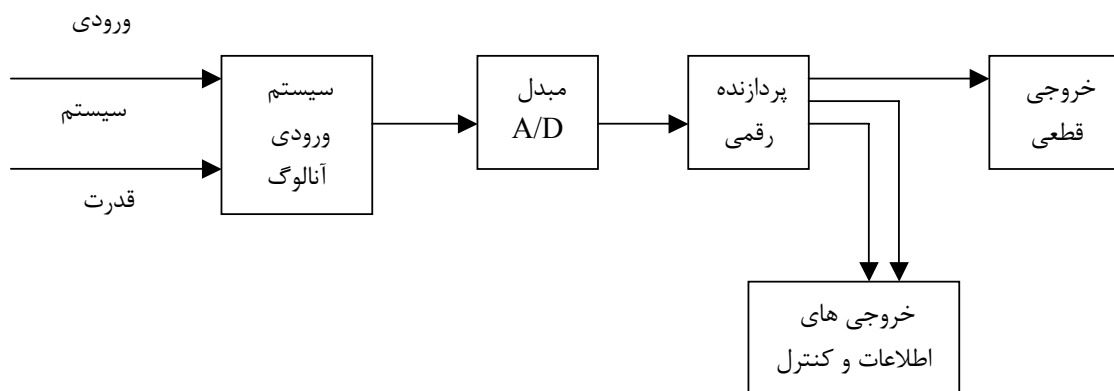
۲- نیاز به نیروی انسانی ماهر دارد.

۳- بعلت سرعت پیشرفت میکروپروسورها- تامین قطعات یدکی این نوع رله های خریداری شده مشکل است.

۴- تا حدی قابلیت اطمینان آنها نسبت به نسلهای رله های قدیمی تر، پایین تر است.

۱-۵-۱- شمای حفاظت مقدماتی با استفاده از ریزپردازنده

ترانسفورماتورهای جریان و ترانسفورماتورهای ولتاژ نوع خازنی از طریق سیستم قدرت مقادیر جریان متناوب سه فاز را تغذیه میکنند. مقادیر ورودی بطور همزمان یا بطور متوالی بر حسب فواصل زمانی یکنواخت (۴ تا ۳۲ نمونه در هر سیکل) نمونه گیری میشوند. سپس این مقادیر از طریق یک مبدل A/D بشکل رقمی تبدیل شده و به عمل کننده رقمی منتقل میشوند. این عمل کننده رقمی، اطلاعات را پردازش نموده و بر اساس نمونه هایی برای ارسال فرمان قطع در حالتی که یک اتصالی بر روی خط حفاظت شده وجود داشته باشد، تصمیم می گیرد. شکل (۱-۲۳) شمای این حفاظت را نشان میدهد.



شکل (۱-۲۳): شمای حفاظت اصلی با استفاده از ریز کامپیوتر

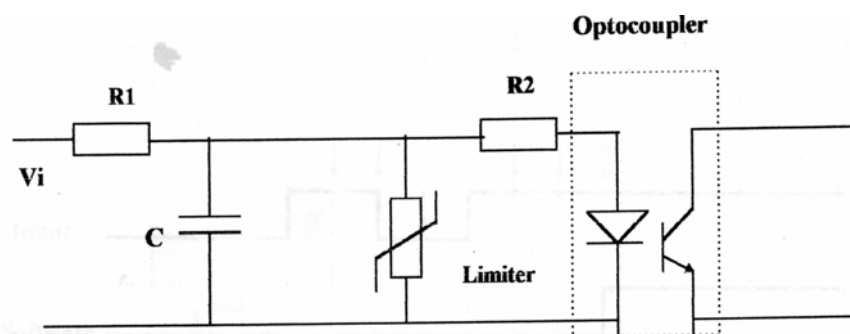
واحد فرعی اندازه گیری کامپیوتری: وظیفه اصلی واحد فرعی اخذ اطلاعات، تأیید اطلاعات، تبدیل به شکل رقمی و ذخیره سازی آنها می باشد. ولتاژ و جریان غیر رقمی سه فاز توسط ترانس دیوسرهای سیستم قدرت، از قبیل

ترانسفورماتورهای جریان، ترانسفورماتورهای ولتاژ و حالت های کلید قدرت یا جداکننده ها (روشن یا خاموش) به شکل رقمی، به واحد فرعی اندازه گیری داده میشوند. این اطلاعات توسط وسایل بصری از سیستم قدرت گرفته میشوند. سپس علایم تقویت شده و به مدار نمونه و نگهداری و سپس به چند برابر کننده ها و مبدل های A/D ارسال میشوند. سرعتی که در آن اطلاعات سیستم نمونه برداری می شوند بایستی ثابت بوده و دارای یک رابطه ثابت شده با فرکانس سیستم قدرت باشد. در شکل (۱-۲۳) بلوک سیستم ورودی آنالوگ، شامل حذف نویز ورودیهای دیجیتالی، فیلترینگ، ایزولاسیون و ورودی های آنالوگ، و برخی وظایف دیگر می باشد، که در ادامه بشرح این بخشها پرداخته می شود:

۱-۵-۲- حذف نویز ورودیهای دیجیتالی

نویزهای ورودیهای دیجیتالی ناشی از ولتاژهای ناخواسته روی سر مشترک سیگنالها و زمین پست نیروگاه و یا به علت لرزش کلیدها در لحظات قطع و وصل می باشد.

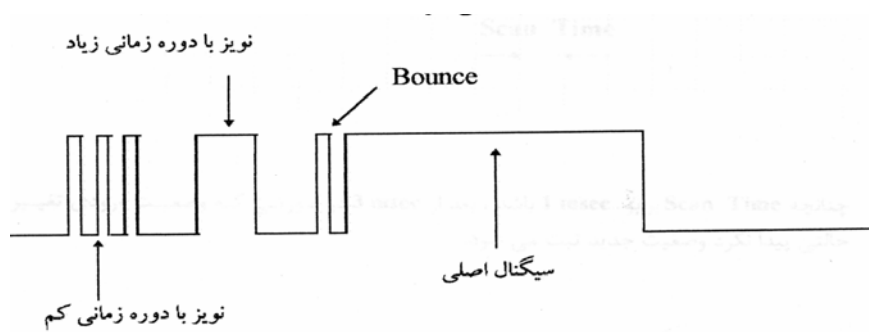
استفاده از ایزولاتورهای نوری روی تمام ورودیهای دیجیتالی علاوه بر بالا بردن ضریب اطمینان سیستم و جلوگیری از بروز اختلال و خرابی در آن تا حد زیادی، نویز ناشی از زمین مشترک را حذف می کند. علاوه بر این یک limiter روی هر ورودی، مانع پرش شدید ولتاژ در ورودیها می شود. میزان ایزولاسیون optocoupler برابر 2.5kv است.



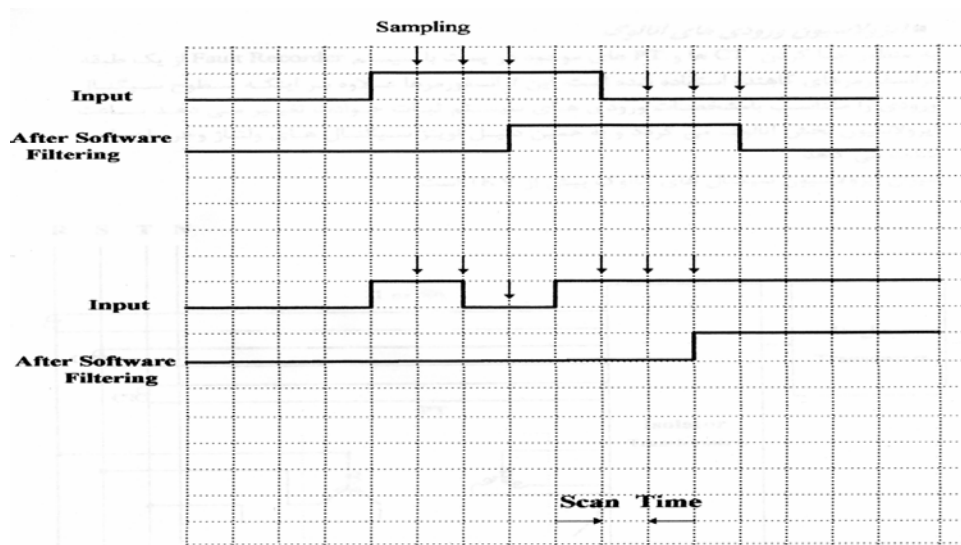
شکل (۱-۲۴): مدار حذف نویز ورودیهای دیجیتالی

۱-۵-۳- فیلترینگ

فیلترینگ به دو صورت سخت افزاری و نرم افزاری انجام می شود. وجود یک خازن در ورودی با ثابت زمانی مناسب، باعث حذف نویزهایی که دوره زمانی کمی دارند می شود. برای حذف نویز با دوره زمانی زیاد از فیلتر نرم افزاری استفاده می شود.



شکل (۲۵-۱): شکل موجی

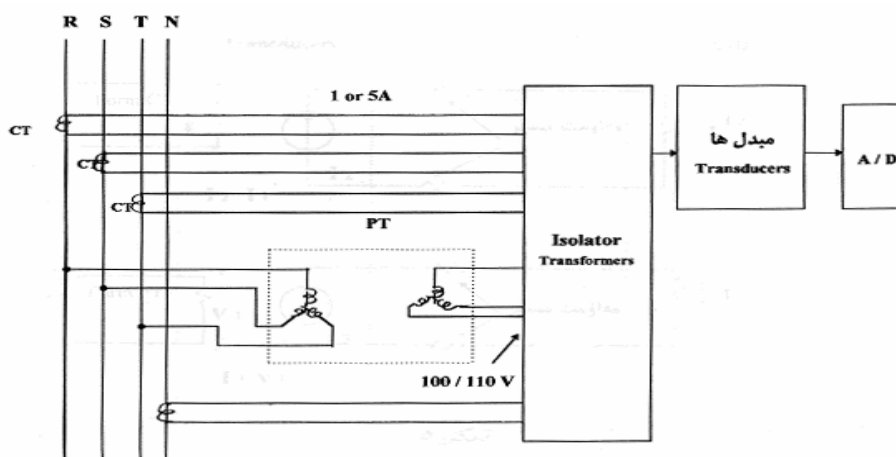


شکل (۲۶-۱): فیلترینگ

۱-۵-۴- ایزولاسیون ورودی های آنالوگ

به منظور جدا کردن CT ها و PC های موجود در واحد نیروگاهی با سیستم حفاظتی ، از یک طبقه ترانسفورمرهای کاهنده استفاده شده است . این ترانسفورمرها علاوه بر اینکه سطوح سیگنال ورودی را متناسب با مشخصات ورودیهای سیستم حفاظتی تغییر می دهد ، باعث ایزولاسیون بخش آنالوگ می گردد و به همین دلیل نویز سیگنالهای ولتاژ و جریان را به شدت می کاهد. میزان ایزولاسیون سیگنالهای آنالوگ بیش از 1kv است.





شکل (۱-۲۷): ایزولاسیون ورودیهای آنالوگ

مبدلها عمل signal conditioning را انجام داده و سیگنال مناسب برای A/D را آماده می کنند.

هم سیگنال خروجی PT ها و هم سیگنال خروجی CT ها در مبدل به سیگنال 0-20mA تبدیل می شوند و سپس به A/D ارسال می گردند.

۱-۵-۵- دقت اندازه گیری

بخاطر استفاده از مبدل A/D ۱۲ بیتی ، خطای قسمت A/D حداکثر $\frac{1}{12}$ است که با احتساب سایر خطاها مانند

نویز، خطای کالیبراسیون، تغییر پارامترهای مدار در اثر تغییر درجه حرارت محیط، دقت سیستم در اندازه گیری دامنه سیگنالهای ورودی در بدترین شرایط ۰/۲٪ است.

۱-۵-۶- قابلیت ثبت و تحمل ولتاژ و جریان:

سیستم بایستی به گونه ای طراحی شده باشد که در لحظه Fault که پرشهای شدید در دامنه جریان یا ولتاژ بوجود می آید، طبقات ورودی به اشباع نروند. در ضمن برای اطمینان از عدم خرابی دستگاه در زمان تغییرات شدید دامنه سیگنالهای ورودی ، تستهایی مانند تحمل ورودیهای با دامنه بیش از مقدار نامی به صورت پیوسته وجود دارد.

برای توضیح بیشتر یک مثال از رله های میکروپروسسوری - مشخصه رله جریان زیاد(معکوس زمانی) و نمودار سیستم واسط آن در ادامه آورده میشود :

۱-۵-۷- رله های اضافه جریان معکوس زمانی

$$t = \frac{KM}{I^n - 1}$$

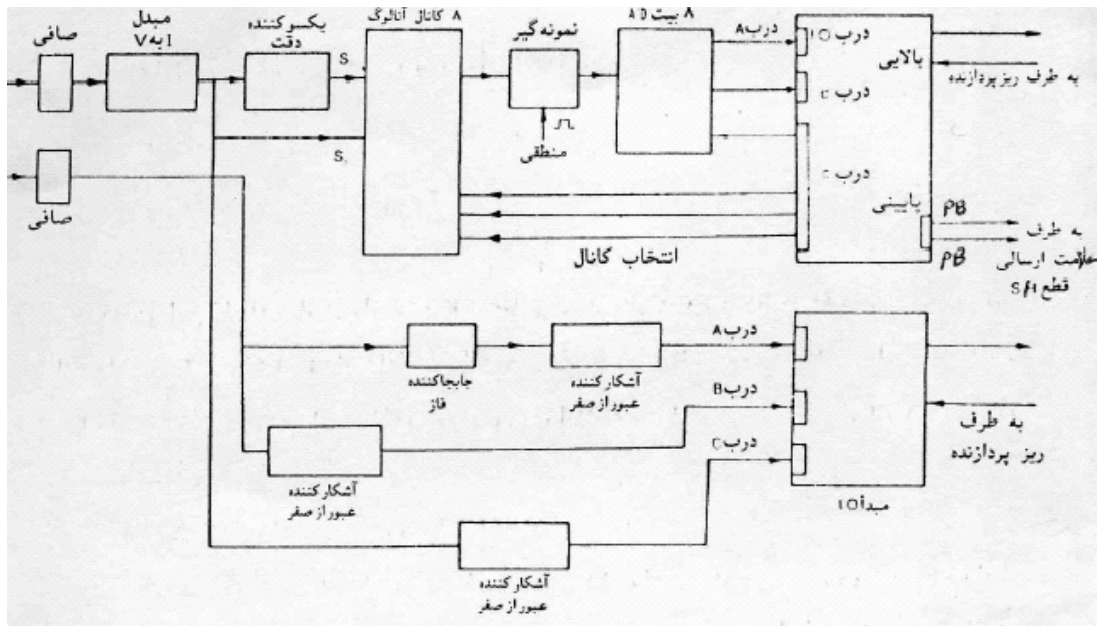
مشخصه های جریانی زمانی یک رله اضافه جریان بدین صورت تعیین میشود:

که در این رابطه، ثابت طرح= k ، تنظیم چند برابر کننده زمان= M ، مضرب جریان انشعاب= I می باشد. زمان های عملکرد مقادیر مختلف جریان های محاسبه شده و جدول بندی می شوند. این مقادیر بصورت اطلاعات از پیش تعیین شده در حافظه ذخیره می شوند.

شکل ۲۸-۱ نمودار سیستم واسطه را نشان میدهد.

جریان پس از عبور از داخل صافی، به مبدل ولتاژ داده میشود، که یک ولتاژ خروجی متناسب با جریان بار ایجاد کند. این کار لازم است به علت اینکه ریزپردازنده میتواند علامت ها را فقط به شکل ولتاژ دریافت کند. ولتاژی که با علامت جریان متناسب است، توسط یک یکسو کننده دقیق به یک ولتاژ مستقیم تبدیل میشود. خروجی یکسو کننده به چند برابر کننده داده شده و ریز کامپیوتر فرمانی را ارسال میکند تا برای به دست آوردن جریان یکسو شده، کانال ۷ را روشن نماید جریان یکسو کننده به مبدل آنالوگ/رقمی (مبدل A/D) تغذیه شده -سپس ریز کامپیوتر برای شروع این تبدیل، علامتی را به مبدل A/D ارسال میکند. این مبدل برای اینکه علامت غیررقمی را به یک علامت رقمی تبدیل کند از یک روش تخمینی متوالی استفاده میکند. ریز کامپیوتر کامل بودن این تبدیل را امتحان میکند. به محض اینکه تبدیل به پایان رسید، مبدل A/D علامتی را به ریز کامپیوتر ارسال می نماید. پس از دریافت آخرین علامت تبدیل، ریز کامپیوتر علامت جریان را به شکل رقمی خوانده و بیشتر بودن آن از مقدار راه اندازی را آزمایش میکند. اگر جریان اندازه گیری شده از مقدار شروع تجاوز کرد ریز کامپیوتر آن را با مقادیر مشخص جریان که به یک شکل جدول گونه برای معلوم کردن مقدار آن در حافظه ذخیره شده، مقایسه میکند. اگر جریان اندازه گیری شده از این مقدار تجاوز کرد، ریز پردازنده علامت قطع را ارسال میکند.

رله جریانی زمانی نوع ریزپردازنده، به هم چسبیده و انعطاف پذیر است. هر یک از مشخصه های مطلوب رله، از قبیل IDMT خیلی معکوس یا بی نهایت معکوس، میتواند با استفاده از اطلاعات از پیش تعیین شده مورد نیاز برای این



شکل (۲۸-۱) نمودار سیستم واسط (میانی)

مشخصه های خاص بدست آید. مشخصه ها به شکل $t = k/I^n$ به آسانی میتوانند از هر مقدار n بطور دلخواه حاصل شوند. این شکل بر روی نمودار $\log t / \log i$ یک خط راست را به معرض نمایش می گذارند. این نوع منحنی های جریانی-زمانی ساده شده، زمان را برای محاسبه تنظیم های رله نگه میدارد. فیوزها ($n=3$) مشخصه های جریانی زمانی بسیار شیب داری دارند و عموماً برای حفاظت بارها مورد استفاده هستند. برای هماهنگی با فیوزها، این مشخصه های جریانی رله های نزدیک بار همچنین بایستی دارای مشخصه های شیب دار باشند. رله های الکترومغناطیسی چنین مشخصه هایی ندارند، ولی رله های نوع استاتیک (الکترونیکی) اگرچه انعطاف پذیر نیستند میتوانند چنین مشخصه هایی را بدهند. شمای یک رله نوع ریزپردازنده نسبت به هر دو رله، یعنی رله های نوع استاتیک و الکترومغناطیسی برتری دارد.

۱-۶- قابلیت اطمینان سیستم حفاظتی

در مسائل مهندسی همواره مهمترین گام، انتخاب بهترین طرح از میان پیشنهادهای مختلف می باشد برای این منظور لازم است در ابتدا ویژگیهای هر روش را در تامین هدف نهایی بازشناخته، سپس با کمی سازی این قابلیتها و مقایسه آن با پارامترهای اقتصادی به یک جمعبندی کلی دست یافت. گام های ارزیابی طرحهای پیشنهادی حفاظتی در رویه مهندس مشاور، این روش بترتیب عبارتند از:

الف) بررسی تنوع خطاهای ممکن

ب) احتمال وقوع هر خطا

ج) تشخیص زمان بحرانی برای وارد شدن صدمات جدی به ازای خطاهای مختلف (مثلاً پاره شدن تانک ترانس)

د) ارائه راه حل‌های مختلف

ه) بررسی احتمال موفقیت هر راه حل در محدود نمودن خطا

و) برآورد هزینه های ناشی از هر خطا و اثرات آن بر قابلیت دسترسی

ز) برآورد میزان تاثیرگذاری هر طرح بر میزان قابلیت دسترسی و کاهش هزینه های ناشی از خطا

ح) برآورد هزینه طول عمر هر طرح با در نظر گرفتن کلیه هزینه ها (شامل هزینه های ناشی از خطا و هزینه های مربوط

به عدم دسترسی)

ط) در صورت لزوم مقایسه میان هزینه طول عمر هر طرح و نهایتاً انتخاب طرح یا طرح‌های بهینه

برای وضوح بیشتر روش فوق الذکر، در ادامه، به بررسی طرح‌های مختلف پیشنهادی جهت بهبود سیستم مورد مطالعه،

در قالب نظام فوق خواهیم پرداخت. اما پیش از آن لازم است، توضیح مختصری پیرامون خطاهای جریانی در اتصال واحد

ژنراتور، ترانسفورماتور ارائه شود.

مطالعات انجام شده نشان میدهد که حساسیت اجزاء سیستم نیروگاه در مقابل خطاهای جریانی به ترتیب ذیل می باشد:

۱- تانک ترانسفورماتور اصلی، کمکی و بوشینگ

۲- ژنراتور

۳- باس داکت

منظور از حساسیت در اینجا، احتمال آسیب پذیری تجهیز در مقابل جریان خطا در یک زمان مشخص است. بعنوان

مثال یک ترانس ۴۰۰ مگاوات آمپری در یک شرایط مشخص به ازای یک اتصال کوتاه کامل در داخل تانک ترانس بیش

از حدود ۱۲۰ تا ۱۸۰ میلی ثانیه قادر به مقاومت نخواهد بود و جداره ترانس پاره خواهد شد. این زمان در مورد

بوشینگ در حدود ۱۶۰ میلی ثانیه و در خصوص ژنراتور و باس داکت بسیار بیشتر (در حدود چند ثانیه) می باشد.

بوشینگ یکی از فازهای ترانس اصلی یک واحد بخار از نیروگاه سیکل ترکیبی منتظر قائم منفجر گردید (در اردیبهشت

ماه ۱۳۸۰) این انفجار منجر به خروج اجباری واحد به مدت چندین روز شد. ادامه مطالب پیرامون محاسبات قابلیت

اطمینان سیستم حفاظتی در این رابطه است:

بر مبنای بررسیهای انجام شده، میتوان طبقه بندی زیر را بر حسب محل وقوع خطا انجام داد:

الف) قوس الکتریکی مابین ابتدای سیم پیچ فشار قوی و زمین (احتمال وقوع ۰.۱٪)

ب) قوس الکتریکی مابین ابتدای سیم پیچ فشار ضعیف و زمین (احتمال ۰.۵٪)

ج) قوس الکتریکی روی بوشینگ که منجر به افزایش فشار تانک شود (۰.۱۵٪)

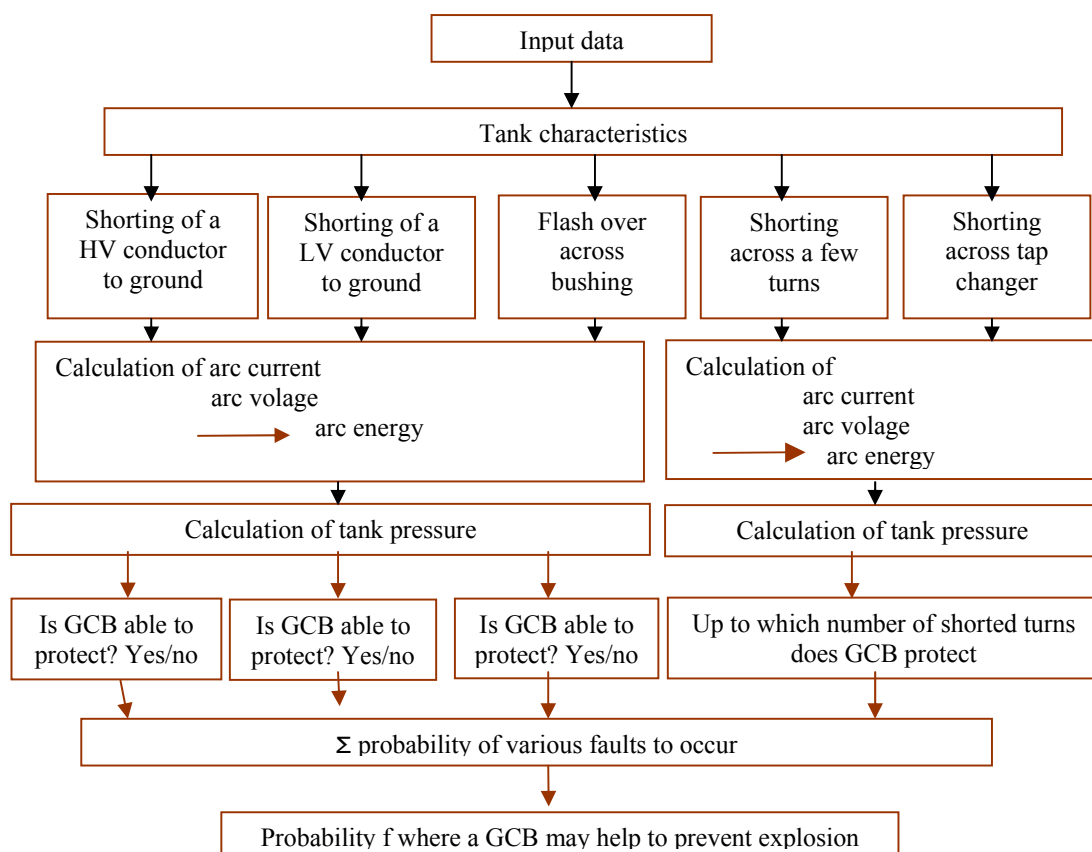
د) قوس الکتریکی روی بوشینگ که منجر به انفجار بوشینگ شود (۱۵٪).

ه) قوس الکتریکی بین حلقه های سیم پیچی (۱۵٪).

و) قوس الکتریکی بین حلقه های سیم پیچی و بدنه تانک (۱۵٪).

ز) اتصال کوتاه در tap changer

عدد درج شده مقابل هر واقعه معرف احتمال وقوع آن است که طی بررسی ۲۵ خطای اتفاق افتاده در نیروگاه سیکل ترکیبی منتظر قائم بدست آمده است. میزان تحمل تانک بر مبنای جریان قوس الکتریکی و زمان برقراری آن یا به عبارت بهتر انرژی آن قابل بررسی است. میزان انرژی نیز مستقیماً به میزان افزایش فشار تانک اثر می گذارد. برای انجام این محاسبات ابتدا لازم است احتمال اینکه کلید ژنراتور بتواند خطاهای مختلف را بدون آسیب جدی حذف نماید بدست آوریم. برای این منظور از روش نمودار درختی وقوع خطا استفاده می کنیم. این نمودار تقسیم بندی از کلیه خطاها با احتمالات مختلف را نشان میدهد (شکل ۲۹-۱) بعنوان مثال بررسی موردی انجام شده در خصوص ترانس نیروگاه منتظر قائم (کرج) نشان میدهد که کلید ژنراتور با احتمال ۷۳٪ خواهد توانست مانع از پاره شدن جداره تانک ترانسفورمر گردد.



شکل (۲۹-۱): نمودار درختی وقوع خطا و محاسبه قابلیت اطمینان

بر حسب نوع خطا و شدت آن و آسیبی که به مجموعه واحد نیروگاهی وارد می نماید همچنین ضرورت برقرار بودن بخشی از زیر مجموعه نیروگاه که بتوان از این راه در اسرع وقت واحد سالم (و یا سالم شده) را در مدار آورد می بایست منطقی برای تریپ دادن هر رله معین نمود.

توصیه میشود که دو رله تریپ دهنده جهت مدارهای حفاظتی در نظر گرفته شود بصورتیکه فرمان تریپ برای رله های اصلی جدا از فرمان تریپ رله های پشتیبان باشد.



فصل دوم

رله های دیفرانسیلی (تفاضلی)

انواع سیستمهای حفاظت تفاضلی

روشهای انتقال اطلاعات در حفاظت دیفرانسیلی (تفاضلی)

طرحهای رله دیفرانسیلی برای :

ژنراتور

موتور

ترانسفورماتور

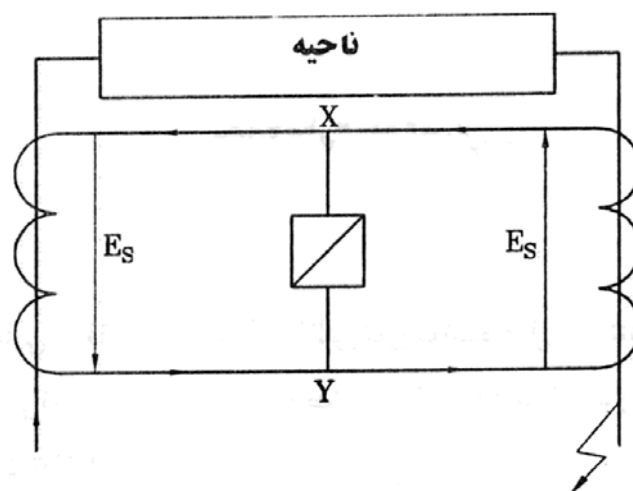
خطوط داخل نیروگاه (شینه ها)



مقدمه:

حفاظت تفاضلی (دیفرانسیلی) از نوع حفاظت انتخاب کننده مطلق می باشد. اساس کار این نوع حفاظت بر مبنای اندازه گیری دامنه و زاویه جریانهای دو طرف ناحیه حفاظت شده می باشد حفاظت تفاضلی بیشتر در مورد ترانسفورماتورها و ژنراتورها به کار برده می شود. در این حفاظت معمولا دو سری ترانسفورماتور جریان داریم که دروازه های ورودی و خروجی به آن ناحیه حفاظتی هستند. جریان ورودی به ناحیه حفاظت شده باید با جریان خروجی از ناحیه ، در شرایط ایده آل سالم، برابر باشد. وقتی روی سیستم (ناحیه حفاظتی) خطا بوجود می آید، دیگر این دو جریان مساوی نیستند. پس این رله بر اساس اختلاف جریان بین ورودی و خروجی ، و در نتیجه عبور جریان از مدار رله، عمل می کند.

در صورت وجود فاصله زیاد مابین CT ها در این نوع سیستم، به کانال ارتباطی بین دو دروازه احتیاج داریم. در اینجا خود سیگنال جریان یا ولتاژ در کانال ارتباطی سیستم (پایلوت) برقرار می شود.



شکل (۲-۱): مدار تفاضلی

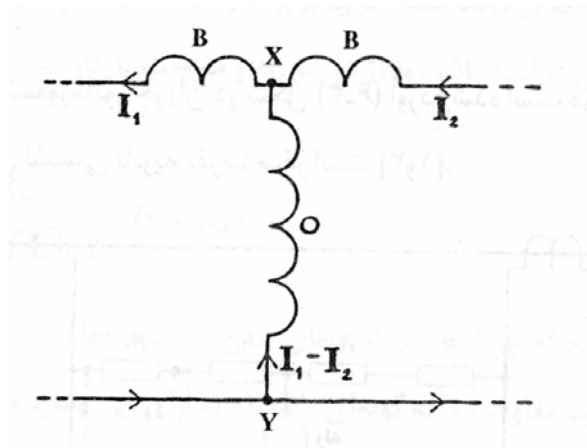
۱-۲- انواع سیستمهای حفاظت تفاضلی:

دو نوع سیستم حفاظت تفاضلی وجود دارد:

- ۱- سیستم جریان گردشی که در مورد المانهای با طول کوتاه در سیستم قدرت به کار برده می شود. مانند ژنراتورها، ترانسفورماتورها و شینه ها که فاصله بین دروازه ورودی و خروجی در آنها طولانی نیست.
- ۲- ولتاژ متقارن (balanced outage) که برای نواحی حفاظتی طولانی مثل خط توزیع بکار برده می شود.

۲-۱-۱- سیستمهای حفاظت جریان گردش:

شمای کلی حفاظت جریان گردش به صورت شکل ۲-۲ می باشد



شکل (۲-۲): شمای حفاظت جریان گردش

جریان I توسط ترانسفورماتور CT منتقل می شود. اگر ناحیه حفاظتی، شینه باشد نسبت تبدیل CT با هم برابر است. ولی اگر ناحیه حفاظتی ترانسفورماتور باشد نسبت تبدیل ممکن است یکسان نباشد در هر دو حالت سیستم به گونه ای است که به ازای جریان بار یا خطا در خارج از ناحیه حفاظتی، جریانهای I_1, I_2 با هم برابرند. اگر I_1, I_2 برابر باشند، ولتاژ دو سر (V_{xg}) صفر خواهد بود و بنابراین جریانی از آن نمی گذرد.

از آن جهت که به طور طبیعی CT ها کاملاً با هم مشابه نیستند، ممکن است برای بدترین خطای خارج از ناحیه حفاظتی مسئله اشباع آنها پیش بیاید. اگر یکی از CT ها به اشباع برود، جریان آن کاهش می یابد. یعنی در حالت سالم بودن هر دو C.T، جریانهای ثانویه با هم برابر هستند لیکن در حالتی که یکی از C.T ها به اشباع رفته است و C.T دیگری نسبت تبدیل خود را حفظ نموده، $I_1 \neq I_2$ خواهد بود و چنانچه جریان عبوری از رله، از تنظیم آن بیشتر باشد، رله عمل می کند. در حالیکه رله نبایستی برای چنین حالتی عمل کند. لذا مشخصات رله باید بگونه ای باشد که رله عمل نکند و پایدار بماند.

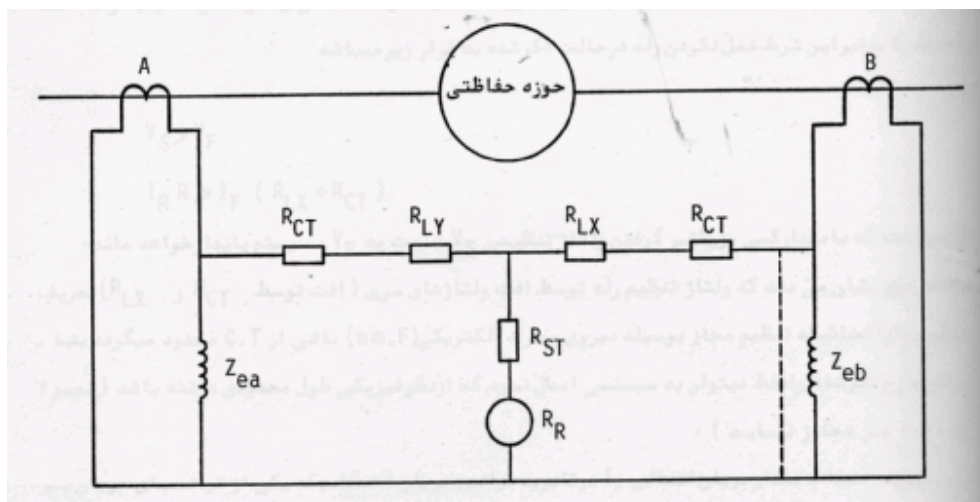
برای حل مشکل فوق الذکر پایدار سازی رله تفاضلی، دو روش زیر به کار برده می شود:

- استفاده از رله های امپدانس بالا و مقاومت پایدارساز (با تنظیم جریان کم)
- رله های بایاس

روش امپدانس بالا

عملکرد رله با امپدانس بالا بستگی به ولتاژ تنظیم شده بر روی آن دارد و فقط با جریان بسیار کمی رله عمل می نماید. (مانند رله ولتاژی) در این حالت ماکزیمم ولتاژی که در شرایط وقوع اتصالی در خارج از محدوده حفاظت بوجود می آید را محاسبه نموده و سپس تنظیم رله را مقداری بالاتر از آن قرار میدهند. در استفاده از رله های دیفرانسیل با عملکرد سریع، باید قسمت D.C جریان گذرا در حالت اتصالی در نظر گرفته شود که اثر این جریان گذرا باعث تولید فلوی هم جهت در هسته C.T شده و سبب اشباع شدن آن میگردد که در نتیجه خطای زیادی را بوجود می آورد.

تنظیم رله دیفرانسیل امپدانس بالا



شکل (۳-۲): مدار حفاظت دیفرانسیل

در شکل فوق R_{CT} مقاومت سیم پیچ ثانویه $R_{LY}, R_{LX}, C.T$ مقاومت سیم های رابط بین ترانس جریان و رله، و Z_{eb}, Z_{ea} امپدانس مغناطیس کننده C.T ها میباشد.

در شرایطی که یکی از C.T ها مثلاً B بر اثر اتصالی خارج از محدوده حفاظت اشباع شود (اشباع شدن این تاثیر را دارد که امپدانس مغناطیس کننده C.T را پایین می آورد. بطوریکه در جریان شدید اتصالی، این امپدانس موازی C.T امکان دارد به صفر میل نموده و در مدار معادل شکل فوق میتوان آنرا بصورت اتصال کوتاه در نظر گرفت، که در شکل بصورت خط چین نشان داده شده است) البته باید توجه داشت که این مسئله معادل با یک اتصال کوتاه فیزیکی نمیشد زیرا اتصال کوتاه در پشت مقاومت سیم پیچ R_{CT} میباشد) اما C.T دومی (A) اشباع نشده و در ناحیه مشخصه تحریک و بطور ایده آل باقی می ماند. در این حالت با استفاده از روش تونن ولتاژ ایجاد شده در دو سر رله برابر خواهد بود با

$$V_F = I_F (R_{LX} + R_{CT})$$

که I_F جریان اتصالی در ثانویه میباشد

این ولتاژ در مقایسه با نیروی محرکه الکتریکی نقطه زانویی C.T میتواند کوچک باشد. بنابراین مقدار رله را میتوان طوری انتخاب نمود که در حین بوجود آمدن پایداری دارای عملکرد حساس نیز باشد و در اینصورت مینیمم جریان عمل

کننده بستگی بیشتری به تنظیم ولتاژ دارد. با تنظیم امپدانس مدار رله، ولتاژ مورد نیاز جهت عملکرد رله نسبت به ولتاژ V_F مقدار بزرگتر میباشد. [با اضافه نمودن یک مقاومت سری که به مقاومت پایدار کننده معروف است R_{ST} ، به مقاومت داخلی رله R_R ، مقدار مورد نیاز امپدانس مدار رله R میتواند بدست بیاید. $(R=R_{ST}+R_R)$]

اگر ولتاژ تنظیم شده بر روی رله را بصورت V_S در نظر بگیریم

$$V_S = I_R R$$

(I_R جریان تنظیم شده بر روی رله و R امپدانس رله شامل مقاومت داخلی رله و مقاومت پایدار کننده است) بنابراین شرط عمل نکردن رله در حالت ذکر شده به قرار زیر میباشد.

$$V_S > V_F$$

$$I_R R > I_F (R_{LX} + R_{CT})$$

واضح است که با مقدار کمی بزرگتر گرفتن ولتاژ تنظیمی V_S نسبت به V_F ، سیستم پایدار خواهد ماند. رابطه فوق نشان میدهد که ولتاژ تنظیم رله توسط افت ولتاژهای سری (افت توسط R_{LX}, R_{CT}) تعریف میشود و از آنجائیکه تنظیم مجاز بوسیله نیروی محرک الکتریکی (emf) ناشی از C.T محدود نمیکردد بنابراین طرح ذکر شده را فقط میتوان به سیستمی اعمال نمود که از نظر فیزیکی طول محدودی داشته باشد (معمولاً از ۱۰۰۰ متر تجاوز ننماید).

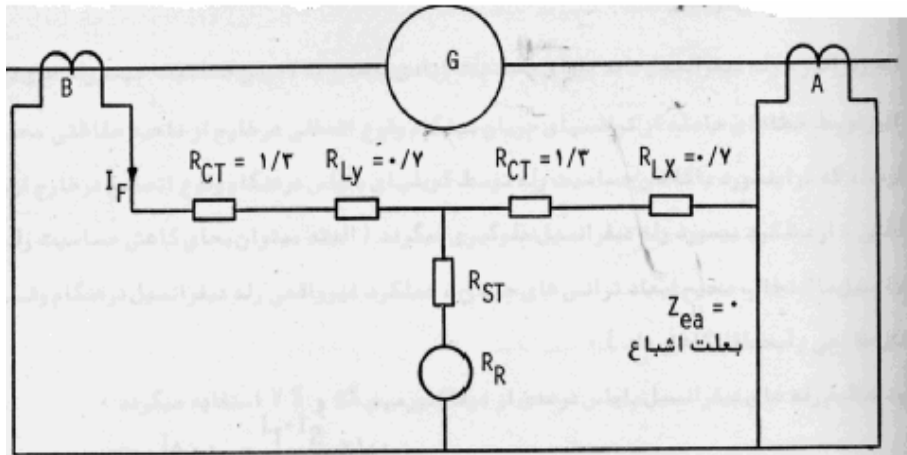
جهت انتخاب مقدار جریان اتصالی I_F در ثانویه ترانس جریان (هنگامی که یکی از ترانسهای جریان بر اثر وجود مولفه DC جریان اتصالی در خارج از ناحیه حفاظتی رله، به اشباع در آمده و ترانس جریان دیگر که ایجاد جریان I_F را در ثانویه می نماید در ناحیه غیر اشباع میباشد) باید توجه نمود که اگر رله بطوری طراحی گردیده باشد که مولفه DC موجود در اتصالی را بتواند سد نماید، در اینحالت مقدار موثر جریان متقارن اتصالی (جریان فوق گذرای "I") مقدار I_F را تعیین خواهد نمود در صورتیکه رله عضو سد کننده ای جهت مولفه DC نداشته باشد باید مقدار جریان DC را هم در محاسبات منظور نمود و در این حالت مقدار موثر جریان نامتقارن اتصالی (مقدار جریان متناوب اتصالی بعلاوه مقدار جریان DC اتصالی) برای I_F در نظر گرفته خواهد شد.

مثال :

یک ژنراتور ۳۵ MVA با ولتاژ 11KV و نسبت ترانس جریان $\frac{1}{3}$ ، با جریان فوق گذرای اتصالی در حدود $\frac{1}{1}$ برابر جریان نامی در حالت بار کامل، مجهز به رله دیفرانسیل امپدانس بالا میباشد. اگر مقاومت سیم های رابط بین هر کدام از C.T ها و رله دیفرانسیل برابر $\frac{0.7}{1}$ اهم و مقاومت ثانویه هر C.T برابر با $\frac{1}{3}$ اهم باشد.

الف- مقدار ولتاژ تنظیمی بر روی رله دیفرانسیل امپدانس بالا چه مقدار باشد که در یک اتصالی خارج از محدوده حفاظتی که منجر به اشباع شدن یکی از C.T ها میگردد، رله پایدار بماند (رله دارای بخش سد کننده مولفه DC میباشد).

ب- اگر رله از نوعی باشد که با جریان کالیبره گردد و دارای ولت آمپر مصرفی 0.5 VA بوده و تیپ جریانی آن نیز بر روی 0.4 آمپر تنظیم گردیده باشد. مقاومت پایدار کننده سری شده با کویل رله چه مقاومتی را دارا می باشد؟



شکل (۴-۲): مدار مثال

(مدار معادل حفاظتی در هنگام یک اتصالی خارج از محدوده حفاظتی و اشباع شدن یکی از C.T ها ، بصورت شکل فوق خواهد بود که در شکل $Z_{ea}=0$, $Z_{eb} \gg R_{CT}, R_{LX}, R_{LY}$ می باشد که از آن صرف نظر می گردد).
الف- هنگامی که یکی از C.T ها ، مثلا C.T شماره A به اشباع برود با در نظر گرفتن اینکه رله، نسبت به مولفه DC غیر حساس می باشد لذا جریان اتصالی I_f برای تنظیم رله برابر با جریان فوق گذرا در نظر گرفته میشود.

$$I_n = \frac{35000}{11 \times \sqrt{3}} = 1837 \text{ A}$$

$$I_F = I_n = 1837 \times 8/1 = 14789/7 \text{ A}$$

$$I_F \text{ در ثانویه} = 14789/7 \times \frac{5}{3000} = 24/8 \text{ A}$$

$$V_F = I_F (R_{LX} + R_{CT}) = 24/8 (1/3 + 0/7) = 49/6 \text{ V}$$

میتوان ولتاژ تنظیمی بر روی رله $V_S = 50 \text{ V}$ در نظر گرفت.

$$R_R = \frac{VA}{(I_S)^2} = \frac{0/5}{(0/4)^2} = 3/125 \text{ اهم} \quad \text{ب-}$$

رله

$$R_T = \frac{V_S}{I_S} = \frac{50}{0/4} = 125 \text{ اهم}$$

(شامل مقاومت رله و مقاومت پایدار

کننده)

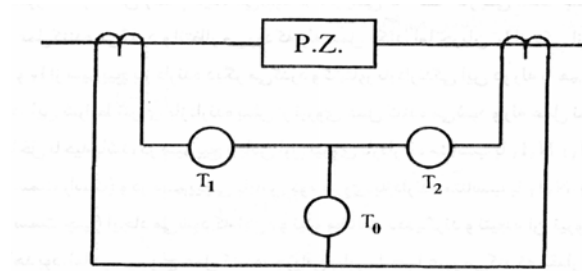
مقاومت پایدار کننده برابر است با:

$$-3/125 = 121/87 \text{ اهم}$$

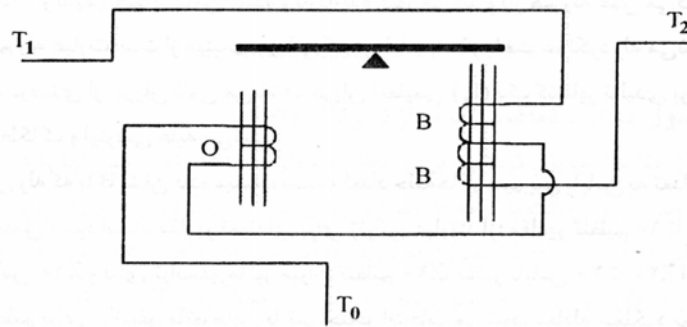
$$R_{SR} = R_T - R_R = 125$$

روش با یاس درصد:

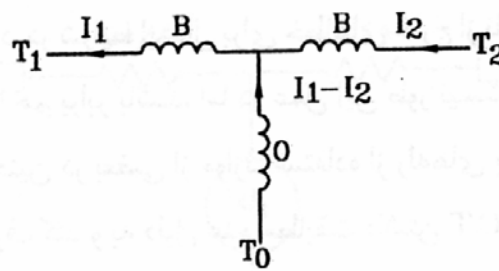
رله با یاس دارای سه سیم پیچ می باشد که سیم پیچها و شکل مدار آن در زیر رسم شده است.



شکل (۲-۵): مدار کاربرد رله با یاس



شکل (۲-۵): ساختمان داخلی رله با یاس



شکل (۲-۵): جریانهای جاری شده در سه سیم پیچ

در شرایطی که خط خارجی است، (جریان اتصال خارجی از محدوده حفاظت است) جریان I_1 از یکی از سیم پیچهای بازدارنده و I_2 از سیم پیچ بازدارنده دیگر می گذرد و گشتاور بازدارندگی این دو رله با هم جمع می شود. بنابراین در این شرایط نیروی بازدارنده بیش از نیروی عمل کننده می شود و رله عمل نمی کند. اما اگر خط در داخل ناحیه باشد، در

سیم پیچ اول بایاس نیروی بازدارنده متناسب با $N_2 I_2$ و در سیم پیچ دوم نیروی بازدارنده متناسب با $N_1 I_1$ ایجاد می شود که این دو نیرو مخالف یکدیگرند و نتیجه آن نیروی بازدارنده کمی خواهد بود. اما در سیم پیچ عمل کننده، جریانی برابر $I_1 - I_2$ عبور می کند که مقدار I_2 منفی است و در نتیجه نیروی عمل کننده بیش از نیروی بازدارنده می شود و رله عمل می کند. اگر سیستم فقط از یک طرف تغذیه شود، برای خطا در داخل ناحیه حفاظتی، یکی از جریانهای I_1 یا I_2 ، صفر می شود و جریان دیگر از سیم پیچهای عمل کننده و بازدارنده عبور می کند و باز هم رله عمل می کند.

بایاس رله که با B نشان داده می شود، نسبت تعداد حلقه ها در سیم پیچ بایاس به تعداد حلقه ها در سیم پیچ عمل کننده است. تنظیم رله عبارت است از مینیمم جریانی که در بایاس صفر باعث عملکرد رله می شود، مقدار آن، در صدی از جریان نامی می باشد. جریان تنظیمی، یک گشتاور تولید می کند که بر اصطکاک و اینرسی غلبه می کند.

مقادیر نمونه ای برای ژنراتور عبارتند از: مقادیر تنظیم ۱۰ تا ۲۰٪ و برای مقدار بایاس ۱۰٪ و برای ترانسفورماتور میزان تنظیم ۲۰٪، مقدار بایاس ۲۰ تا ۴۰٪ است. مقدار بزرگتر تنظیم، برای ترانسفورماتورهایی با تپ چنجر انتخاب می شود. معادله عملکرد برای رله های بایاس دار به قرار زیر است:

اگر N تعداد حلقه ها در سیم پیچ عمل کننده، I_1, I_2 جریان سیم پیچهای بایاس مطابق جهات نشان داده شده در شکل و I_0 جریان تنظیم و B بایاس باشد، داریم:

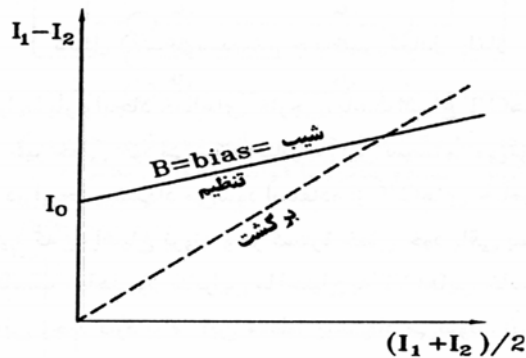
$$(I_1 - I_2)N = \text{آمپر دور عمل کننده}$$

$$\text{آمپر دور بایاس (مقاوم)} = I_1 \frac{B}{2} N + I_2 \frac{B}{2} N = \left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)BN = \frac{I_1 + I_2}{2} BN$$

رله وقتی عمل می کند که میزان آمپر دور منتج از عمل کننده، از آمپر دور تنظیم بیشتر باشد:

$$\left| (I_1 - I_2)N \right| - \left| (I_1 + I_2) \left(\frac{BN}{2} \right) \right| \gg |I_0 N| \quad |I_1 - I_2| = |I_0| + \left| (I_1 + I_2) \left(\frac{B}{2} \right) \right|$$

بستگی I_0 همانطور که در شکل ۶-۲ دیده می شود، مقدار جریان عبوری از رله برای عملکرد، فقط به جریان تنظیم ندارد، بلکه به میزان بایاس هم ارتباط دارد. مشخصه عملکرد رله دارای شبیهی به نسبت تعداد دور سیم پیچ عمل کننده به تعداد دور سیم پیچ مقاوم رله دارد. این نسبت بصورت بایاس درصدی تعریف میگردد که درصد تنظیم بایاس در قالب ها تنظیم میگردد. CT جریان نامی



شکل (۶-۲): مشخصه عملکرد رله تفاضلی

تنظیم رله بایاس درصدی

در ژنراتور، رله دیفرانسیل باید دارای حساسیت زیادی باشد و بالاترین حساسیت جهت رله های دیفرانسیل ژنراتور توسط خطاهای حاصله از ترانسهای جریان بهنگام وقوع اتصالی در خارج از ناحیه حفاظتی محدود میگردد، که در این مورد با کاهش حساسیت رله توسط کویل‌های بایاس در هنگام وقوع اتصالی در خارج از ناحیه حفاظتی، از عملکرد بی مورد رله دیفرانسیل جلوگیری میگردد (البته میتوان بجای کاهش حساسیت رله دیفرانسیل با انتخاب صحیح ابعاد ترانس های جریان، عملکرد غیر واقعی رله دیفرانسیل در هنگام وقوع اتصال خارجی را بحداقل کاهش داد). جهت تنظیم رله های دیفرانسیل بایاس درصدی از دو فاکتور مهم $g\%$ و $V\%$ استفاده میگردد.

$$g\% = \frac{I_{\Delta}}{I_N} \times 100 = \frac{I_1 - I_2}{I_N} \times 100$$

این تنظیم حداقل جریان عمل کننده رله را بصورت درصدی از جریان نامی مشخص می نماید.

$$V\% = \frac{I_{\Delta}}{I_H} \times 100 = \frac{I_1 - I_2}{\frac{1}{2}(I_1 + I_2)} \times 100$$

معادله فوق که قبلاً نیز بررسی گردیده است، در جریانهای زیادتر در کار رله موثر میباشد در معادله بالا I_{Δ} جریان عمل کننده رله و I_H جریان نگهدارنده میباشد.

برای تنظیم $g\%$ نرمال برای یک ژنراتور، نظر به اینکه ترانسهای جریان موجود در دو طرف ژنراتور با هم مشابه بوده و دارای یک کلاس دقت میباشد، لذا در صورت کلاس دقت ترانس جریان ۱ باشد مقدار حداکثر خطای جریانی که از بوبین عمل کننده رله میگذرد برابر با $\pm 2\%$ خواهد بود. همچنین یک اتصالی در خارج از محدوده حفاظتی رله دیفرانسیل (مثلاً یک اتصالی در شینه های خروجی ژنراتور پس از بریکر اصلی) بعضی مواقع بعلت چندین برابر بودن جریان اتصالی نسبت به جریان نامی، هسته های ترانس های جریان را به اشباع می برد و از آنجائیکه منحنی اشباع دو ترانس جریان با یکدیگر تفاوت دارند لذا $\pm 5\%$ خطای ناشی از این تفاوت منحنی ها را میتوان در نظر گرفت و با ضریب اطمینان ۳٪ میتوان رله دیفرانسیل را در $(\pm 2\% + 5\% + 3\% = 10\%)$ مقدار جریان نامی تنظیم نمود $g=10\%$ ، مقدار $V\%$ نیز بین ۵٪ تا ۱۰٪ در نظر گرفته شود.

(البته درصدهای ذکر شده با توجه به شرایط مورد نیاز استفاده از رله با تپ های تنظیم مختلفی که رله دارد میتواند تغییر کند و موارد ذکر شده فوق حدود نرمال این تنظیمات برای ژنراتور میباشد).

تنظیم زمان رله های دیفرانسیل درصدی

رله های دیفرانسیل درصدی با سرعت بسیار زیاد عمل می نمایند. تاخیر در زمان برای حفاظت سلکتیو در هنگام استفاده از این رله ها مورد نیاز نمی باشد زیرا مشخصه دیفرانسیل درصدی و خصوصیات تکمیلی دیگر، آنها را در مقابل عملکردهای غیر صحیح و ناخواسته مصون نگه میدارد.

رله های دیفرانسیل با درصد متغییر

رله های دیفرانسیل درصدی سرعت زیاد، که دارای مشخصه شیب درصدی متغییر میباشند مورد استفاده زیادی دارند. هنگامی جریانیکه از سیستم عبور میکند کم باشد شیب مشخصه رله در حدود ۵ درصد خواهد بود و در برابر جریانهای اتصالی زیاد که در هنگام اتصالیهای خارج از ناحیه حفاظتی ایجاد میشود این شیب از ۵۰ درصد هم بیشتر میشود و این مشخصه اجازه میدهد تا وسایل رله گذاری سریع و حساس را با ترانس های جریان معمولی بکار ببریم بدون آنکه نگران عملکرد ناخواسته رله به علت بی دقتیهای گذرا در ترانس های جریان باشیم. با استفاده از رله های دیفرانسیل با شیب درصدی متغییر بجای نوع با شیب درصدی ثابت میتوان ترانسهای جریان پست تری را استفاده نمود و یا بار بیشتری را به ترانس های جریان تحمیل نمود.

۱-۱-۱-۲- عواملی که رله دیفرانسیل بایستی در مقابل آنها پایدار گردد

۱- پایدار در برابر خطاهای خارجی

۲- پایدار در برابر جریان هجومی

۳- پایدار در برابر اضافه تحریک جریان هجومی

۱-۱-۱-۱-۲- پایداری در برابر خطاهای خارجی

رله دیفرانسیل در برابر خطاهای خارجی که بستگی به اشباع CT یا متناسب نبودن آنها دارد ممکن است عمل کند. CT های ایده آل در هر دو طرف منطقه حفاظت شده، در برابر خطاهای خارجی نباید اشباع شوند. بنابراین در اثر متفاوت بودن سطح ولتاژ و ساختمان داخلی CT احتمال دارد یکی از CT ها به اشباع برود که باعث عملکرد ناخواسته رله شود. عواملی که باعث عملکرد غلط رله میشوند عبارتند از:

الف) تپ چنجر در ترانسفورماتور

در ترانسفورماتورهای قابل تنظیم، خطایی در اثر تغییر دادن نسبت تبدیل ترانسفورماتور بوجود می آید. زیرا نسبت تبدیل CT ها را نمی توان با تغییرات نسبت تبدیل ترانسفورماتور تغییر داد.

ب) یکسان نبودن منحنی مغناطیسی CT ها

از آنجائیکه منحنی مغناطیسی CT های دو طرف ترانسفورماتور ممکن است برابر نباشد در صورت ایجاد خطا در خارج از محدوده حفاظت شده جریان اتصال کوتاهی که خیلی بزرگتر از جریان های CT ها میباشد باعث عملکرد رله میشود.

ج) اختلاف بین خطاهای CT ها

خطای نسبت تبدیل CT ها بخصوص در جریانهای زیاد با یکدیگر متفاوت می باشند بطوریکه تقریباً محال است دو CT با نسبت تبدیل مختلف دارای خطای نسبت تبدیل برابر باشند تا منحنی جریانها در دو طرف روی یکدیگر منطبق گردند. برای ایجاد پایداری در برابر عوامل فوق احتیاج به یک شکل درصدی از رله دیفرانسیل داریم که رله های دیفرانسیل درصدی معمولاً با درصد شیب های مختلف موجودند که این درصد شیب برای جلوگیری از عمل غیر مطلوب رله ها ناشی از عوامل فوق میباشد.

مقدار این درصد معمولاً از ۵ تا ۵۰ درصد متفاوت است که بستگی به کاربردهای ویژه آن دارد. این رله در مقابل خطاهای داخلی خیلی حساس و در مقابل خطاهای خارجی حساسیتی از خود نشان نمیدهد.

۱-۱-۱-۲- پایداری در برابر جریان هجومی

یکی از عواملی که باعث عملکرد غلط رله میگردد جریان وصل ترانسفورماتور میباشد که این جریان چندین برابر جریان نامی ترانسفورماتور میباشد. چون اولیه ترانسفورماتور دارای جریان بوده و ثانویه جریانی ندارد رله دیفرانسیل مایل است که ترانسفورماتور را از شبکه خارج کند بنابراین جهت چاره جویی این امر روشهای زیر مورد استفاده قرار می گیرد.

- ۱- چون جریان گذرا سینوسی نمی باشد لذا میتوان از سیم پیچهای بازدارنده مربوطه به هارمونیک استفاده نمود.
- ۲- چون در جریان گذرا مولفه DC وجود دارد میتوان از این مولفه برای غیر حساس کردن رله استفاده نمود.
- ۳- میتوان رله اصلی ترانسفورماتور را موقتاً بوسیله رله دیگری به تاخیر زمانی غیر حساس نمود.
- ۴- میتوان رله اصلی ترانسفورماتور را فقط هنگامی که ولتاژ کامل برقرار است بوسیله رله دیگری با تاخیر زمانی غیر حساس نمود. مزیت این روش نسبت به روشهای قبل آن است که میتوان بین جریانهای اتصال کوتاه و جریانهای گذرای وصل تمایز قائل شد. موثرترین روشی که برای پایدار کردن رله دیفرانسیل در برابر جریان هجومی بکار میرود استفاده از هارمونیک دوم است که ذیلاً بشرح آن می پردازیم.

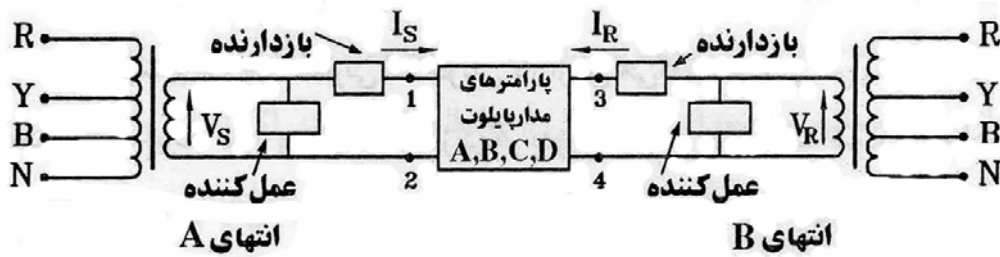
جریان هارمونیک دوم سدی در رله دیفرانسیل ایجاد کرده که آن را در مقابل جریان هجومی غیر حساس میکند اما در این موقع رله در مقابل جریان اتصال کوتاه نباید غیر حساس باشد. این رله قادر است که بین جریان هجومی و جریان اتصال کوتاه تمایز قائل شود با توجه به شکل موج های جریان هجومی و اتصال کوتاه جریان هجومی توسط هارمونیک های بالا مشخص میشود که در جریان اتصال کوتاه قابل توجه نیستند.

۲-۱-۱-۱-۳- پایداری در برابر تحریک جریان هجومی

ترانسفورماتورهایی که در طراحی آنها از ورقهای سرد نورد شده استفاده شده و ولتاژ نامی در ۹۰ درصد چگالی فلوی اشباع بوجود می آید و حالات نامتعادلی که در شبکه میتوانند رخ دهد باعث افزایش ولتاژ به مقدار ۲۰ تا ۳۰ درصد ولتاژ نامی و افزایش جریانی به مقدار ۱۰ تا ۱۰۰ برابر جریان نامی میگردد و شکل موج ولتاژ و جریان دچار اعوجاج می شود و در این بین هارمونیک سوم از هارمونیک های فرد دارای اثر بیشتری است و بصورت یک خطای داخلی ظاهر میشود که بیشتر اوقات برای جلوگیری از این پدیده کارخانجات سازنده یک عنصر محدود کننده در رله طراحی می کنند.

۲-۱-۲- اصول حفاظت تفاضلی با ولتاژ متقارن:

چنانچه از حفاظت جریان گردشی، برای حفاظت خطوط استفاده شود، جریانها وارد سیمهای پایلوت می شوند. در این حالت با توجه به طولانی بودن مسیر سیمهای ارتباطی، عملاً امپدانس بزرگی (15 kΩ) دیده می شود. این امر باعث افت ولتاژ و مصرف زیاد روی ترانسفورماتور جریان خواهد شد. به عنوان نمونه در شرایط معمول روی C.T با مشخصات 1KVA و 11 آمپر ، 1 KV افت ولتاژ خواهیم داشت که چنین مقداری در شبکه ممکن نیست. به عبارت دیگر، اگر چنین سیستمی به خطوطی با طولهای چندین کیلومتر متصل شود، به نیروی الکتروموتوری (EMF) زیادی نیاز است تا بتواند جریان گردشی حدود 5 یا 11 آمپر در بار کامل، در حلقه پایلوت بوجود آورد. نتیجه این امر میزان مصرف خیلی زیاد C.T خواهد بود که برای طرحهای C.T معمولی غیر عملی می باشد. برای حل این مشکل راه حلهای مختلفی است که کاملترین آن را بیان می کنیم.



شکل (۷-۲): مدار حفاظت تفاضلی با ولتاژ متقارن

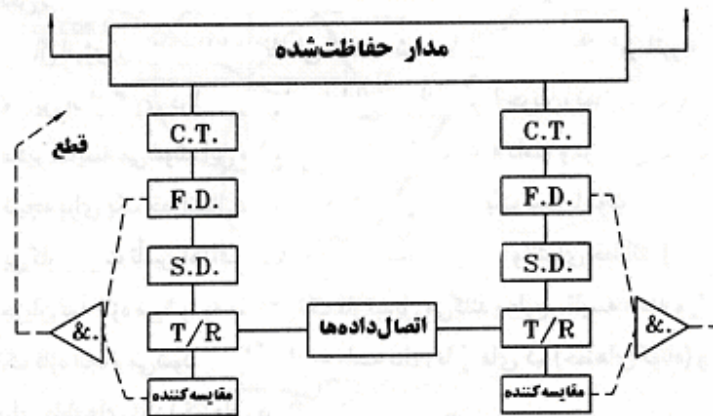
طرح حفاظتی سیم پایلوت در شکل بالا نشان داده شده است زمانی این سیستم عمل می کند که آمپر دور موثر سیم بندی عمل کننده ، بزرگتر از آمپر دور موثر سیم بندی بازدارنده باشد.

خروجی مدارهای عمل کننده و بازدارنده وارد یک مقایسه کننده دامنه دو ورودی می شوند و اگر امپدانس مدار پایلوت از مقدار معینی تجاوز کرد ، رله فرمان قطع را صادر می کند.

۲-۲- روشهای انتقال اطلاعات در حفاظت دیفرانسیلی:

حفاظت تفاضلی با استفاده از سیمهای پایلوت ، محدودیت هایی در طول دارد که حداکثر آن در حدود ۲۵ کیلومتر است. این سیمهای پایلوت یا به صورت کابلهای مخصوصی که در زیر زمین دفن شده اند و یا به صورت خطهای تلفن استفاده می شوند. حفاظت دیفرانسیلی برای خطوط انتقال ، مانند حفاظت دیفرانسیلی برای ژنراتور و ترانسفورماتور است. برای یک خط انتقال سه فازه بایستی برای هر فاز، یک سیم پایلوت قرارداد ولی برای جلوگیری از این کار و جهت تامین اهداف اقتصادی، توسط ابزاری در ابتدا و انتهای خط انتقال، نمونه هایی را که ولتاژ و جریان سه فازه می شود به سیستم تک فاز تبدیل می کنند و طرح مقایسه دامنه یا فاز، روی این مقادیر تک فازه انجام می شود. معمولاً مقایسه دامنه برای طول های کم و مقایسه اختلاف فاز برای طول های زیاد انجام می گیرد. روش دیگری که برای حفاظت تفاضلی خط انتقال به کار برده می شود بدین صورت است که برای انتقال اطلاعات بین ابتدا و انتهای خط از هادیهای خطوط انتقال استفاده می شود که به این سیستم (power line carrier) PLC گویند. در این حالت اطلاعات گرفته شده از ابتدا و انتهای خط، به سیگنال با فرکانس بالا تبدیل شده که این سیگنالها می توانند روی سیم های انتقال به فواصل دور انتقال داده شوند. روش دیگر، استفاده از لینکهای رادیویی می باشد. در این روش از کانال امواج رادیویی با فرکانس بالا برای انتقال اطلاعات استفاده می شود.





شکل (۸-۲) : اساس سیستم حفاظت تفاضلی با استفاده از سیستم PLC

۳-۲- طرح‌های رله دیفرانسیلی برای ژنراتور

چند نوع از معمولترین خطاهای ژنراتور عبارتند از:

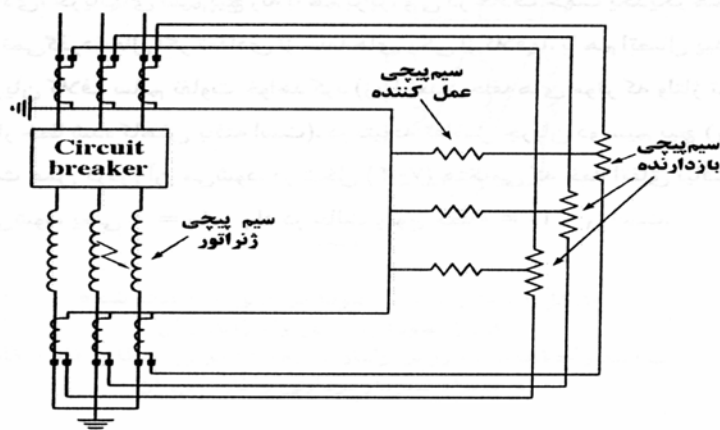
- | | | |
|--|---|--------------------------------|
| اتصال در سیم پیچی فازها
اتصال در حلقه های یک کلاف
اتصال به زمین (اتصال یک فاز با هسته استاتور) | } | ۱- اتصالی در سیم پیچی استاتور |
| اتصال به زمین یک قطب (اتصال سیم پیچی روتور به زمین)
قطع سیم پیچ تحریک کننده | } | ۲- اتصال در روتور |
| بار نامتعادل
بار متعادل | } | ۳- حفاظت در مقابل بار ناخواستم |

رله دیفرانسیل ژنراتور مهمترین حفاظت را در مقابل انواع اتصالیهای دو فاز و سه فاز ایجاد شده در داخل ژنراتور انجام میدهد و بعنوان حفاظت پشتیبان آن از رله های مینیمم امپدانس و جریان زیاد استفاده میگردد همچنین رله دیفرانسیل، حفاظت اتصال زمین ژنراتور را نیز میتواند انجام دهد و در ژنراتورهایی که هر فاز آن از دو مدار موازی تشکیل شده است با روشهای خاصی حفاظت حلقه به حلقه را هم انجام میدهد.

در این مرحله خطاهایی که با حفاظت دیفرانسیلی آشکار می شوند بیان می شود. لازم به ذکر است که امکان اتصالی سه فاز در داخل استاتور ژنراتور تقریبا غیر ممکن است و در صورت اتصالی سه فاز رله دیفرانسیل بمانند حالت قبل وظیفه خود را بخوبی انجام خواهد داد.

الف - حفاظت در برابر اتصال فاز به فاز در استاتور:

این حفاظت در شکل ۹-۲ دیده می شود سیم پیچهای B در شکل، سیم پیچهای بایاس و سیم پیچهای OP، سیم پیچهای عمل کننده هستند. اگر دو فاز در داخل استاتور ژنراتور، مستقیما و یا از طریق زمین با هم اتصالی نمایند جریان اتصالی ایجاد شده، هم از طریق خود ژنراتور تامین میگردد و هم توسط ژنراتورهای که بصورت موازی با این ژنراتور کار مینمایند، جریان اتصالی بوجود آمده توسط خود ژنراتور بستگی به ولتاژ تحریک ژنراتور و محل اتصالی دارد و شدت جریان اتصالی که از خارج ژنراتور تامین میگردد بستگی به قدرت اتصال کوتاه شبکه دارد. در حالت کار عادی جریانهای دو طرف ژنراتور هم از لحاظ فازی و هم از لحاظ قدر مطلق با هم برابرند و لذا جریانی از قسمت عمل کننده رله دیفرانسیل نخواهد گذشت. چنانچه اتصالی فاز به فاز در ژنراتور، داخل ناحیه حفاظتی رخ داده باشد از دو سیم پیچ عمل کننده رله تفاضلی، جریان می گذرد و سبب عملکرد سیستم می گردد.

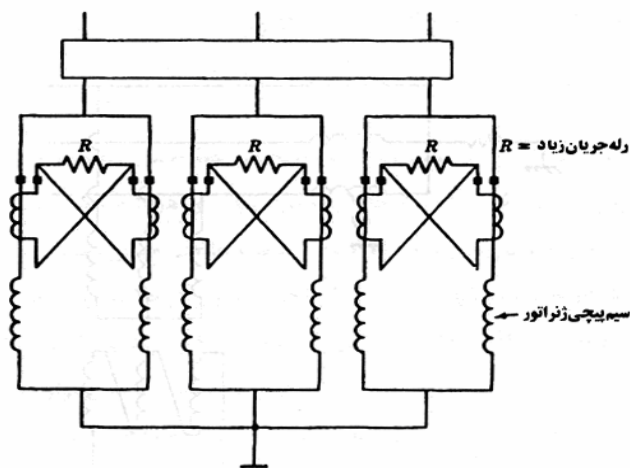


شکل (۹-۲): مدار حالت الف

ب - حفاظت در برابر اتصالی مربوط به حلقه های یک کلاف:

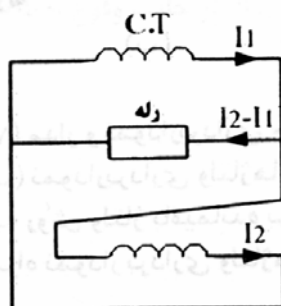
مدار این نوع حفاظت در شکل ۱۰-۲ آمده است این روش زمانی بکار می رود که حداقل دو سیم پیچ برای هر فاز موجود باشد. زیرا در صورت عدم وجود حداقل دو سیم پیچ برای هر فاز، نصب حفاظت تفاضلی ممکن نیست. اگر تعدادی از حلقه های یکی از کلافها، با هم اتصال پیدا کنند جریان آن کلاف با جریان کلاف سالم تفاوت خواهد داشت. (زیرا تعداد

حلقه های موثر که ولتاژ تولید می کند در سیم پیچی دچار خطا شده ، کاهش یافته است) در نتیجه تفاضل جریان دو سیم پیچ ، از رله عبور کرده ، باعث عمل کردن آن می شود.



حفاظت تفاضلی

برای اتصالی از سیم پیچهای یک کلاف



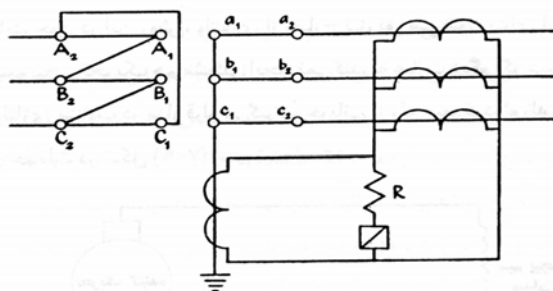
شکل (۱۰-۲): مسیر جریانهای عبوری از رله به هنگام وقوع خطا

ج- حفاظت در برابر اتصال به زمین سیم پیچی استاتور

جهت ایجاد اینگونه حفاظت توسط رله دیفرانسیل لازم است که جریان اتصال زمین بقدر کافی باشد، بطوریکه اگر نقطه صفر ژنراتور مستقیماً زمین گردد میتوان تمام سیم پیچ ژنراتور را در مقابل اتصال زمین محافظت نمود. ولی اگر نقطه صفر ژنراتور از طریق یک مقاومت زمین گردد در این حالت نمی توان تمامی سیم پیچ را در مقابل اتصال زمین محافظت نمود و درصد سیم پیچی حفاظت شده به مقدار مقاومت زمین کننده نقطه صفر و تنظیم رله بستگی دارد (اگر اتصال زمین نزدیک نقطه صفر ژنراتور باشد جریان اتصالی بسیار کم بوده و رله عمل نخواهد کرد و عملاً هم نمیتوان تنظیم رله

را خیلی کم گرفت زیرا در اینصورت برای اتصالیهای خارج از منطقه حفاظت شده عمل خواهد نمود (در کاربرد اینگونه حفاظت، درصد سیم پیچی حفاظت نشده از رابطه زیر بدست می آید.

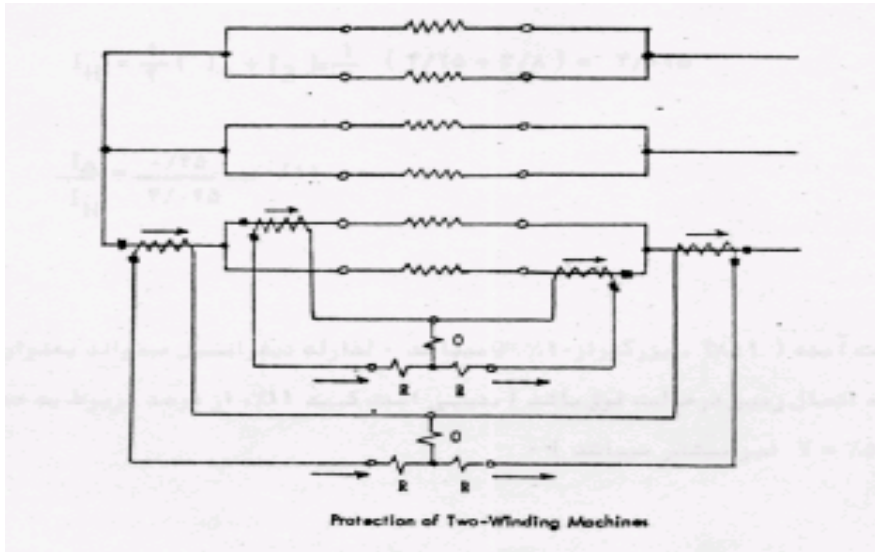
درصد سیم پیچی محافظت نشده
 R مقاومت اهمی امپدانس زمین کننده، V ولتاژ فاز به نول ژنراتور و I_0 مقدار جریان اتصال زمین میباشد که به ازای آن رله عمل می نماید. این حفاظت همانگونه که در شکل ۱۱-۲ آمده است، برای حفاظت فاز- زمین است و خطاهای فاز به فاز، به هیچ وجه توسط این حفاظت پوشانده نمی شود. در این حفاظت I_S (جریان عبوری از رله ها) به میزان قابل ملاحظه ای پایین آورده می شود (۵٪ جریان نامی) که منجر به حفاظت درصد بیشتری از سیم پیچی استاتور می شود.



شکل (۱۱-۲): مدار حالت ج

د- اتصال حلقه به حلقه در داخل ژنراتور:

حفاظت دیفرانسیل برای تشخیص حلقه به حلقه در سیم پیچی استاتور ژنراتور فقط برای ژنراتورهایی که هر فاز آن از دو مدار موازی تشکیل شده و به روش فاز دو نیمه (SPLIT-phase) معروف است استفاده میشود. در شکل ۱۲-۲ یک نمونه از حفاظت دیفرانسیل برای اینگونه ژنراتورها بکار برده شده است. در این حالت کلیه اتصالات داخل ژنراتور که شامل اتصال حلقه به حلقه و مدار باز نیز میباشد قابل تشخیص توسط حفاظت دیفرانسیلی میباشد.



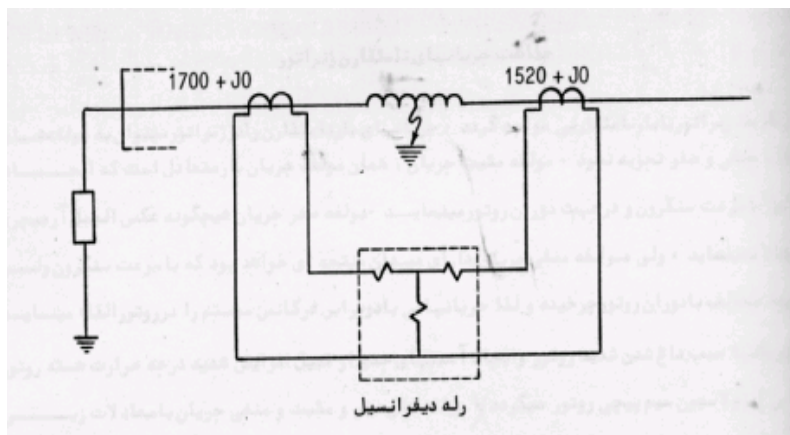
شکل (۲-۱۲): مدار حالت د

مثال: از یک رله دیفرانسیل درصدی با تنظیم $g=10\%$ و $v=5\%$ برای حفاظت اتصالیهای دو فاز و سه فاز داخل ژنراتور

استفاده شده است. نسبت ترانس های جریان ژنراتور $\frac{2000}{5}$ میباشد. نقطه صفر ژنراتور توسط یک مقاومت زمین

گردیده و ژنراتور بطور مجزا دارای رله حفاظت اتصال زمین حساسی نیز میباشد. حال اگر یک اتصال زمین در داخل ژنراتور بوجود بیاید که بر اثر این اتصال زمین جریانهایی که در دو طرف سیم پیچی ژنراتور می گذرند بصورتی که در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده باشند.

آیا در این حالت رله دیفرانسیل ژنراتور میتواند بصورت یک حفاظت پشتیبان برای رله اتصال زمین در وضعیت نشان داده شده باشد؟



شکل (۲-۱۳): مدار مثال

$$I_1 = 1700 \times \frac{5}{2000} = 4/25$$

$$I_2 = 1520 \times \frac{5}{2000} = 3/8$$

$$I_{\Delta} = I_1 - I_2 = 4/25 - 3/8 = 0/45$$

$$I_H = \frac{1}{2}(I_1 + I_2) = \frac{1}{2}(4/25 + 3/8) = 4/025$$

$$\frac{I_{\Delta}}{I_H} = \frac{0/45}{4/025} \approx 0/11$$

با توجه به اینکه مقدار بدست آمده (۰/۱۱)، بزرگتر از $g=۰/۱۰$ میباشد. لذا رله دیفرانسیل میتواند بعنوان یک حفاظت پشتیبان برای رله اتصال زمین در حالت فوق باشد (بدیهی است که ۰/۱۱٪ از درصد مربوط به حداقل جریان عمل کننده یعنی $v=۰/۵$ نیز بیشتر میباشد).

۲-۳-۱- تحلیل عملکرد رله های تفاضلی ژنراتور ها در نیروگاه گازی ری

در مطالعه موردی که در رابطه با عملکرد این رله در یک بازه زمانی پانزده ساله انجام شد، مهمترین عوامل ایجاد این عملکردها به شرح زیر میباشد:

۲-۳-۱-۱- عدم ایجاد شرایط لازم برای سنکرون کردن (۰/۴/۱)

در بعضی مواقع به دلیل فراهم نیامدن شرایط سنکرون ژنراتور هنگام وصل کردن ژنراتور به شبکه، اتصال کوتاه رخ داده، که باعث صدمه زدن به واحد تولید انرژی الکتریکی میشود.

۲-۳-۱-۲- زمین شدن سه فاز ژنراتور (۰/۴/۱)

به علت جمع شدن روغن در داخل استاتور ژنراتور و زیر محفظه آن، سه فاز ژنراتور زمین شده بود.

۲-۳-۱-۳- کثیف بودن داخل ژنراتور (۰/۴/۱)

به علت کثیفی و بسته شدن مجاری هوا در ژنراتور، حرارت تولیدی دفع نگردیده و باعث صدمه دیدن عایق ژنراتور شده بود.

۲-۳-۱-۴- ضعف عایقی (۰/۸/۳)

در بعضی مواقع به دلیل ضعف عایقی برخی فازهای ژنراتور، و اتصال کوتاه ناشی از آن، رله دیفرانسیل عمل نمیکند.

۲-۳-۱-۵- اشکالات ایجاد شده در ctها (۰/۱۲/۵)

به دلیل اشکال ایجاد شده در سیستم داخل ترانس جریان اطلاع رسان به رله تفاضلی، جریان در ثانویه آن بیشتر از مقدار نامی شده که منجر به عملکرد رله مذکور شده است.

۲-۳-۱-۶- عدم دقت لازم در تعمیرات (۸/۳)

عدم دقت لازم در تعمیرات ژنراتور باعث ضعف مجدد عایقی آن شده و بر اثر بروز اتصال کوتاه دو فاز، رله دیفرانسیل ژنراتور عمل کرده است.

۲-۳-۱-۷- شرایط جوی (۸/۳)

شرایط جوی از قبیل بارش باران و برف و همچنین نفوذ آب به داخل ژنراتورها در بعضی مواقع باعث عملکرد رله دیفرانسیل ژنراتور گردید.

۲-۳-۱-۸- ناپایداری رله دیفرانسیل در قبال خطاهای خارجی (۲۴/۶)

بر اثر بروز خطا در خطوط انتقال نیروی متصل به پست نیروگاه، به همراه عملکرد رله دیستانس خط، رله دیفرانسیل ژنراتور نیز عمل کرده است.

۲-۳-۱-۹- برخی عملکردهای کاذب (۸/۳)

به دلیل حساس بودن پرچم (flag) رله دیفرانسیل، بعضی مواقع بر اثر لرزش واحدها و همچنین ضربات ایجاد شده از قبیل باز و بسته شدن در واحد، باعث افتادن این پرچم گردیده است.

۲-۳-۲- منطق قطع (تریپ) رله تفاضلی ژنراتور

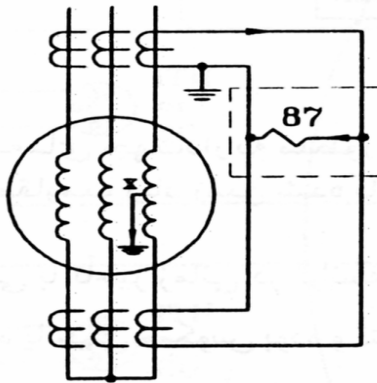
در صورت بروز اختلالات داخلی ژنراتور که منجر به اتصال کوتاه الکتریکی میگردد، تنها راه ممکن در جلوگیری از گسترش خطا، تریپ آنی است که عملکرد حفاظت دیفرانسیل منجر به آن خواهد شد.

۲-۴- طرحهای رله دیفرانسیلی برای موتور:

گونه های متعدد و متنوع در رنج های وسیعی از موتورها و مشخصات آنها وجود دارد و به علت وظایف مختلف آنها حفاظت های مختلفی در آنها مورد نیاز است. بسیاری از این حفاظت ها در تمام موتورها مشترک بوده است و مستقل از نوع موتور و نوع بار متصل به آن می باشد.

۲-۴-۱- حفاظت تفاضلی جریان فاز:

هدف از این حفاظت، آشکار نمودن سریع خطاهای بوجود آمده است در این روش مطابق شکل از ۶ ترانسفورماتور جریان یکسان و سه رله استفاده می شود. تحت شرایط نرمال، جریانهای هر جفت C.T با هم برابر بوده و نتیجتاً تفاضل آنها نیز صفر خواهد بود.



شکل (۱۴-۲): حفاظت تفاضلی جریان فاز

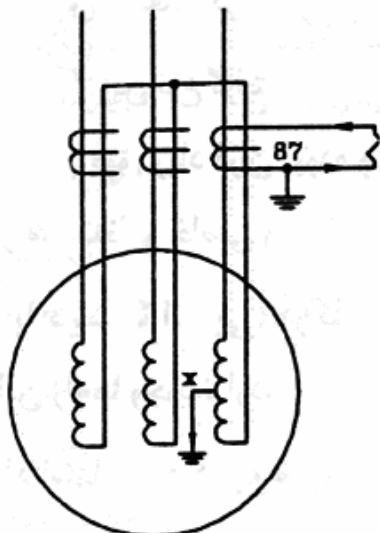
روش فوق معمولاً در مورد موتورهایی که استاتور آنها بصورت ستاره بسته شده باشد، اعمال می گردد. ولی در بعضی موارد جهت حفاظت موتورهای اتصال مثلث نیز استفاده شده است در موتورهای با اتصال ستاره، سه عدد C.T در استارتر و سه عدد C.T دیگر در نقطه نول سه فاز موتور تعبیه می شوند. در حفاظت فوق از سه نوع رله می توان استفاده کرد:

۱- رله های تفاضلی سریع (لحظه ای) : این نوع ، گرانترین رله است. اما اگر قیمت رله و تجهیزات، هزینه نصب و... در نظر گرفته شود، روش فوق زیاد گران نبوده و از این رو استفاده از رله های فوق توصیه می شود. برای این گونه رله ها تنظیم خاصی وجود ندارد.

۲- رله های کم سرعت تفاضلی با دیسک القایی: در گذشته معمولاً از این نوع رله استفاده می شد.

۳- استفاده از رله های جریان زیاد استاندارد که به صورت تفاضلی بسته می شوند:

از این نوع رله زیاد استفاده نمی شود. این رله ها از رله های کم سرعت تفاضلی ارزانتر بوده و در صورت استفاده از C.T های یکسان نتیجه ای رضایت بخش حاصل می شود. تپ رله های فوق معمولاً روی ۰/۵ یا ۲/۵ آمپر و تنظیم زمانی روی ۱ قرارداد می شود. نوع دیگر حفاظت تفاضلی جریان فاز در شکل مقابل نشان داده شده است. این روش ، تفاضلی خود



شکل (۱۵-۲)

تعدالی نامیده می شود. در این روش از سه ترانسفورماتور آشکار ساز مولفه صفر به همراه سه رله استفاده می شود از داخل هر ترانسفورماتور فوق ، یک فاز موتور و نقطه انتهای سیم بندی فاز مربوطه عبور می کند. جریانهای فوق در حالت نرمال عکس دیگری بوده و همدیگر را خنثی می

کنند. در صورت بروز خطای فاز به فاز یا فاز به زمین جریان

های فوق برابر بوده و در ثانویه C.T جریانی القا و باعث

عمل کردن رله می شود در این روش تفاضل میدانهای مغناطیسی ناشی از جریانهای ورودی و خروجی ماشین باعث عمل کردن رله می شود. در این روش تنظیم جریان رله ها بین ۰/۲۵ تا ۱ آمپر اختیار می گردد. این حفاظت از حفاظت های تفاضلی معمول دارای تنظیم جریان کمتری بوده و از این رو باید از C.T هایی با ضریب تبدیل بالاتر استفاده نمود. برای موتورهایی که در سیستم های زمین شده نصب می شوند، از آنجا که بیشتر خطاها از نوع خطاهای زمین می باشند، با روش ارائه شده در شکل ۱۵-۲ جریانهای خطا سریعاً و بدون هیچگونه اشتباهی آشکار و با عمل کردن رله، موتور از تغذیه جدا می گردد.

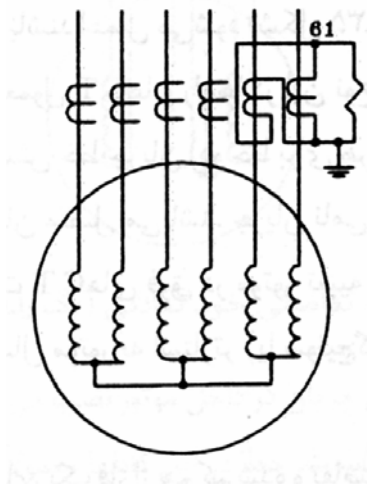
در موتورهای بزرگ حفاظت تفاضلی معمولی بر این روش ترجیح داده می شود.

با توجه به موارد ذکر شده، از حفاظت تفاضلی جریان فاز در موارد زیر استفاده می شود:

- برای تمام موتورهای hp ۲۰۰۰-۱۰۰۰ و بالاتر مستقر در شبکه هایی که دارای نول ایزوله هستند.
- برای تمام موتورهای hp ۲۰۰۰-۱۰۰۰ و بالاتر در شبکه های نول زمین شده که حفاظت زمین اعمال شده جهت حفاظت در مقابل خطاهای فاز به فاز بدون حفاظت تفاضلی کافی نباشد.
- برای موتورهای بزرگ hp ۵۰۰۰-۲۵۰۰ که هزینه حفاظت تفاضلی در مقایسه با ارزش موتور قابل مقایسه نباشد.
- موتورهای کوچک بارزش، مخصوصاً در ولتاژهای بالاتر از ۲۴۰۰ ولت
- هنگامیکه KVA موتور بیشتر از نصف KVA ترانسفورماتور تغذیه آن باشد.
- هنگامیکه جریان خطا خیلی نزدیک به جریان راه اندازی موتور باشد.

۲-۴-۲- حفاظت عدم تعادل جریان در دو نیمه سیم بندی

هدف از این حفاظت آشکار سازی و حذف خطاهایی با دامنه کم می باشد. شکل ۱۶-۲ یک آرایش معمولی C.T ها و رله ها در این نوع حفاظت را برای موتورهایی با دو مسیر سیم بندی نشان می دهد. اغلب مناسب تر است، C.T های فوق در موتور تعبیه شوند.



شکل (۱۶-۲)

جریانهای هر جفت از C.T های یک فاز از هم کم شده و تفاضل آنها به یک رله جریان زیاد زمان کوتاه با دیسک القایی اعمال می شود. تنظیم زمانی و جریانی رله باید به ترتیب روی ۰/۵ و ۱ تا ۲/۵ آمپر قرارداده شود. ویژگیهای حفاظت ذکر شده به قرار زیر است:

- هزینه کلی تا حدی از حفاظت های معمولی تفاضلی کمتر و از حفاظت تفاضلی خود تعادلی بیشتر است.
- جریان پیک آب در این حفاظت، نصف روشهای حفاظت تفاضلی معمول می باشد. روش تفاضلی خود تعادلی، معمولا جریان پیک آب اولیه کمتری هم دارد.
- این روش دارای تاخیر زمانی ناچیزی در مقایسه با روشهای حفاظت تفاضلی فاز می باشد.
- این حفاظت می تواند اتصال کوتاه بین دوره های یک سیم بندی را دیده و آشکار نماید. تعداد دوره هایی که در صورت اتصال کوتاه آشکار می شود وابسته به آرایش سیم بندی موتور، پیک آب رله ها و نسبت ترانسفورماتورهای جریان می باشد.
- روش حفاظتی فوق در موتورهای رنج ۱۰۰۰۰-۵۰۰۰ hp که دارای چهار مسیر جریان برای هر فاز می باشند نیز استفاده می گردد.

۲-۵- طرحهای رله دیفرانسیلی برای ترانسفورماتور

انواع خطاهای معمولی در ترانسفورماتور ها عبارتند از:

- الف) خطای فاز به فاز
- ب) خطای فاز به زمین
- ج) اتصال حلقه های یک کلاف

(د) بار زیاد

هـ) آسیب هسته، وصل شدن دو لایه هسته به هم، عیب تانک یا نشتی، عدم گردش روغن و در نتیجه گرم شدن هسته برای ترانسفورماتورهای بزرگتر از ۵ مگاوات آمپر، بطور معمول حفاظتهای زیر در نظر گرفته می شود.

- حفاظت تفاضلی
- حفاظت تفاضلی زمین محدود شده
- حفاظت ولتاژ باقیمانده
- حفاظت بوخهلتس
- حفاظت بار زیاد

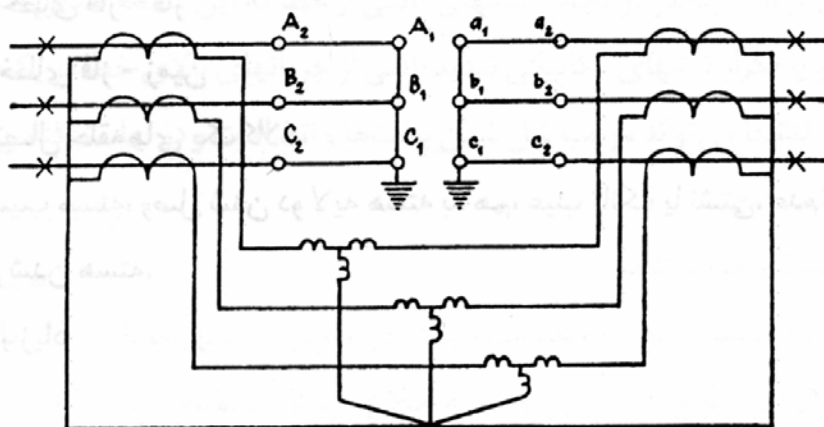
در این بخش صرفاً حفاظتهای دیفرانسیلی بیان می شود.

۲-۵-۱- حفاظت در مقابل خطای فاز به فاز:

در حفاظت خطای فاز به فاز از رله تفاضلی به دو روش زیر استفاده می شود.

الف) اتصال رله های تفاضلی نوع YY :

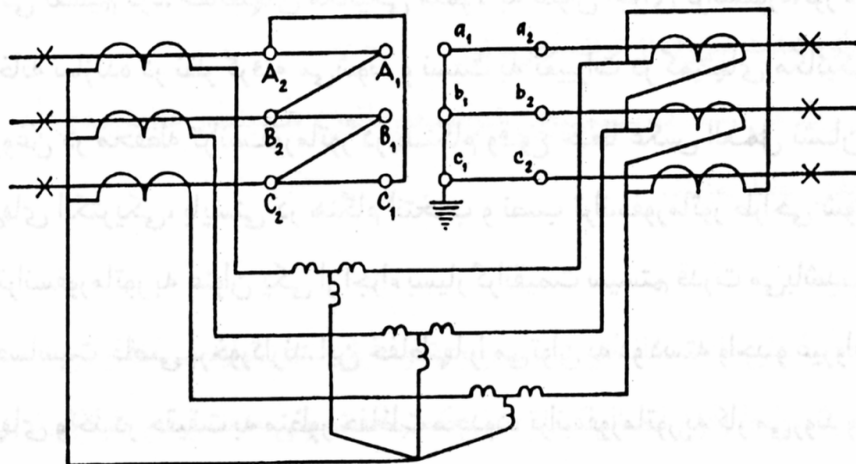
با توجه به اینکه اولیه و ثانویه اختلاف فازی ندارند و یا با یکدیگر ۱۸۰ اختلاف فاز دارند، لذا اتصال ترانسفورماتورهای جریان، دو طرف ترانسفورماتور توان هر دو به صورت ستاره منظور می شوند. البته برای یکسان شدن ثانویه ترانس جریان، لازم است نسبت تبدیل ترانسها به گونه ای باشد که برای خطاهای خارجی، جریان ثانویه ترانس های جریان یکسان باشد. این مطلب باعث می شود که در نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان دوم، نسبت تبدیل ترانس توان لحاظ شود.



شکل (۱۷-۲): اتصال رله های تفاضلی نوع YY

ب) اتصال رله های تفاضلی نوع DYn :

چون جریان اولیه و ثانویه ۳۰ اختلاف فاز دارند به منظور هم فاز و هماهنگ نبودن جریانهای ثانویه C.T در یک فاز و هماهنگ بودن آنها با یکدیگر ثانویه های C.T در طرف مثلث ترانس توان به صورت ستاره و در دو طرف ستاره به صورت مثلث در نظر گرفته می شود.



شکل (۱۸-۲): اتصال رله های تفاضلی نوع DYn

۲-۵-۱-۱- نحوه آرایش ژنراتورها و ترانسفورماتورها و طرح رله بندی دیفرانسیل آنها در نیروگاه گازی ری:

بطور کلی سه نوع آرایش متفاوت ارتباطی ژنراتورها و ترانسفورماتورها در این نیروگاه بکار رفته است که عبارتند از :

(الف) ژنراتور از طریق یک ترانسفورماتور دو سیم پیچ به باس بار متصل میشود.

(ب) هر جفت ژنراتور از طریق یک شینه پارالل شده، سپس بوسیله یک ترانسفورماتور دو سیم پیچ به باس بار متصل میگردد.

(ج) هر جفت ژنراتور بوسیله یک ترانسفورماتور سه سیم پیچ به باس بار متصل میگردد.

طرح رله بندی دیفرانسیل ژنراتور و ترانسفورماتور انواع واحدهای نیروگاهی موجود در این نیروگاه از چهار حالت زیر تبعیت میکنند:

طرح اول: محدوده حفاظتی این دو تجهیز قدرت، کاملاً از یکدیگر مستقل هستند.

طرح دوم: محدوده حفاظتی ژنراتور و ترانسفورماتور واحد مجزا بوده ، ولی فقط در محدوده کوتاهی از باس ارتباطی فیما بین این دو تجهیز، همپوشانی زون حفاظتی وجود دارد.

طرح سوم: محدوده حفاظتی رله دیفرانسیل ژنراتور، زیر مجموعه ای از رله دیفرانسیل ترانسفورماتور میباشد.

طرح چهارم: طرح اول، بعلاوه یک حفاظت تفاضلی مجموعه کلی ژنراتور و ترانسفورماتور را در بر میگیرد.

- تنظیم رله های تفاضلی ترانسفورماتور:

این رله ها دارای بایاس بوده و تنظیم آنها ۴۰٪ تنظیم جریان نامی در نظر گرفته می شود. همچنین بایاس آنها ۲۰٪

انتخاب می گردد. همانطور که ملاحظه می کنید تنظیم رله های تفاضلی ترانس توان، زیاد است. زیرا:

۱- ترانسهای بزرگ توان با تپ چنجر زیر بار کار می کنند. بنابراین تغییر تپ ها سبب تغییر نسبت تبدیل می شود. لذا

میزان تنظیم باید زیاد باشد تا رله به هنگام تغییر تپ قطع نکند.

۲- از آنجاییکه دو سمت C.T ها مختلف هستند یعنی مقادیر نامی ولتاژ و جریان متفاوتی دارند لذا تطبیق آنها با هم

مشکل است.

۳- مسئله جریان مصرفی که هنگام وصل کردن ترانس به برق ایجاد می شود سبب عملکرد رله نگردد.

۲-۵-۲- حفاظت اتصال به زمین یک فاز

این حفاظت همانند حفاظت اتصال به زمین یک فاز ژنراتور می باشد.

۲-۵-۳- تحلیل عملکرد رله های دیفرانسیل ترانسفورماتورهای نیروگاه گازی ری:

دسته بندی علل عملکرد رله های تفاضلی ترانسفورماتورهای این نیروگاه بشرح زیر می باشد:

۲-۵-۳-۱- اتصالات داخلی سیم پیچهای ترانسفورماتور (۷/۶٪)

۲-۵-۳-۲- ناپایداری رله دیفرانسیل در برابر خطاهای خارجی (۱۶/۳٪)

بر اثر ضربه شبکه، رله دیفرانسیل ترانسفورماتور عمل کرده و پس از تست ترانسفورماتور و رله مذکور، هیچ عیبی در این

تجهیزات رویت نشده است. در واقع در قبال خطای خارجی، رله حالت ناپایداری از خود نشان داده و عمل کرده است.

۲-۵-۳-۳- خطای ایجاد شده در خطوط خروجی نیروگاه و ایجاد ضایعه در تجهیزات (۱۵/۳٪)

اتصال ایجاد شده در خط خروجی نیروگاه، باعث افزایش جریان بیش از مقدار نامی در این خط گردیده، بطوریکه دامنه

این جریان به قدری بوده که باعث ذوب شدن کلمپ پانتوگراف مربوط به ترانس پست گردیده و در اثر این حادثه و جرقه

ایجاد شده از آن، رله دیفرانسیل در این ترانسفورماتور عمل کرده است.

۲-۵-۳-۴- خطای ایجاد شده در داخل پست (۱۵/۳٪)

بعنوان مثال، در اثر فاصله هوایی ایجاد شده در محل اتصال کلمپ سکسیونر مربوط به ترانسفورماتور و جرقه حاصله از آن،

ترانس مذکور با عملکرد رله دیفرانسیل از مدار خارج گردید.

۲-۵-۳-۵- ترکیدن تجهیزات (۰.۷/۶)

بر اثر ترکیدن بریکر 11kV ، رله دیفرانسیل ترانسفورماتور واحدها عمل کرده است.

۲-۵-۳-۶- اشکال ایجاد شده در مکانیزم برخی تجهیزات (۰.۷/۶)

به دلیل تاخیر در قطع کنتاکت یکی از فازهای بریکر ۲۳۰ کیلوولت ، جریان در این فاز از ترانسفورماتور بیش از مقدار مجاز بود که باعث عملکرد رله دیفرانسیل ترانسفورماتور گردیده است.

۲-۵-۳-۷- شل بودن کلمپ ها و آرک حاصل از آن (۰.۳/۸)

۲-۵-۳-۸- شرایط جوی نامساعد (۰.۱۱/۵)

بارش برف و باران بر سیستم سیم کشی و مدارات حفاظتی اثر گذاشته و باعث ایجاد اتصالاتی در این مدارها گردیده است.

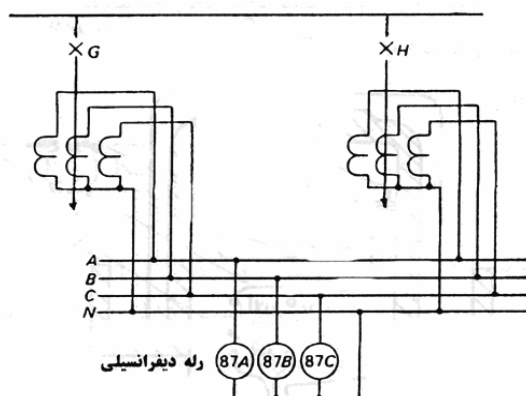
۲-۶- طرحهای رله دیفرانسیلی برای خطوط داخل نیروگاه (شینه ها)

خطاها و حفاظتهای معمول شینه ها عبارتند از:

الف: خطای فاز به فاز شینه که از حفاظت تفاضلی استفاده می شود.

ب: وصل بدنه کلیدزن به زمین که با حفاظت زمین خاص و وصل بدنه کلیدزن ، محافظت می شود .

ج: اتصال فاز به فاز زمین شینه که با حفاظت اتصال زمین شینه محافظت انجام می شود.



شکل (۲-۱۹)

حفاظت شینه در مقابل خطای فاز به فاز

در شینه ها برای حفاظت در مقابل خطای فاز به فاز

از حفاظت تفاضلی شکل ۱۹-۲ استفاده می شود. مکانیزم

عملکرد این سیستم مانند رله های تفاضلی ژنراتور و

ترانس می باشد و صرفاً برای خطاهای فاز به فاز روی

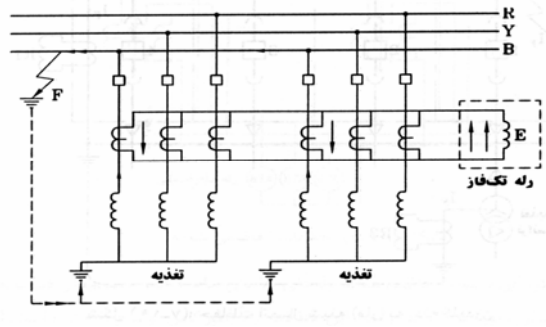
شینه عمل می کند.

حفاظت شینه در برابر خطای اتصال به زمین

در شینه ها برای این نوع خطا حفاظت تفاضلی مطابق شکل ۲۰-۲ در نظر می گیرند. این شینه ها توسط ترانسی که صفر

آن زمین شده نیز زمین شده است . با توجه به این فرض چنانچه اتصال فاز به زمین در نقطه F رخ دهد ، جریانهای I3 ،

I1, I2 از C.T فاز اتصال کوتاه شده ، عبور می کنند و جمع آنها سبب عملکرد رله می شود.



شکل (۲۰-۲)

فصل سوم

رله های جریان زیاد

انواع رله های جریان زیاد

اصول کار رله جریان زیاد

انواع رله های با منحنی مشخصه کاهش

تنظیم و هماهنگی رله جریان زیاد

طرحهای رله جریان زیاد برای:

ژنراتور، موتور، ترانسفورماتور، خطوط داخل نیروگاه (باسبار)



مقدمه

رله های جریان زیاد بر اساس تشخیص جریان ، بیشتر از مقدار تنظیمی کار می کنند. به عبارت دیگر در این نوع رله ها چنانچه خطای ناخواسته و یا اتصال کوتاهی در ناحیه حفاظت شده رخ دهد و جریان بیشتر از مقدار نامی و تنظیمی رله از آن عبور کند، فرمان قطع کلید به منظور جدا نمودن قسمت دچار خطا شده ، صادر می گردد.

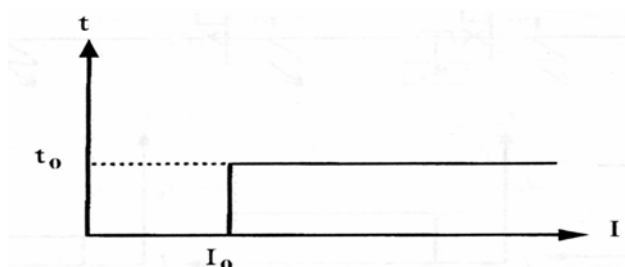
۳-۱- انواع رله های جریان زیاد

رله های جریان زیاد بر سه نوعند:

- الف) رله های زمان ثابت (صرفاً جریانی)
- ب) رله های با منحنی کاهشی (صرفاً جریانی)
- ج و د) رله جریان زیاد با کنترل ولتاژ- یا - رله جریان زیاد با کوئل بازدارنده ولتاژ

الف- رله های جریان زیاد با زمان ثابت:

منحنی مشخصه این رله ها مطابق شکل ۳-۱ است.

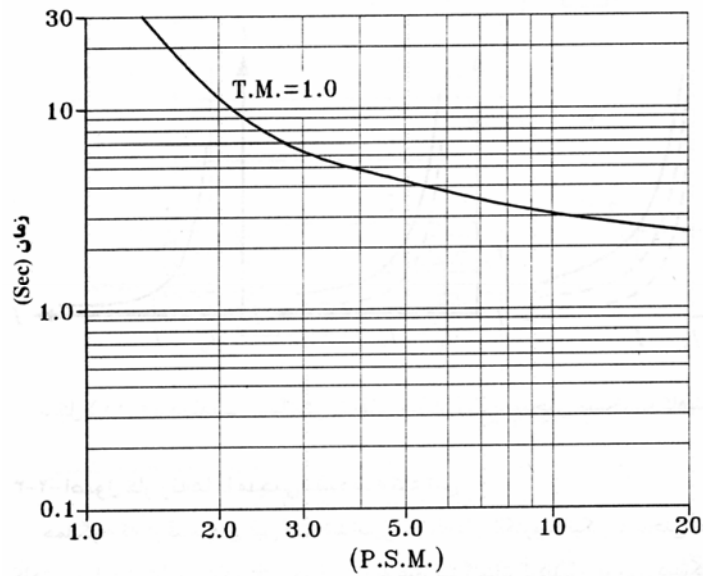


شکل (۳-۱)

وقتی رله برای زمان ثابت تنظیم شود با افزایش میزان جریان الکتریکی، رله در همان زمان معین عمل می کند. هماهنگی به دو صورت هماهنگی زمانی و جریانی صورت می گیرد.

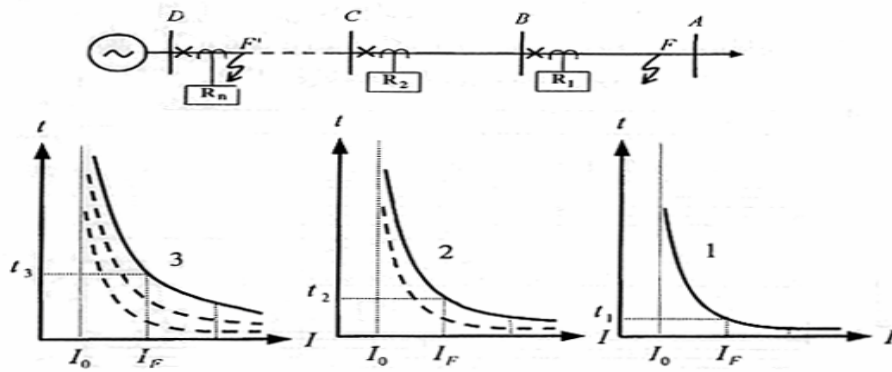
ب-رله های جریان زیاد با منحنی مشخصه کاهشی:

منحنی مشخصه این رله در شکل (۳-۲) آمده است. از آنجاکه استفاده از رله زمان ثابت دارای نواقصی در هماهنگی است، لذا برای شبکه های پیوسته و شعاعی طولانی از رله های با منحنی کاهش استفاده می شود . مزیت این رله در این است که زمان متغیر با جریان است.



شکل (۳-۲): نمونه ای از منحنی مشخصه رله با مشخصه کاهش

شکل ۳-۳ هماهنگی شماتیکی این نوع رله ها را در مقایسه با رله جریان زیاد با زمان ثابت نشان می باشد. با توجه به این فرض، مشخصه های I_0 دهد. فرض می کنیم جریانهای تنظیمی همه رله ها یکسان و برابر و به t_2 در R_2 ، رله t_1 در زمان R_1 ، رله F در شکل نشان داده شده است. برای خطای B, C, D رله های رخ F جریان را قطع می کند و هماهنگی به طور کامل برقرار است. اما اگر خطای t_n در R_n همین صورت، زمان قطع این رله تغییر خواهد I_F دهد همانگونه که در مشخصه دیده می شود به علت زیاد بودن جریان کرد و به طور قابل ملاحظه ای کاهش خواهد یافت و اشکال رله های قبلی برطرف می شود.



شکل (۳-۳): هماهنگی شماتیکی رله های جریان زیاد با منحنی مشخصه کاهش

ج- رله جریان زیاد با کنترل ولتاژ^(۱) (51V)

در صورت استفاده از رله جریان زیاد با زمان معکوس در ژنراتورها ، غالباً مشکلاتی پیش می آید زیرا در بسیاری از موارد

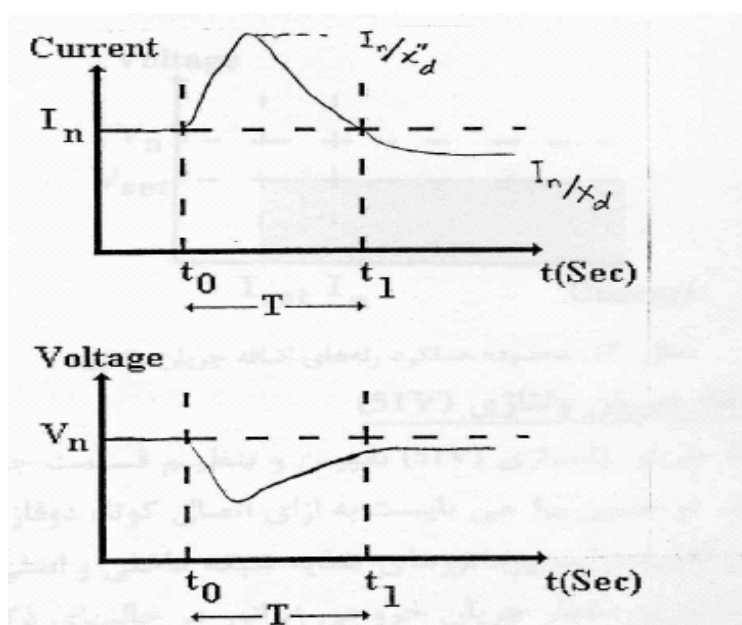
راکتانس

۱) Voltage Controlled Current Relay



سنکرون ژنراتور سبب میشود که جریان اتصالی پایدار از مقدار جریان بار کامل کمتر باشد. البته این موضوع بستگی به شرایط بار قبل از وقوع اتصالی و در مدار بودن یا نبودن تنظیم کننده ولتاژ اتوماتیک ژنراتور دارد وقوع اتصالیها بدون استثنا سبب افت ولتاژ بیشتری نسبت به اضافه بار عادی در ولتاژ شینه ها میگردند و از همین موضوع در رله های جریان زیاد با کنترل ولتاژ استفاده میشود.

در صورت بروز اتصال کوتاه در خروجی ترانسفورماتور اصلی و یا ترانسفورماتورهای تغذیه کننده شبکه داخلی نیروگاه و عدم رفع آن توسط رله های حفاظتی، جریان اتصال کوتاه بعد از مدت زمانی شروع به افت میکند و میزان جریان خروجی ژنراتور بسته به محل وقوع خطا میتواند تا حد زیر جریان بار دائمی ژنراتور برسد که در اینصورت رله های اضافه جریان نیز قادر به تشخیص خطا نخواهند بود. لذا نیاز به رله ای می باشد که بتواند جریان خطای ماندگار و حالت کار طبیعی ژنراتور با بار کم تفاوت قائل شود. جریان خروجی ژنراتور و ولتاژ ترمینال آن به ازای اتصال کوتاه در خروجی ترانسفورماتور اصلی و یا ترانسفورماتورهای تغذیه کننده شبکه داخلی بصورت نمونه مانند شکل (۳-۴) خواهد بود.



شکل (۳-۴): جریان خروجی ژنراتور و ولتاژ ترمینال آن به ازای اتصال کوتاه ماندگار در شبکه

همانطور که در شکل (۳-۴) مشخص می باشد جریان خروجی ژنراتور بعد از گذشت مدت زمان T ثانیه به حد زیر جریان نامی خود میرسد. جهت تشخیص چنین خطائی میتوان از ترکیب یک رله جریان زیاد و یک رله ولتاژ کم استفاده کرد که به این مجموعه، رله جریان زیاد ولتاژی میگویند.

در جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ، از یک رله جریان زیاد حساس با جریان راه اندازی کم که توسط ولتاژ گشتاور آن کنترل میشود، استفاده میگردد. در شرایط کار طبیعی ژنراتور، قسمت ولتاژی این حفاظت، مانع از عملکرد کل رله میشود و در صورت بروز اتصال کوتاه، ولتاژ ترمینال ژنراتور افت کرده لذا قسمت ولتاژی رله اجازه عملکرد به رله جریان زیاد میدهد.

در یک نوع رله جریان زیاد با کنترل ولتاژ، رله دارای دو مشخصه با تنظیم جریان زیاد و کم میباشد، در شرایط کار عادی که ولتاژ در حدود ولتاژ نامی میباشد رله با مشخصه تنظیم جریان زیادتر کار مینماید، این تنظیم بمیزان لازم بیشتر از ماکزیمم جریان بار میباشد، و این مقدار میتواند قدری کمتر از جریان اتصال کوتاه دائم در حالت بار کامل باشد

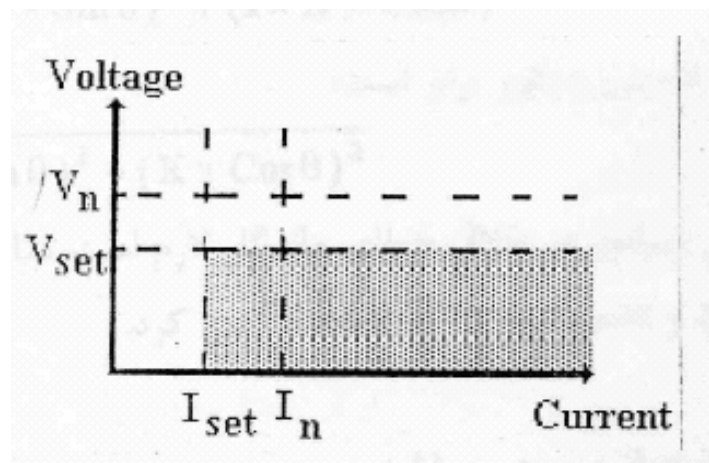
یعنی $I \leq \frac{E}{X_d}$ (E مربوط به تحریک بار کامل میباشد). در شرایط وقوع اتصال کوتاه که ولتاژ کاهش می یابد عنصر

ولتاژی رله عمل نموده و مشخصه رله به مشخصه با تنظیم جریان کم تغییر می یابد. جهت تنظیم این مشخصه که میتواند از ماکزیمم جریان بار نیز کمتر باشد بجای استفاده از E مربوط به بار کامل ژنراتور از ولتاژ IPU استفاده

$$I \approx \frac{1}{X_d} \text{ میگردد بطوریکه}$$

د- رله جریان زیاد با کوپل بازدارنده ولتاژ^(۱)

در رله اضافه جریان با ولتاژ بازدارنده، میزان جریان راه اندازی رله تابعی از دامنه ولتاژ اعمالی به رله میباشد در واقع ولتاژ اعمالی باعث ایجاد گشتاوری مخالف جهت حرکت دیسک رله میشود و در صورت کم بودن دامنه ولتاژ این گشتاور بازدارنده نیز کم خواهد شد و رله میتواند به ازای جریانهای کم نیز عمل کند این عمل به منزله آن است که در اثر کاهش ولتاژ، منحنی عملکرد رله جریان زیاد بسمت چپ انتقال یابد. محدوده عملکرد رله های اضافه جریان ولتاژی مطابق شکل (۳-۵) میباشد.



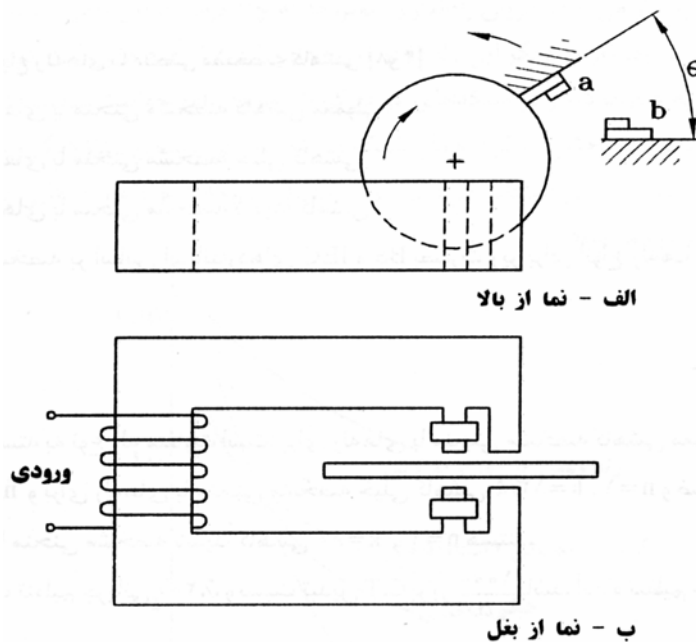
شکل (۳-۵) محدوده عملکرد رله های اضافه جریان ولتاژی

(۱) Voltage –Restrained Over Current Relay

در این رله نیز قسمت جریان زیاد رله دارای مشخصه I.D.M.T بوده و کویل ولتاژی رله بصورت یک نیروی بازدارنده میباشد که بر اساس ولتاژ ترمینالهای ژنراتور تصحیح میگردد. جهت تنظیم جریان این رله نیز از جریان اتصال کوتاه دائم در حالت بار کامل استفاده میگردد (البته این تنظیم در هنگامیکه صد در صد ولتاژ نامی به کویل رله اعمال میشود انجام میگردد و بدیهی است که با توجه به منحنی مشخصه رله های جریان زیاد با کویل بازدارنده ولتاژ، با کم شدن ولتاژ اعمالی به کویل ولتاژی، مقدار جریان جهت پیک آپ (فعال شدن) رله نیز کمتر خواهد شد.

۳-۲- اصول کار رله جریان زیاد:

همانگونه که در فصل اول اشاره شده اصول کار رله های الکترومکانیکی با منحنی مشخصه کاهشی بر این استوار است که وقتی جریان از رله عبور کند گشتاور گردنده ای بر روی دیسک ایجاد می شود که به جریان عبوری از رله بستگی دارد. هر چه میزان جریان عبوری بیشتر باشد، گشتاور تولیدی بیشتر و سرعت گردش دیسک بیشتر می شود و در نتیجه رله سریعتر قطع می کند. شکل (۳-۶) یک رله با منحنی مشخصه کاهشی را نشان می دهد. با عبور جریان الکتریکی از مدار قدرت در ثانویه C.T جریانی متناسب با جریان الکتریکی مدار قدرت عبور می کند. جریان یاد شده وارد سیم پیچ جریان رله شده و شار را متناسب با جریان در مدار مغناطیسی رله ایجاد می کند. در دو قطب ۱ و ۲ شاری متناسب با شار اصلی تحت عناوین Φ_1 , Φ_2 ایجاد می شود. به منظور ایجاد اختلاف فاز بین Φ_1 , Φ_2 یک رینگ دو قطب ۲ قرارداده می شود. در رینگ بسته، جریانی که ناشی از شار آن قطب است، عبور می کند و این جریان سبب ایجاد شار دیگری می شود که جمع شار اصلی و شار ناشی از جریان رینگ بسته، شاری برابر Φ_1 است که با Φ_2 دارای اختلاف فاز خواهد بود.



شکل (۳-۶): ساختمان رله با منحنی مشخصه کاهشی

گشتاور تولیدی در این رله عبارت است از:

$$T = K \Phi^1 \Phi \sin \alpha \quad (3-1)$$

۳-۳- انواع رله های با منحنی مشخصه کاهشی:

رله های جریان زیاد معکوس زمانی، بعلت داشتن منحنی مشخصه معکوس زمانی، هر چه جریان خطا بیشتر شود، زمان عملکرد رله کمتر شده و این باعث میگردد تا زمان اتصالیهای نزدیک به ژنراتور طولانی نگردد. این رله ها به سه دسته زیر تقسیم میگردند:

- رله های با منحنی مشخصه کاهشی معمولی (inverse over current)
- رله های با منحنی مشخصه خیلی کاهشی (very inverse over current)
- رله های با منحنی مشخصه شدیداً کاهشی (Extremely inverse over current)

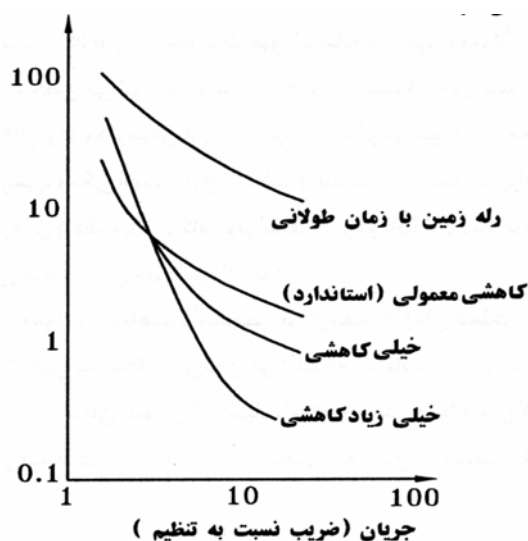
معادله مشخصه بر اساس استانداردهای BS,IEC بصورت زیر برای انواع رله در نظر گرفته می شود.

$$t = \frac{k}{(I)^n - 1} \quad (3-2)$$

k, n بسته به نوع رله متفاوت است. برای رله های با منحنی مشخصه کاهشی معمولی $k=0.14$ و $n=0.02$ برای رله های با منحنی مشخصه خیلی کاهشی $k=14/5$ و $n=1$ برای رله های با منحنی مشخصه شدیداً کاهشی $k=80$ و $n=2$

هستند. رله های با منحنی خیلی کاهشی برای شبکه هایی که جریان خطا با افزایش فاصله بین محل خطا و تغذیه به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد، استفاده می شوند.

در رله با منحنی شدیداً کاهشی، جریان راه اندازی، از رله های معمولی و خیلی کاهشی بزرگتر است همچنین زمان عملکرد آن از هر نوع دیگر کمتر است. و تقریباً بطور معکوس متناسب با مجذور جریان است به همین خاطر این رله ها برای حفاظت موتورها بکار می روند. کاربرد دیگر این رله ها در شبکه هایی است که فیوزهای فشارقوی در آنها بکار رفته است.



شکل (۷-۳): انواع منحنی مشخصه معکوس زمانی

۴-۳- تنظیم و هماهنگی رله جریان زیاد:

۴-۳-۱- تنظیم جریانی (رله با مشخصه کاهشی):

در تنظیم جریانی تعداد حلقه های سیم پیچی رله تغییر داده می شود. این تغییرات از ۵۰ درصد تا ۲۰۰ درصد در گامهای ۲۵ درصدی صورت می گیرد. اعداد ذکر شده مربوط به رله جریان زیاد فازی است. هر چه درصد تنظیم بالاتر باشد، به جریان بالاتری نیاز است. زیرا در این حالت تعداد حلقه ها کمتر می باشد، لذا برای ایجاد شار آستانه حرکت (تنظیم) با تعداد حلقه کمتر، به جریان بیشتری نیاز است. رابطه جریان تنظیمی رله نسبت به اولیه برابر است با:

$$RST = \frac{P.S \times C.T}{100} \quad (۳-۳)$$

p.s : ضریب تنظیم جریانی

۳-۴-۲- تنظیم زمانی (رله با مشخصه کاهشی):

با دور یا نزدیک کردن کنتاکت متحرک به کنتاکت ثابت، می توان رله را به لحاظ زمانی تنظیم نمود. بالاترین ضریب تنظیم زمانی ۱ و کمترین آن ۰/۱ است. پارامتر فاصله توسط همین ضریب در محاسبات تنظیم وارد می شود. ضریب تنظیم زمانی در گستره ۰ تا ۱ با گامهای ۰/۱ انتخاب می شود. گاهی طول این گامها ۰/۰۵ در نظر گرفته می شود. مقدار TSM باید در معادله منحنی مشخصه رله های معمولی خیلی کاهشی و شدیداً کاهشی دخالت داده شود.

$$t = \frac{k}{(I^n - 1)} \times TSM \quad (۳-۴)$$

۳-۴-۳- فاصله لازم برای هماهنگی:

برای هماهنگی یک رله پشتیبان غیر واحد بایک رله اضافی در بخشی از شبکه قدرت لازم است فاصله زمانی حداقل بین زمانهای عملکرد رله های پشتیبان و اصلی وجود داشته باشد. این زمان حدود ۰/۳ تا ۵ ثانیه است. فاصله زمانی یاد شده متعلق به چند عامل است:

خطای مربوط به ترانسفورماتور جریان و منحنی مشخصه رله

این خطا حدود ۰/۱۵ ثانیه است و برای هر یک از ترانس ها و رله های اصلی و پشتیبان ۰/۰۷۵ در نظر گرفته شده است.

زمان عملکرد کلید اصلی:

این زمان حدود ۰/۱ ثانیه منظور گردید. این زمان بدین علت در نظر گرفته می شود که هنگام شروع عملکرد رله پشتیبان، بایستی اطمینان حاصل آید که رله اصلی فرمان داده است و کلید اصلی به عللی نتوانسته است جریان را قطع نماید.

زمان عملکرد رله پس از برداشتن خطا:

این زمان مربوط به وقتی است که خطایی گذرا در خط اصلی اتفاق افتاده و جریان قطع شده است. لیکن رله اصلی به واسطه شتابی که ابتدا داشته مدتی به حرکت خود ادامه داده است. این زمان حدود ۰/۵ ثانیه منظور می شود.

زمان اطمینان:

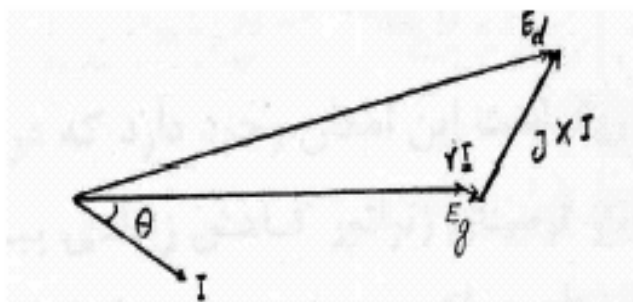
این زمان، مربوط به سایر عوامل ناخواسته است و حدود ۰/۱ ثانیه در نظر گرفته می شود.

۳-۴-۴- تنظیم رله اضافه جریان ولتاژی (51v)

هدف در تنظیم رله اضافه جریان ولتاژی (51v) تعیین و تنظیم قسمت جریان I_{set} و قسمت ولتاژی رله (V_{set}) می باشد. در تعیین I_{set} می بایست به ازای اتصال کوتاه دو فاز و سه فاز ماندگار در ترمینال خروجی ژنراتور و ثانویه ترانسفورماتورهای تغذیه شبکه داخلی و اصلی، جریان خروجی از ژنراتور را حساب کرده و کمترین مقدار جریان خروجی ژنراتور در حالت‌های ذکر شده بعنوان I_{set} در نظر گرفته می شود. ولتاژ ترمینال ژنراتور به ازای عبور جریان I_{set} می باشد.

تعیین ولتاژ ترمینال خروجی ژنراتور در خلال وقوع خطا ماندگار

در شرایط کار نامی ژنراتور دیاگرام فازوری آن بصورت شکل (۳-۸) است:



شکل (۳-۸) : دیاگرام فازوری

که در دیاگرام شکل (۳-۸)، هر یک از بردارها، معادل پارامترهای زیرند:

$$E_d = \text{ولتاژ داخلی ژنراتور (P.U)}$$

$$E_g = \text{ولتاژ ترمینال ژنراتور (P.U)}$$

$$r = \text{مقاومت ژنراتور (P.U)}$$

$$X = \text{راکتانس ژنراتور (P.U)}$$

با صرف نظر کردن از مقاومت ژنراتور میتوان رابطه زیر را نوشت:

$$E_d = \sqrt{(E_g + I \times X \times \sin \theta)^2 + (I \times X \times \cos \theta)^2} \quad (3-5)$$

در شرایط کار نامی، ولتاژ داخلی ژنراتور برابر است:

$$E_d = \sqrt{(1 + X \times \sin \theta)^2 + (X \times \cos \theta)^2} \quad (3-6)$$

برای تعیین ولتاژ ترمینال ژنراتور در خلال خطای ماندگار لازم است تاثیر AVR ژنراتور را در نظر گرفت. لذا دو حالت وجود و عدم وجود AVR را باید بررسی کرد.

الف- AVR ژنراتور خارج از سرویس باشد

در این حالت فرض بر آن است که ولتاژ داخلی ژنراتور (E_d) در خلال خطای ماندگار ثابت باقی می ماند و میتوان مقدار ولتاژ داخلی ژنراتور (E_d) را از رابطه (3-6) بدست آورد.

ب- AVR ژنراتور در مدار باشد

اگر AVR ژنراتور در مدار باشد لازم است جریان نامی تحریک ژنراتور در بار نامی (I_{fn}) و حداکثر جریان تحریک ژنراتور (I_{fmax}) معین باشد. در این حالت حداکثر ولتاژ داخلی ژنراتور از رابطه زیر بدست می آید:

$$E_d = \frac{I_{f \max}}{I_{fn}} E_g \quad (3-7)$$

از آنجا که نسبت (I_{fmax}) به (I_{fn}) زیاد است این امکان وجود دارد که در صورت بروز اتصال کوتاه در طرف ثانویه ترانسفورماتورها، ولتاژ ترمینال ژنراتور کاهش زیادی پیدا نکند و در نتیجه رله های جریان زیاد معمولی عمل کرده و امکان عملکرد به رله جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ را نمیدهند.

پس بهتر آن است که ولتاژ داخلی ژنراتور را با فرض خارج از سرویس بودن AVR بدست آوریم. در این حالت ولتاژ ترمینال ژنراتور به ازای اتصال کوتاه در خروجی ترانسفورماتورها از رابطه زیر بدست می آید:

به ازای اتصال کوتاه دو فاز :

(3-8)

$$E_g = V_L \frac{X_{T1} + X_{T2}}{(X_{G1} + X_{T1}) + (X_{G2} + X_{T2})}$$

به ازای اتصال کوتاه سه فاز :

$$E_g = V_L \frac{X_{T1}}{(X_{G1} + X_{T1})} \quad (3-9)$$

که در روابط فوق ، هر یک از پارامترها، بیانگر مفاهیم زیرند:

X_{T1} = راکتانس توالی مثبت ترانسفورماتور

X_{T2} = راکتانس توالی منفی ترانسفورماتور

X_{G1} = راکتانس توالی مثبت ژنراتور



XG2=راکتانس توالی منفی ژنراتور

VL=ولتاژ فاز- فاز ژنراتور

تعیین جریان خروجی ژنراتور در خلال وقوع خطا ماندگار

در تنظیم قسمت جریانی رله جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ می بایست جریان اتصال کوتاه ماندگار عبوری از ترمینال ژنراتور به ازای اتصال کوتاه در اولین رده حفاظتی بعد از ژنراتور (در سمت ثانویه ترانسفورماتور) را محاسبه کرد. لازم است جریان خروجی ژنراتور را به ازای اتصال کوتاه های سه فاز و دو فاز در محدوده ذکر شده بالا بدست آورد در این حالت میتوان گفت که جریان خروجی ژنراتور به ازای اتصال کوتاه سه فاز در سمت ثانویه ترانسفورماتور برابر است با:

$$I_{3\phi} = \frac{I_n}{X_d + X_T} \quad (3-10)$$

و جریان خروجی ژنراتور به ازای اتصال کوتاه دو فاز در سمت ثانویه ترانسفورماتور برابر است با:

$$I_{2\phi} = \frac{\sqrt{3}I_n}{2(X_d + X_T)} \quad (3-11)$$

۳-۵- طرحهای رله جریان زیاد برای ژنراتور

هنگامیکه در شبکه و در نزدیکی ژنراتور، اتصال کوتاهی صورت گیرد و رله های خط و پست به علی آن اتصال کوتاه را قطع نکنند، از یک رله جریان زیاد برای حفاظت پیشبان استفاده می کنند. ضریب جریانی آن را $1/6$ جریان نامی و ضریب زمانی آن را طوری انتخاب می کنند که بعد از تمام رله های جلوی خود عمل کند. این رله ها را می توان از دو طریق اتصال ستاره یا اتصال مثلث استفاده کرد که رایج ترین آن اتصال مثلث است. در حالت اتصال ستاره بیشترین جریانی که از رله ها عبور می کند در حالت اتصال تک فاز به زمین است و بیشترین جریان برای اتصال مثلث ، در اتصال دو فاز صورت می گیرد. برای تنظیم رله ها در حالت ستاره باید حداکثر زمان قطع را برای حالت اتصال کوتاه تک فاز به زمین تنظیم کرد و برای اتصال مثلث ، اتصال دو فاز را در نظر گرفت.

رله های جریان زیاد استفاده شده در نیروگاه ، معمولاً همگی از نوع کنترل شده با ولتاژ میباشد و مشخصه واحد جریانی این رله ها یا از نوع مشخصه کاهش معمولی و یا از نوع مشخصه خیلی کاهش میباشد. این رله به عنوان حفاظت کمکی برای ژنراتور بکار میرود.

در ساختار الکترومکانیکی ، رله جریان زیاد با عامل مقاوم ولتاژی، از نوع القایی و قاب گردان است که عنصر عمل کننده برای تولید گشتاور عمل کننده بوسیله جریان و عنصر مقاوم برای تولید گشتاور مقاوم بوسیله ولتاژ در قاب گردان بکار میرود.

کارکرد این رله معکوس زمانی است که می خواهیم واحد جریان زیاد در کمتر از جریان با بار کامل ژنراتور، هنگامی که ولتاژ به کمتر از مقدار تعیین شده افت میکند (بفرض ۸۰ یا ۹۰ درصد ولتاژ نامی ژنراتور)، عمل نماید یا برای هر مقدار جریان، وقتی ولتاژ به بالاتر از مقدار تعیین شده میرسد، عمل نکند.

این رله معمولا دارای یک عنصر آنی جریان است که به عنصر القاء کننده اضافه میشود تا به هنگام بروز جریان خیلی زیاد، سریع قطع نماید و خسارتهای وارده را به حداقل برساند و سیم پیچهای عنصر آنی بصورت سری به سیم پیچ های عمل کننده وصل شده اند. مقدار پیک آپ رله جریان زیاد آنی را میتوان از روی راکتانس گذرا و حتی راکتانس فوق گذرا بدست آورد.

۳-۵-۱- تحلیل عملکرد رله های جریانی زیاد ژنراتورهای نیروگاه گازی ری:

در نیمی از بازه زمانی کارکرد این نیروگاه، عوامل عمده عملکرد حفاظت جریان زیاد ژنراتورها بشرح زیر بوده است:

۳-۵-۱-۱- پایین بودن ستینگهای جریانی و زمانی برخی از این رله ها (۱۰/۵٪)

در برخی موارد تنظیمات این رله ها با حساسیت بالایی بوده که موجب عملکرد ناخواسته نیز شده اند.

۳-۵-۱-۲- عدم هماهنگی رله های جریان زیاد واحدها با رله های پست (۱۴/۷٪)

یکی از مهمترین عوامل عملکرد رله جریان زیاد ژنراتورها، عدم هماهنگی لازم بین رله های جریان زیاد واحدها با رله های پست می باشد، مخصوصا عدم عملکرد به موقع رله دیستانس خطوط انتقال مجاور نیروگاه، باعث عملکرد رله جریان زیاد در واحدها و ترانسفورماتورها گردیده است. همچنین رله جریان زیاد باس کوپلر پست اصلی نیروگاه با رله جریان زیاد واحدها هماهنگ نبوده است.

با توجه به اینکه در بسیاری از خطوط منتهی به نیروگاه ری، حفاظت خط تنها با رله دیستانس بوده و بیشتر این رله ها از نوع مقایسه فاز هستند در این رله ها پارامتری تحت عنوان X_{min} تعریف میشود. یعنی فاصله ای در ابتدای خط، که اگر در آنجا خطا اتفاق بیفتد به علت کاهش شدید ولتاژ، کارکرد رله دچار اشکال خواهد شد. به عبارت دیگر آن خطا توسط رله دیستانس دیده نمیشود.

۳-۵-۱-۳- اشکالات الکتریکی و مکانیکی ایجاد شده در برخی تجهیزات (۱۲/۶٪)

به علت اشکالات ایجاد شده در مکانیزم قطع کلید قدرت ژنراتور، که تاخیر در قطع کنتاکت یکی از فازها باعث جاری شدن جریان بیش از مقدار نامی در فازهای دیگر شده است. و یا به علت اشکال ایجاد شده در سنکرونایزر واحدی از این نیروگاه، و در نتیجه عدم سنکرون شدن واحد باعث با شبکه موقع راه اندازین جریان در جهت عکس از شبکه به سمت واحد جاری شده و در این حالت باعث عملکرد رله جریان زیاد شده اند.

۳-۵-۱-۴- پدیده نوسان قدرت (۲۲/۳)

این پدیده میتواند به یکی از شکل‌های زیر بروز کند:

۳-۵-۱-۴-۱- تحت تانسین قرار گرفتن یکی از خطوط شبکه:

نوسان قدرت ناشی از برقرار شدن خطی که دورتر از پست جانبی به نیروگاه بوده باعث کارکرد غلط حفاظتهایی از جمله رله جریان زیاد و دیفرانسیل پست گردیده است.

رله جریان زیاد نسبت به نوسان قدرت حساس است و برای تصحیح این موضوع از رله جریان زیاد مقاوم نسبت به نوسان قدرت میتوان استفاده کرد.

۳-۵-۱-۴-۲- افزایش ولتاژ شبکه:

۳-۵-۱-۴-۳- باز شدن کلید خط انتقال و یا پست:

باز شدن کلید خط انتقال نیز باعث ایجاد نوسان قدرت میگردد که برای جلوگیری از اینگونه تریپها، میتوان از رله توان راکتیو زیاد، هم عرض با رله جریان زیاد استفاده کرد. هنگام افزایش ولتاژ در یک باسبار یعنی افزایش تولید توان راکتیو، رله توان راکتیو زیاد عمل کرده و فیدر را بی برق میکند.

۳-۵-۱-۵- افزایش سرعت ژنراتور (۱۱/۸)

بعنوان مثال بعد از اینکه رله جریان زیاد ترانسفورماتور، بر یک ۲۳۰ کیلوولت این ترانس را باز کرده به دلیل کاهش بار، قبل از اینکه سیستم کنترل سرعت عمل نماید، سرعت توربین به بالاتر از حد مجاز رسیده و در این مواقع رله های جریان زیاد و افزایش سرعت عمل نموده و باعث تریپ واحد میگردد.

۳-۵-۱-۶- اختلال در شرایط جوی (۳/۹)

به دلیل بارش برف و باران و اثرات ناشی از این عوامل بر سیستم سیم کشی و حفاظت آنها، این رله عملکرد ناصحیحی داشته است.

۳-۵-۱-۷- محل استقرار واحدها (۷/۸)

رله جریان زیاد واحدهایی که به پست اصلی نیروگاه نزدیکتر هستند به علت رسیدن سریعتر جریان خطا و یا سهم توزیع بیشتر جریان به آن واحد، دارای عملکرد بیشتری نسبت به واحدهای دورتر دارند.

۳-۵-۲- منطق قطع (تریپ) رله جریان زیاد ژنراتور

اگر به هر دلیلی جریان هر کدام از فازهای ژنراتور بیش از حد مجاز افزایش یابد، باید ژنراتور را از شبکه جدا نمود و نیازی به تریپ ترتیبی و آنی نیست.

۳-۶- طرحهای رله جریان زیاد برای موتور:

آنچه حفاظت موتورها را از سایر تجهیزات الکتریکی متمایز می سازد، در واقع اهمیت بخشی از فرایند نیروگاه و یا سیستم صنعتی است که الکتروموتور در آن بکار گمارده شده است این موضوع گاهی چندان اهمیت می یابد که طرح حفاظتی را بشدت تحت تاثیر قرار میدهد.

بخشی از مساله کاستن هزینه خروج فرآیند و صدمات ناشی از خطا و بالابردن بازده مربوط به بهره برداری است، مهمترین پارامتر در حل این مسئله، تشخیص و مقابله با خطاهاست. موتور الکتریکی بعنوان وسیله ای الکترومکانیک که در فرآیندی ایفاء نقش میکند، در معرض انواع خطاهاست. خطا آنچنان شرایطی است که بوجود آمدن و ادامه آن به موتور (یا فرآیند) صدمه میزند. وقوع خطا باعث خروج تجهیز میگردد که گاهی تعمیر صدمات و راه اندازی مجدد، ساعتها بطول می انجامد. بدین ترتیب هزینه خطا تنها هزینه صدمات مستقیم نیست بلکه عموماً در صنایع، هزینه متوقف شدن فرآیند، ناشی از بروز خطا، بسیار بیشتر است.

در موتورهای بزرگ که از مدارشکن های مخصوص استارت موتورها استفاده می کنند، به منظور اعمال حفاظت مناسب ، از رله های جریان با زمان زیاد (long time over current relay) می توان استفاده کرد. برای این مقاصد، رله های فوق دارای مزایا و معایب زیر هستند:

مزایا:

- ۱- تنظیم تاخیر زمانی به صورت پیوسته
- ۲- تنظیم جریانی پیک آپ ، محدوده وسیعی از جریانها را می پوشاند
- ۳- داشتن دقت کافی
- ۴- آسانی و سرعت در آزمایش رله
- ۵- داشتن شاخص عملکرد

معایب:

- ۱- شکل منحنی مشخصه به گونه ای است که معمولاً دستور قطع خیلی زودتر از زمانی که لازم باشد، صادر می شود.
- ۲- هیچ گونه عملکرد حرارتی نداشته و سریعاً بعد از یک بار خروج ناشی از اضافه بار، به حالت اولیه خود برمی گردند و از این رو در مقابل استارت مجدد و بلافاصله ، هیچ گونه حفاظتی وجود ندارد.

۳-۶-۱- طرحهای حفاظتی مدرن الکتروموتورها:

آرایش حفاظتی، تعداد حفاظتها، انتخاب تجهیز همگی به پارامترهای زیر وابسته است:

قدرت الکتروموتور

- ماهیت فرآیندی که موتور در آن مشغول بکار است.
 - اهمیت و حساسیت فرآیندی که الکتروموتور در آن ایفاء نقش میکند.
- این بدان معنی است که ما باید مقایسه و مصالحه ای بین هزینه و اهمیت فرآیند و موتور انجام دهیم تا به حفاظتی منطقی برسیم. اما از آنجا که حفاظت الکتروموتور از یکسو تابع شرایط فرآیند و از سوی دیگر تابع ساختار شبکه تغذیه کننده است، تاکنون روشها و طرحهای حفاظتی الکتروموتورها، با استاندارد مشخصی تعریف نشده است. ولی بر مبنای قابلیت‌های متعددی که در رله های نسل جدید میکروپروسسوری گنجانده شده است، میتوان طبقه بندی پیشنهادی زیر را جهت حفاظت الکتروموتورها مورد استفاده قرار داد. در جداول ۳-۱ تا ۳-۵ این طرحها طبقه بندی شده اند همچنین در جدول ۳-۶ قابلیت‌های برخی رله های حفاظت موتوری نسل جدید نشان داده میشود. اطلاعات مندرج در این جداول عملاً این امکان را مهیا میسازد که خواننده بتواند رله مناسب را برای هر کاربرد مشخص انتخاب نماید. لازم به ذکر است که جداول ۳-۱ تا ۳-۵ بر مبنای آخرین پیشنهادهای IEEE (انجمن مهندسين برق و الکترونیک آمریکا) تنظیم گردیده است مع الوصف این نظام پیشنهادی با توجه به فرآیندی که موتور در آن مورد استفاده قرار میگیرد میتواند کمی دستخوش تغییر شود. در واقع این جداول تعداد و نوع حفاظت را بر حسب سطح ولتاژ و توان الکتروموتور نشان میدهند.

۲-۶-۳- نکات مهم در تعیین حفاظت الکتروموتورها:

- به جهات فنی میتوان یک حفاظت ایده آل را چنین توصیف نمود:
- یک حفاظت ایده آل ، باید بطور دائم کلیه کمیتهای مکانیکی، حرارتی و الکتریکی موتور را مانیتور و پردازش کند، بگونه ای که بتواند رفتار طبیعی و غیر طبیعی موتور را در شرایط نرمال، راه اندازی، شتاب مجدد، ترمز و توقف تشخیص دهد. این حفاظت همچنین باید قابلیت ارتباط دو سویه با مدار قدرت و سیستم کنترل فرآیند را دارا باشد، بگونه ای که با لحاظ کردن شرایط این دو در تعیین وضعیت موتور، دقت را در الگوریتم تشخیص و مقابله با خطا افزایش دهد. بعنوان مثال برخی تغییرات در جریان ممکن است با توجه به شرایط مدار قدرت یا فرآیند کاملاً طبیعی جلوه کند (مانند راه اندازی یا اضافه بار برنامه ریزی شده)

از سوی دیگر، در صورت توسعه ارتباط بین رله، فرآیند و مدار قدرت، برخی خطاها را میتوان به بهترین شکل و با کمترین خسارت مهار نمود (مثلا در هنگام اضافه بار، وارد کردن یک موتور کمکی یا تغییر در شرایط فرآیند میتواند راه حلی مناسب باشد).

شکل ۶-۳ شمایی از یک حفاظت کامل را نشان میدهد.

امتیاز یک حفاظت، علاوه بر هزینه کم رله، آن است که بتواند کلیه فعالیتهای فوق را با حداقل تجهیزات کمکی مانند سنسورها انجام دهد. این وظیفه مهندس حفاظت است که با مقایسه بین اهمیت ها و هزینه ها، طرح حفاظتی بهینه را معرفی نماید.

آنچه امروز یک متخصص حفاظت باید با آن آشنا باشد مدلهای توصیف کننده الکتروموتور، اهمیت و کلیاتی راجع به فرآیندی که الکتروموتور در آن ایفاء نقش میکند، الگوریتمهای حفاظتی و خواص یک رله کارآمد است.

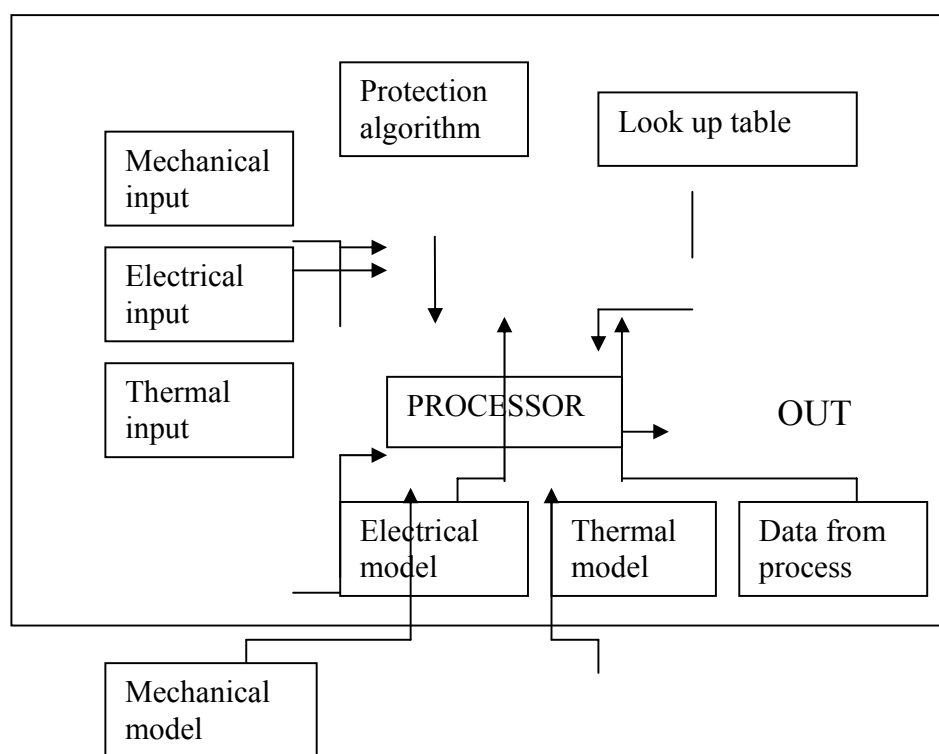
نکته دیگری که در طراحی حفاظت یک موتور مهم است شرایط مدار قدرت و سیستم کنترل فرآیند است که رؤس این شرایط را در زیر بر می شماریم:

- مشخصات مدار قطع کننده (کلید یا کنتاکتور)
- نحوه زمین کردن سیستم تغذیه (ایزوله، با امپدانس کم و با امپدانس زیاد)
- امکان تغییر در نقطه تغذیه کننده (REACCELERATION & BUS TRANSFER)
- سنسورهای پیش بینی شده در الکتروموتور
- STATOR THERMOMETER DEVICE
- BEARING THERMOMETER DEVICE
- VIBRATION SWITCH
- LUBRICATION FAULT INDICATOR
- امکانات سیستم کنترل از راه دور فرآیند جهت دریافت اطلاعات از سیستم حفاظت و ارسال فرامین

به آن

- حساسیتها و خواسته های کارفرما و همچنین توقعات طراحان فرآیند که شاید برترین جایگاه را در سیستم حفاظت دارا باشد.

شکل (۳-۹)



جدول (٣-١)

Low Voltage Combination Starter Comprised Of Either A MCCB Or Fused Disconnect And A Magnetic Contactor With An Over Load Relay

Ratings	Range of Ratings
Countinuous Ampers	9-250
Nominal Voltage, Volts	240
Horsepower	240-600
Type of Protection	Quantity
Overload	
Overload relay element	3
Short circuit	
Short circuit (CB Current Trip Element)	3
Fuses	3
Under voltage	
Inherent with integral control supply and three-wire control circuit	
Ground (when specified)	
Ground relay with toroidal current transformer	1

Medium Voltage Class E Motor Controller

Ratings E2	Class-E1	Class
Nominal System Voltage, Volts 6900 Horsepower	2300-6900	2300- 0-8000 0-8000
Symmetrical MVA interrupting capacity at nominal system voltage	25-75	160-570
Type of Protection		
		Quantity
Overload or locked rotor or both		
Thermal overload relay		3
Time over current relay		3
Instantaneous over current relay Plus time delay		3
Short circuit		
Fuse, ClassE2		3
Instantaneous over current relay Class E1 Ground fault		3
Ground fault		
Time over current residual relay		1
Over current relay with toroidal current transformer		1
Phase balance		
Current balance relay (per motor) or Negative sequence voltage relay (per bus) or both		1
Under voltage		
Inherent with integral control supply and three-wire control circuit		
When voltage falls sufficiently to permit the contractor to open and break the seal-in circuit		
Temperature		
Temperature relay, operating from resistance sensor or thermocouple in stator winding		

جدول (٣-٣)

Protection for low- voltage motors, manually or electrically operated, with series trip device

Type of stator protective device (all direct acting)	Quantity	function.
NO		
Overload		
Static trip devices	3	51
Short circuit		
Fuses	3	
Static trip devices	3	50
Under voltage		
Time delay under voltage relay	1	27
Ground (when specified)		
Ground relay with toroidal current transformer	1	50G

جدول (٣-٤)

Protection for low- voltage motors, manually or electrically operated, with series trip device

Type of stator protective device	Quantity	Std. Device function.
NO		
Overload		
Static trip devices	3	51
Thermal- Over current relay	3	49
Time over current	3	51
Short circuit		
Fuses	3	
Static trip devices	3	50
Instantaneous over current relay	2 or 3	50
Ground fault		
Time over current relay, residual connection	1	51N
Time over current relay with toroidal transformer	1	
Under voltage		
Direct acting time delay under voltage relay	1	27

Protection for medium- voltage motors

Ratings	Range of
Ratings	0-3000
Continuous amperes	4160-13800
Nominal system voltage	0-3000
Symmetrical amperes interrupting capacity at maximum rated voltage	3500-41000
Type of Stator Protection function. NO	Quantity
Overload	
Thermal over current relay	2 or 3
49 Time over current	2or
3 51	
Temperature relay, operated from resistance sensor or thermocouple in stator winding	1
49	
Locked rotor	
Damper winding thermal relay	
Time over current relay with instantaneous attachment short circuit	26
Time over current relay with instantaneous attachment	3
50/51	
Instantaneous over current relay	2 or 3
50	
Percentage differential relay	87
Self- balancing primary current, differential relay	87
Ground fault	
Time over current relay, residual connection	1
51N	
Instantaneous or time over current relay with toroidal	1
50R51G	
Transformer	
Phase balance	
Current phase balance relay	1
46	
Negative sequence voltage relay	1
47	
Under voltage	

	Instantaneous under voltage relay	1	27
	Time under voltage relay	1	27
27/47	Under voltage & phase sequence relay	1	
27/48	Under voltage supervised by phase sequence relay	1	
81	Under frequency relay	1	
	Ancillary protection		
	Vibration limit relay	1	39
38	Bearing over temp/wear device	1 or 2	
	Ambient temp. Control device	1	23
45	Zero speed/ over speed device	1	
12/14	Atmospheric condition monitoring device	1	

جدول (٣-٦)

Positive sequence under voltage	Start per hour	Phase under current	Locked rotor/excessive starting time	Negative sequence/unbalance	Earth fault (sensitive e/f)	Phase over current	Thermal over load	DESCRIPTION	سازنده
27D	66	37	48/51LR	46	50N/51N (G)	50/51	49	ANSI	سازنده
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	M02	Sepam 2000
OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	M08	
OK		OK		OK	OK	OK	OK	LT6	TELEM ECHAN
OK			OK	OK		OK	OK	Delfi150	Zahra
OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	P241	Micom
OK		OK	OK	OK	OK	OK	OK	7SJ551	SIEMENS
	OK		OK	OK	OK	OK	OK	01,02	MOPN
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Spam150	ABB

ادامہ جدول (۳-۶)

Under frequency	Watt metric earth fault	Over voltage	Motor differential	Temperature set points (6RTDS)	Real over power	Reverse real power	Directional earth fault	Direction of rotation	
	32N/64N	59	87M	38/49T	32Q/40	32P	67N	47	سازندہ
									Sepam 2000
				OK	OK	OK	OK	OK	TELEME CHANIC
			OK	OK	OK	OK	OK		Zahra
		OK							Micom
OK	OK	OK					OK	OK	SIEMENS
		OK		OK			OK		MOPN
									ABB

3-7- طرحهای رله جریان زیاد برای ترانسفورماتور:

برای حفاظت ترانسفورماتور در مقابل جریان زیاد از فیوز یا رله جریان زیاد استفاده می کنند. در ترانسهای توزیع ، فیوز برای حفاظت در مقابل اتصال کوتاه بکار می رود. جهت استفاده از رله جریان زیاد باید به هر طرف ترانسفورماتور سه عدد C.T و سه عدد رله جریان زیاد و یک عدد رله جریان اتصال زمین اختصاص داد. البته اگر ترانس از یک طرف تغذیه شود، این ترکیب فقط برای همان طرف است. تنظیم جریان کار رله در حدود ۱۵۰٪ جریان نامی است. رله جریان زیاد بین اتصالهای داخل و خارج ترانس نمی تواند تمایز قائل شود. بنابراین نمی توان آن را خیلی سریع تنظیم کرد. زیرا در اینصورت برای خطاهای خارجی نیز عمل خواهد کرد. اگر اتصال کوتاه داخلی باشد ، جریان خیلی زیادی عبور خواهد کرد. برای اینکه زمان عملکرد رله در مورد خطای داخلی را کاهش دهیم از مشخصه جریان زیاد آنی به همراه رله اصلی جریان زیاد استفاده می کنیم. این رله طوری تنظیم می شود که برای حداکثر جریان اتصال کوتاه خارجی عمل نکند. رله دیفرانسیل حفاظت اصلی را انجام میدهد و رله جریان زیاد نقش حفاظت پشتیبان را دارد.

3-7-1- تحلیل عملکرد رله های جریان زیاد ترانسفورماتور های نیروگاه گازی:

درباره زمانی انجام این مطالعه در نیروگاه ری، عوامل عمده عملکرد حفاظت جریان زیاد ترانسفورماتور ها بشرح زیر میباشد:

3-7-1-1- پایین بودن ستینگهای جریانی وزمانی برخی از این رله ها (۱۴/۸٪)

3-7-1-2- عدم هماهنگی رله های جریان زیاد ترانسفورماتور واحدها با رله های پست نیروگاه (۳۵/۱۸٪)

عدم عملکرد به موقع رله دیستانس خطوط انتقال نیرو و رله جریان زیاد باس کوپلر پست نیروگاه، باعث عملکرد رله جریان زیاد ترانسفورماتورها شده است.

3-7-1-3- ترکیدن تجهیزات (۴/۲٪)

بعنوان مثال ترکیدن برقگیر یکی از خطوط نیروگاه، و جریان ایجاد شده در اثر آن، باعث عملکرد این رله شده است.

3-7-1-4- خطای نیروی انسانی و زمین شدن سیستم (۲/۱۲٪)

بر اثر فرمان اشتباه به سکسیونر زمین شده به هنگام تعمیر بر روی بریکر پست اصلی نیروگاه، از جمله رله های عمل کننده ، رله جریان زیاد ترانسفورماتورها بوده است.

3-7-1-5- اشکالات ایجاد شده در برخی تجهیزات (۲/۱۲٪)

به دلیل اشکال ایجاد شده در ترانسفورماتور ولتاژ (PT) یکی از فازها و اتصال کوتاه شدن فاز مربوطه، رله جریان زیاد ترانسفورماتور عمل کرده است.

۳-۷-۱-۶- بروز خطا در شبکه (۳۳/۷)

یکی دیگر از مهمترین عوامل عملکرد رله جریان زیاد در ترانسفورماتور، بروز خطا در شبکه و خطوط انتقال این نیروگاه، میباشد.

۳-۸- طرحهای رله جریان زیاد برای خطوط داخل نیروگاه (باسبار)

حفاظت پشتیبان باسبار توسط رله های جریان زیاد و دیستانس صورت می پذیرد. حفاظت ترانس به کلیدهای دو طرف فرمان می دهند. اما حفاظت باسبار به تمام کلیدها فرمان می دهد بنابراین باید خیلی دقیق باشد. اگر اتصالی روی باسبار باشد جریان زیاد عبور می کند و محل اتصال را تغذیه می کند. در نتیجه رله جریان زیاد عمل می کند و شین را از شبکه جدا می کند. اشکال استفاده از رله جریان زیاد این است که بین خطاهای روی شین یا خارج از شین تمایزی قائل نمی شود. چون هر دو جریان زیاد می کشند. بنابراین استفاده از رله جریان زیاد به عنوان حفاظت اصلی نمی تواند مطرح باشد و نقش پشتیبان دارد.



فصل چهارم

رله اتصال زمین

حفاظت اتصال زمین روتور (ژنراتور)

اصول کار رله های اتصال زمین

تنظیم و هماهنگی رله های اتصال زمین

طرحهای رله اتصال زمین برای:

خطوط داخل نیروگاه

ترانسفورماتورهای داخل نیروگاه

موتور

ژنراتور





مقدمه:

آشکار سازی اتصال زمین که از معمولترین نوع خطاها می باشد، توسط رله های جریان زیاد انجام می گیرد ولی با استفاده از رله هایی که تنها به جریان باقیمانده حساس باشند، میتوان به حفاظت دقیقتری نیز نائل گردید. جریان باقیمانده (جریان توالی صفر) تنها وقتی که اتصال زمین در سیستم موجود باشد بوجود می آید و این جریان را میتوان با قراردادن یک ترانس جریان بین نقطه صفر و زمین و یا موازی نمودن سه ترانس جریان موجود بر روی فازها، آشکار نمود.

۴-۱- حفاظت اتصال زمین روتور (ژنراتور):

مدار تحریک ژنراتور از زمین ایزوله میباشد، لذا اگر یک نقطه از این سیم پیچی روتور زمین گردد خسارت یا مشکلی در کار ژنراتور ایجاد نمیکند، اما وجود این اتصال زمین باعث میگردد به علت کمیتهای گذرای استاتور، ولتاژی در روتور القاء گردیده و ولتاژ نقاط دیگر سیم پیچی روتور را نسبت به زمین افزایش دهد. بدین جهت احتمال وقوع اتصال زمین دیگری در سیم پیچی روتور افزایش پیدا می نماید، حال اگر اتصال زمین دومی روی دهد باعث میگردد که در قسمتی از سیم پیچی روتور (سیم پیچی که دو انتهای آن اتصال زمین شده است) جریان بجای عبور از سیم پیچ، از زمین عبور کند و لذا جریانی که از قسمت باقیمانده سیم پیچی می گذرد ممکن است افزایش پیدا نماید.

خارج شدن بخشی از سیم پیچی روتور از مدار باعث عدم توازن شار مغناطیسی در فاصله هوایی و متعاقباً نامتعادل شدن نیروهای مغناطیسی در دو طرف متقابل روتور را بدنبال خواهد داشت. البته بسته به اینکه کدام قسمت از سیم پیچی روتور از مدار خارج شده باشد این عدم تعادل نیروها میتواند چنان زیاد شود که حتی محور روتور را خم نموده و یا باعث از جا کنده شدن روتور گردد. شواهدی در دست است که لرزش حاصله، باعث شکستن پایه های یاتاقان و سائیدن روتور به استاتور گردیده است، بروز این گونه عیوب خسارتهای شدیدی را به بار میآورد که ترمیم آن مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی میباشد. البته ممکن است در دومین نقطه اتصالی در سیم پیچی روتور مقدار سیم پیچ از مدار خارج شده، کم بوده و تاثیر چندانی بر روی تعادل شار مغناطیسی روتور نگذارد. اما قوس الکتریکی در محل اتصالی، امکان دارد روتور را بطور موضعی گرم و بآهستگی آنرا معوج نموده و ایجاد لرزش نماید که این لرزش ظرف مدت زمانی، کم کم گسترش یابد. با توجه به موارد فوق میتوان با دو دیدگاه به این موضوع نظر نموده و دو روش زیر را بکار برد:

۱- میتوان بسیار محتاطانه عمل نمود، و با فرض اینکه شاید دو اتصالی با هم و یا با فاصله زمانی کم نسبت به هم اتفاق بیفتند، روشی را اتخاذ نمود که جهت جلوگیری از هر گونه حادثه احتمالی، به محض عملکرد رله اتصال زمین روتور، بریکر ژنراتور و سیستم تحریک سریعاً تریپ داده شوند.

۲- و یا میتوان این نظر را داشت که پس از بروز اولین اتصال زمین در سیم پیچ روتور، احتمال وقوع پیوستن اتصال زمین دومی در کوتاه مدت، بسیار کم بوده که در اینصورت میتوان با عملکرد رله اتصال زمین روتور، آلام هشدار دهنده ای را بصدا درآورد، که در اولین فرصت ممکن ژنراتور را از مدار خارج نموده و اقدام به رفع عیب گردد (معمولاً این روش بیشتر مورد استفاده قرار میگیرد).

۴-۱-۱- عوامل ایجاد اتصال زمین در روتور

کثیف بودن سیم پیچی تحریک، یکی از مهمترین عواملی است که ایجاد اتصال زمین در روتور مینماید. زیرا بر اثر این کثیفی، عمل خنک کردن سیم پیچی بخوبی انجام نگرفته و در نتیجه حرارت قسمتی از سیم پیچی از حد مجاز تجاوز نموده و سبب خراب شدن عایق بندی سیم پیچی میگردد. یکی دیگر از عواملی که باعث صدمه زدن به عایق بندی سیم پیچی روتور میگردد، اضافه ولتاژهای ناشی از برداشتن ناگهانی جریان تحریک از ژنراتور میباشد. که هر چه جریان تحریک در موقع قطع بیشتر باشد اضافه ولتاژهای حاصله بیشتر خواهد بود (در بعضی از سیستمها جهت حفاظت و پایداری بیشتر ژنراتور در مقابل اتصال کوتاه لحظه ای و یا افزایش جریان لحظه ای که ولتاژ ژنراتور افت مینماید برای بالا بردن ولتاژ ژنراتور به میدان تحریک بیشتری نیاز است که در این حالت از طریقی تغذیه میدان تحریک ژنراتور اضافه میگردد که پایداری ژنراتور بیشتر شده و امکان برطرف شدن عیب را بدون قطع ژنراتور بدهد، بدترین حالت اضافه

ولتاژهای ناشی از برداشتن ناگهانی جریان تحریک، زمانی است که یک ژنراتور در وضعیت ذکر شده سیستم تحریکش باز گردد) و لذا جهت جلوگیری از اضافه ولتاژ زیاد ناشی از تغییرات جریان نسبت به زمان $(\frac{di}{dt})$ بر روی سیم پیچی روتور در سیستمهای استاتیک عموماً قبل از قطع بریکر تحریک، مقاومتی بنام مقاومت تخلیه را به روشهای مختلفی در مدار سیم پیچی تحریک قرار میدهند.

بطور مثال برای برداشتن جریان از سیم پیچی تحریک، ابتدا سیم پیچی تحریک از طریق مقاومت RS اتصال شده و سپس از تحریک جدا میگردد. که در این حالت ولتاژ گذرای سیم پیچ تحریک از طریق معادله زیر محاسبه میگردد:

$$V = \frac{R_s}{R_f} V_{fi} e^{-\frac{t}{T}}$$

R_f مقاومت سیم پیچی روتور (تحریک) ، V_{fi} ولتاژ اولیه تحریک و T ثابت زمانی مدار است که برابر با

$$T = \frac{L_f}{R_f + R_s}$$

میشود (L_f اندوکتانس سیم پیچی روتور میباشد).

چنانچه مشاهده میگردد مقدار انتخاب مقاومت RS بسیار مهم میباشد و دو مسئله مختلف را باید برای انتخاب RS در نظر گرفت یکی اینکه در مواقع ظاهر شدن اتصال داخلی در ژنراتور سیستم تحریک ژنراتور سریعاً باید قطع گردد تا از تغذیه محل اتصالی و ایجاد خسارت زیاد جلوگیری بعمل آید و دیگر اینکه ولتاژ ایجاد شده ناشی از قطع سریع تحریک، بطوری نباشد که به عایق بندی سیم پیچی روتور لطمه بزند.

مثلاً در استاندارد روسی مقاومت RS را مساوی با ۵ برابر R_f در نظر گرفته اند که ولتاژ گذرا در این حالت بیش از ۵ برابر ولتاژ اولیه نخواهد بود.

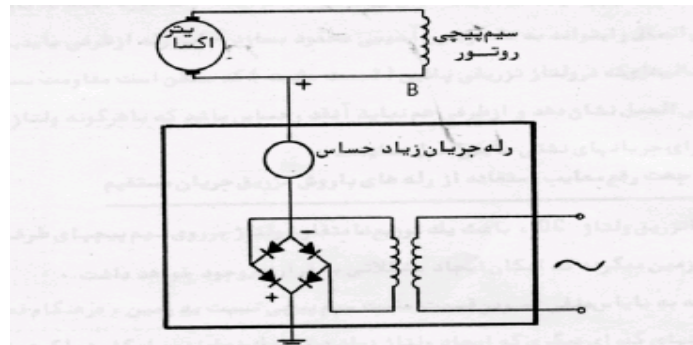
در سیستم های بدون جاروبک، میدان تحریک ژنراتور با معکوس نمودن پل تریستوری تغذیه کننده آن قابل میراسازی است و زمان تخلیه کمی طولانی تر از سیستم هایی است که از کلید میدان و مقاومت تخلیه استفاده مینمایند.

۴-۱-۲- روشهای مشخص نمودن اتصال زمین روتور

جهت مشخص نمودن اتصال زمین در سیم پیچ تحریک از روشهای مختلفی استفاده میگردد. که دونه از روشهای مناسب آن عبارتند از روش تزریق جریان مستقیم و روش پتانسیومتری که توضیحاتی در مورد تئوری عملکرد هر کدام از آنها به قرار زیر داده میشود.

۴-۱-۲-۱- روش تزریق جریان مستقیم

پس از یکسو نمودن یک ولتاژ متناوب توسط بخش یکسو ساز یک رله جریان زیاد حساس، قطب مثبت سیستم تحریک توسط خروجی یکسوساز، با یاس منفی می‌گردد بدین صورت که خروجی منفی یکسوساز به سمت قسمت مثبت سیم پیچی تحریک وصل شده که در این حالت طرف منفی سیم پیچی تحریک نیز در ولتاژ منفی تری نسبت به زمین قرار می‌گیرد بطوریکه یک اتصال زمین در هر نقطه ای از سیم پیچ میدان سبب عبور جریانی از یکسوساز و رله می‌گردد.



شکل (۴-۱): روش تزریق جریان مستقیم

برای بهتر روشن شدن مطلب فرض می‌گردد که ولتاژ سیستم تحریک در حالت کار ۹۰ ولت DC بوده و خروجی یکسوساز نیز ۳۰- ولت DC می‌باشد (نسبت به زمین). حال با وصل نمودن خروجی یکسوساز به قسمت مثبت سیم پیچی تحریک، این قسمت دارای ولتاژی حول و حوش ۳۰- ولت نسبت به زمین خواهد بود و در این حالت قطب منفی سیم پیچی دارای یک ولتاژ بالاتری نسبت به زمین و برابر با ۱۲۰- ولت $(-۳۰ + (-۹۰) = -۱۲۰)$ است. طبیعی است که رله اتصال زمین روتور ژنراتور حساسیت بیشتری نسبت به اتصال زمین های قسمت منفی سیم پیچی را دارا خواهد بود و یا هر چه نقطه اتصالی در سیم پیچ تحریک به قسمت منفی نزدیکتر باشد حساسیت زیادتر می‌باشد.

حال اگر خروجی منفی بخش یکسوساز رله به قسمت منفی تحریک وصل گردد، قسمت منفی دارای همان ۳۰- ولت نسبت به زمین خواهد بود ولی قطب مثبت تحریک دارای ولتاژی معادل با $(-۳۰ + ۹۰ = ۶۰)$ ولت خواهد گردید که واضح است حساسیت آن نسبت به حالت با یاس منفی کمتر می‌باشد.

مثال: اگر مقدار پیک آپ جریان رله ۰/۳ mA باشد و خروجی یکسوساز رله نیز ۳۵- ولت بوده و ولتاژ تحریک ژنراتور نیز ۱۰۰ ولت باشد. حساسیت اهمی برای اتصال زمین در نقطه B (شکل فوق قسمت منفی)، برابر با تقریباً (اهم

$$\left(\frac{35}{0/0003} = 116000 \text{ اهم}\right) \text{ (قسمت مثبت) برابر با تقریباً (اهم) } \left(\frac{135}{0/0003} = 450000\right) \text{ و برای اتصال زمینی در نقطه A}$$

می‌باشد.



۴-۱-۲-۱-۱- مشخصات رله با روش تزریق جریان مستقیم

طرز کار این رله ها چنانچه مشخص است در هنگام زمین شدن یک نقطه از سیم پیچی میدان مدار رله از طریق بخشی از سیم پیچ میدان تحریک و زمین بسته شده و رله انرژی دار میگردد البته هنگامیکه روتور بدون اتصال زمین باشد جریانی که از رله عبور می نماید بعلت کوچک بودن کاپاسیته روتور نسبت به زمین، بقدری کم است که در رله تاثیری ندارد. ولی در هنگام اتصالی روتور با زمین، کاپاسیته بین روتور و زمین اتصال کوتاه شده و جریان زیادی از محل اتصالی و رله خواهد گذشت. رله مورد استفاده باید دارای مقاومتی باشد که جریان اتصالی را بتواند به مقدار بدون آسیبی محدود بسازد. این رله از طرفی باید به اندازه ای حساس باشد که به اتصالی هایی که در ولتاژ تزریقی پایین (قسمت مثبت) که ممکن است مقاومت نسبتا بزرگی داشته باشد عکس العمل نشان دهد و از طرفی هم نباید آنقدر حساس باشد که با هر گونه ولتاژ گذرا در اثر فشار میدان و غیره برای جریانهای نشتی عایقی عمل نماید.

۴-۱-۲-۱-۲- اقداماتی جهت رفع معایب استفاده از رله های با روش تزریق جریان مستقیم

رله با تزریق ولتاژ DC، باعث یک توزیع نامتقارن ولتاژ بر روی سیم پیچهای طرف مثبت و منفی تحریک نسبت به زمین میگردد که امکان ایجاد مشکلاتی به فرار زیر وجود خواهد داشت.

۱- با توجه به بایاس منفی نمودن قسمت مثبت سیم پیچی نسبت به زمین، در هنگام قطع و وصل کلید تحریک یا کمیتهای گذرای دیگری که ایجاد ولتاژ زیاد در تحریک نمایند، امکان عملکرد رله اتصال زمین روتور بعلت بالا رفتن جریان کاپاستیو قسمت منفی سیم پیچ نسبت به زمین وجود دارد. لذا توصیه میگردد با اضافه نمودن یک تایمر چند ثانیه ای از عملکردهای ناخواسته رله جلوگیری بعمل آید.

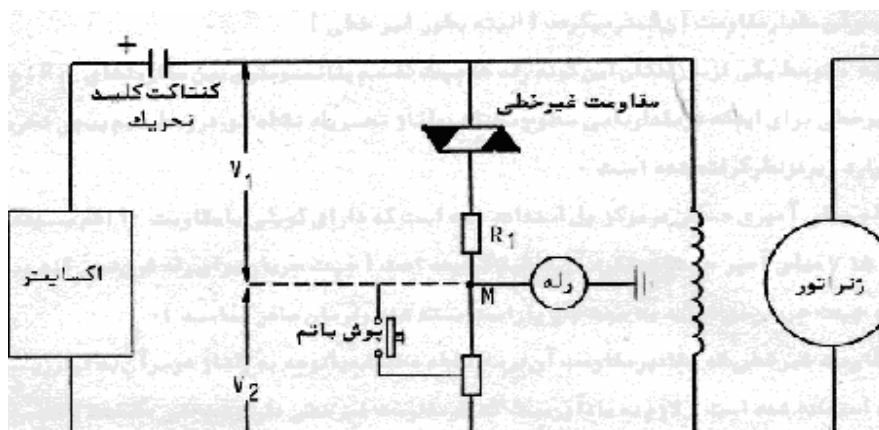
۲- اضافه ولتاژهای ذکر شده فوق و یا هر گونه افزایش ولتاژی در تحریک، امکان آسیب رساندن به عایق بندی سیم پیچی روتور بخصوص در قسمت منفی تحریک را ایجاد خواهند نمود. حتی المقدور جهت جلوگیری نمودن از این مشکل، در موقع قطع کلید تحریک، سیستم باید مجهز به مقاومت و کلید تخلیه میدان باشد و همچنین مجهز به عناصر ضربه گیر در خروجی سیستم تحریک باشد که از افزایش بیش از حد ولتاژ در حالت کلید زنی و حالتهای گذرا جلوگیری بعمل آورد.

۳- با توجه به نحوه اتصال رله به سیم پیچی تحریک، قسمت منفی سیم پیچی همیشه از حساسیت بیشتری نسبت به قسمت مثبت سیم پیچی برخوردار خواهد بود. که البته در این مورد با توجه به اینکه این گونه حفاظت زمین روتور بیشتر در تحریک های استاتیک از آن استفاده میگردد و در تحریک های استاتیک جهت جلوگیری از خورده شدن کلکتوری که در تماس با دغال قسمت منفی سیستم تحریک است هر چند وقت یکبار کابلهای مثبت و منفی متصل به کلکتورها جابجا میگردند لذا با فاصله پربودیک زمانی تعویض کابل مثبت و منفی، محل تغذیه منفی سیم پیچی تحریک عوض خواهد شد

و بنابراین پس از گذشت زمانی یک قسمت از سیم پیچی در مجاورت تغذیه منفی قرار گرفته و با وضعیت حساستری در دسترس اتصال زمین میباشد.

۴-۲-۱-۲- روش پتانسیومتری

در این رله از یک مدار تقسیم کننده ولتاژ، شامل دو مقاومت غیر خطی (R_1, R_2) و یک مقاومت غیر خطی که مقاومت آن با ولتاژ اعمال شده تغییر مینماید استفاده گردیده است. چنانچه در شکل مشخص میباشد نقطه M محل اتصال شاخه شامل مقاومت R_1 و مقاومت غیر خطی، و شاخه مقاومت R_2 است که از طریق یک رله میلی آمپری حساس DC به زمین وصل گردیده است. اگر سیم پیچی تحریک در نقطه ای زمین شود یک ولتاژ بین نقطه M و زمین ظاهر خواهد شد که باعث عملکرد رله میگردد قدر مطلق این ولتاژ مطابق با ولتاژ تحریک و نقطه ای که در آن تحریک زمین گردیده تغییر خواهد نمود.



شکل (۲-۴): مدار روش پتانسیومتری

برای واضح بیان نمودن عمل کرد رله با توجه به شکل (۲-۴) اگر یک اتصال زمین بر روی سیم پیچ تحریک انجام بگیرد. رله میلی آمپری از طریق زمین به سیم پیچی تحریک ژنراتور وصل شده و تشکیل یک پل داده میشود که چهاربازوی این پل عبارتند از بازوی اول شامل مقاومت خطی R_1 و مقاومت غیر خطی، بازوی دوم شامل مقاومت خطی R_2 و بازوی سوم شامل قسمتی از سیم پیچ تحریک که بین نقطه اتصال زمین و قسمت مثبت ولتاژ تحریک قرار گرفته و بازوی چهارم شامل قسمتی از سیم پیچ تحریک که بین نقطه اتصال زمین و قسمت منفی ولتاژ تحریک قرار دارد میباشد و لذا رله میلی آمپری حساس نیز در مرکز این پل قرار خواهد داشت.

اگر در هنگام اتصال زمین سیم پیچی تحریک (در حالت ولتاژ نامی سیستم تحریک) محل اتصالی در وسط سیم پیچی تحریک قرار بگیرد این نقطه اتصالی بصورت نقطه کوری برای رله میلی آمپری خواهد بود و در صورتیکه ولتاژ تحریک از مقدار نامی خود تغییر ننماید، هیچ جریانی از رله نخواهد گذشت. البته مقاومت غیر خطی بطوری طراحی گردیده است

که با تغییر دادن ولتاژ دو سر آن، مقاومت آن تغییر کرده و لذا محل نقطه کور نیز تغییر خواهد نمود ولی با توجه به اینکه این تقسیم کننده ها (شامل مقاومت های R_1, R_2 و مقاومت غیر خطی) طوری متناسب شده اند که در حالت ولتاژ نامی تحریک، محل نقطه کور در وسط سیم پیچی تحریک باشد. لذا در صورت زمین شدن نقطه کور سیم پیچی تحریک ژنراتور اگر ولتاژ دو سر مقاومت غیر خطی تغییر ننماید پل مذکور بصورت نامتقارن در نیامده و هیچ جریانی از داخل رله نخواهد گذشت. حال اگر این اتصالی در نقطه کور سیم پیچی تحریک نباشد، جریانی از مرکز پل گذشته و رله میلی آمپری عمل خواهد نمود. با اتصال زمین شدن انتهای هر طرف سیم پیچی تحریک ماکزیمم جریان از رله میلی آمپری خواهد گذشت و لذا رله حساسیت اهمی زیادی را دارا خواهد بود.

مقاومت غیر خطی فوق الذکر جهت تغییر محل نقطه کور طراحی گردیده و بصورتی میباشد که با زیاد شدن ولتاژ دو سر آن مقدار مقاومت آن کمتر میگردد (البته بطور غیر خطی)

بطور نمونه توسط یکی از سازندگان اینگونه رله ها جهت تقسیم پتانسیومتری بین مقاومت های R_1, R_2 و مقاومت غیر خطی برای اینکه در مقدار نامی سطوح مختلف ولتاژ تحریک نقطه کور در وسط سیم پیچی تحریک قرار بگیرد موارد زیر در نظر گرفته شده است:

الف- از یک رله میلی آمپری حساس در مرکز پل استفاده شده است که دارای کویلی با مقاومت ۹۰ اهم بوده و بر روی ۰/۱۵ میلی آمپر جهت عملکرد آن تنظیم گردیده است (جهت جریان برای رله فرق نمیکند و با توجه به جهت جریان میتواند به سمت چپ یا راست بسته شده و فرمان صادر نماید).

ب- از یک مقاومت غیر خطی که مقادیر مقاومت آن در سه نقطه مختلف با توجه به ولتاژ دو سر آن به قرار زیر میباشد استفاده شده است (لازم به یادآوری است که هر مقاومت غیر خطی دارای منحنی مشخصه ولتاژ - مقاومت میباشد).

مقدار مقاومت	ولتاژ دو سر مقاومت غیر خطی
۴۵۰۰۰ اهم	۶۰ ولت
۱۶۰۰۰ اهم	۱۰۰ ولت
۴۷۰۰ اهم	۱۵۰ ولت

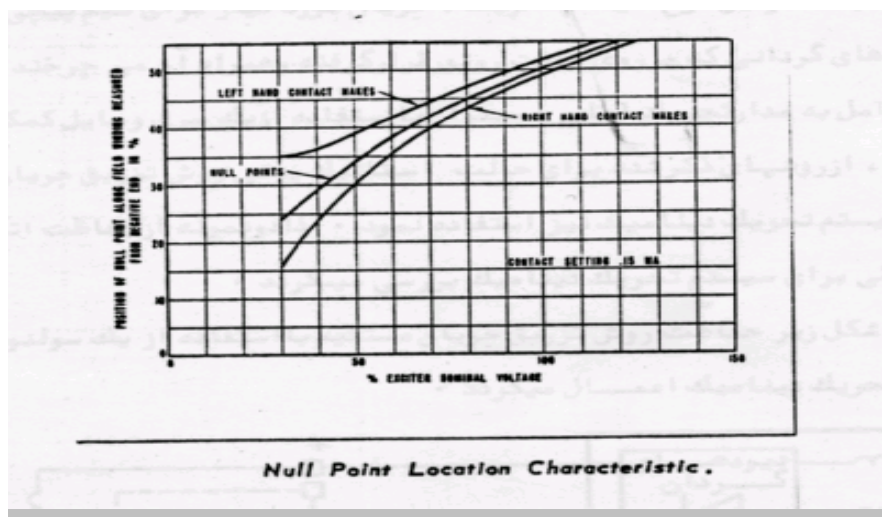
ج- مقدار مقاومت های R_1, R_2 برای سطوح مختلف ولتاژ سیستم های تحریک به قرار زیر در نظر گرفته شده است:

ولتاژ DC	R1 (اهم)	R2 (اهم)
۱۲۵	۰	۴۵۰۰۰
۲۵۰	۵۰۰۰	۲۳۰۰۰
۳۷۵	۱۰۰۰۰	۲۳۰۰۰
۵۰۰	۲۸۰۰۰	۴۵۰۰۰

جدول (۴-۱)

۴-۱-۲-۱-۲-۱-۱- وابستگی بین نقطه کور و مقدار ولتاژ تحریک

در شکل (۴-۳) وابستگی بین محل نقطه کور و ولتاژ سیستم تحریک نشان داده شده است.



شکل (۴-۳)

منحنی میانی شکل محل نقاط کور را برای مقادیر مختلف ولتاژ تحریک در یک سیستم تحریک زمین شده نشان می‌دهد و بخوبی مشخص می‌باشد که درصد ولتاژ نامی تحریک، نقطه کور تقریباً در ۵۰ درصد فاصله از قسمت منفی سیم پیچ تحریک یعنی وسط سیم پیچ قرار دارد و با کمتر شدن ولتاژ تحریک نسبت به مقدار نامی، نقطه کور متمایل به قسمت منفی سیم پیچی می‌شود، بطوریکه در ۳۰ درصد ولتاژ نامی نقطه کور تقریباً در فاصله ۲۵ درصدی قسمت منفی سیستم تحریک قرار می‌گیرد (با کم شدن ولتاژ، مقدار مقاومت غیر خطی افزایش پیدا نموده و نقطه خنثی متمایل به قسمت منفی می‌گردد). منحنی های بیرونی شکل، مقداری را که باید ولتاژ تحریک، افزایش یا کاهش پیدا نماید تا رله بتواند اتصال زمین موجود در نقطه کور را مشخص نماید، نشان می‌دهد.

۴-۱-۲-۲-۲-۱-۲-۱-۱- اقدامات انجام شده جهت رفع معایب استفاده از روش رله پتانسیومتری

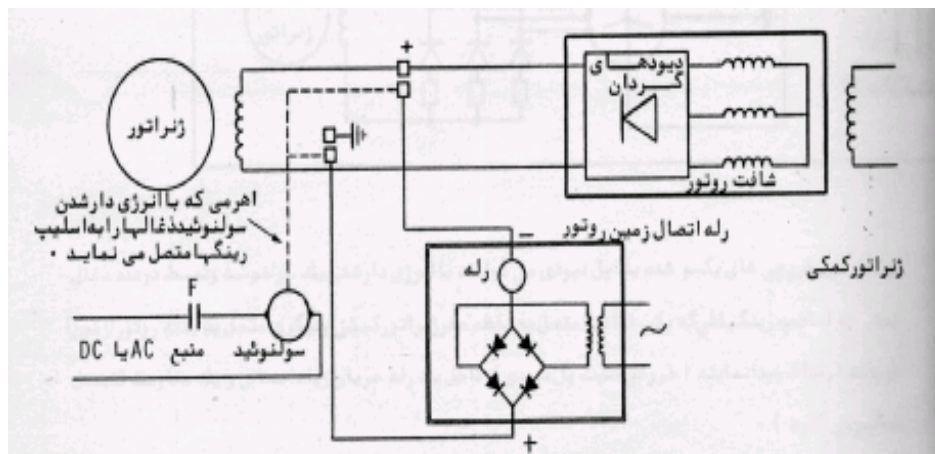
با توجه به موارد ذکر شده، مشخص می‌باشد که جهت دستیابی رله به اتصالی در نقطه کور، احتیاج به کم یا زیاد نمودن ولتاژ سیستم تحریک می‌باشد، بطوریکه در شکل هم نشان داده شده، هر چه مقدار ولتاژ، از ولتاژ نامی تحریک پایین تر باشد این کم و زیاد نمودن ولتاژ نیز بیشتر خواهد بود. حال اگر ژنراتور در سیستم بعنوان بار پایه (base load) در نظر گرفته شده و تغییراتی در سیستم تحریک وجود نداشته باشد (تحریک ثابت باشد) رله اتصال زمین برای یک اتصالی در نقطه کور هیچگونه واکنشی از خود نشان نخواهد داد.

جهت رفع این نقیصه از یک پوش باتم (که در شکل ۲-۴ مشخص می‌باشد) بصورت موازی با یک قسمت از مقاومت R_2 استفاده می‌شود که بصورت پریودیکی با فشار دادن پوش باتم یک قسمت از مقاومت R_2 اتصال شده و در صورتیکه اتصال زمینی در نقطه کور سیم پیچ تحریک وجود داشته باشد، تعادل پل بهم خورده و باعث جاری شدن جریان از مرکز پل گردیده و رله عمل مینماید.

۳-۱-۴- حفاظت اتصال زمین روتور در سیستم تحریک دینامیک

در سیستم تحریک دینامیک (در این نوع سیستم تحریک، جریان مورد نیاز برای سیم پیچی تحریک بدون استفاده از ذغال و از طریق دیودهای گردانی که بر روی شافت روتور قرار گرفته و همراه آن می‌چرخند، تامین می‌گردد)، بعلت عدم دسترسی کامل به مدار تحریک اصلی، میتوان با استفاده از یک سری وسایل کمکی مانند ذغالهای کمکی و یک سولنوئید، از روشهای ذکر شده برای حالت استاتیک یعنی روش تزریق جریان مستقیم و روش پتانسیومتری برای سیستم تحریک دینامیک نیز استفاده نمود. لذا دو نمونه از حفاظت اتصال زمین روتور با استفاده از وسایل کمکی برای سیستم تحریک دینامیک بررسی می‌گردد.

نمونه اول: در نمونه شکل زیر حفاظت روش تزریق جریان مستقیم با استفاده از یک سولنوئید و دو عدد ذغال کمکی به یک سیستم تحریک دینامیک اعمال می‌گردد.



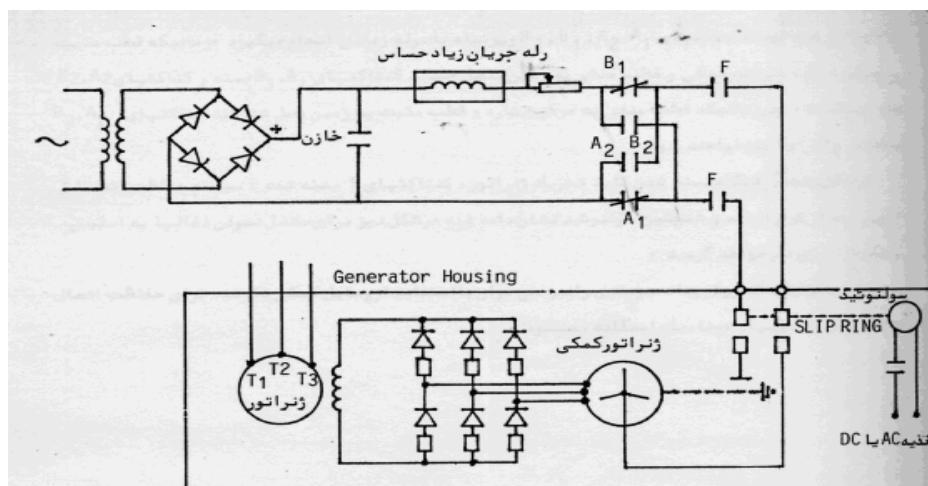
شکل (۴-۴)

با توجه به شکل (۴-۴) بمحض اینکه کلید میدان تحریک وصل گردید کنتاکت F بسته شده و سولنوئید انرژی دار می‌گردد.

با انرژی دار شدن سولنوئید، خروجی های مثبت و منفی رله اتصال زمین روتور توسط دو عدد ذغال کمکی به اسلیپ رینگها متصل می‌گردند (ذغال کمکی که پلاریته منفی دارد به اسلیپ رینگ که وصل به قطب مثبت سیم پیچی تحریک است و ذغالی که پلاریته مثبت دارد به اسلیپ رینگ وصل شده به بدنه روتور (زمین)، متصل خواهند گردید).

روش اینگونه حفاظت (روش تزریق جریان مستقیم) قبلا بطور کامل شرح داده شده است.

نمونه دوم: یک نوع کاملتر این سیستم تحریک که غیر از حفاظت اتصال زمین سیم پیچ اصلی تحریک از سیم پیچ ژنراتور کمکی (سیم پیچ سه فازی که بر روی شافت روتور قرار داشته و خروجی آن به دیودهای گردان متصل میباشد) نیز حفاظت می نماید، در شکل (۴-۵) نشان داده شده است.



شکل (۴-۵)

در شکل فوق خروجی های یکسو شده یک پل دیودی می توانند با انرژی دار شدن یک سولنوئید و توسط دو عدد ذغال کمکی به اسلیپ رینگهایی که یکی از آنها متصل به نقطه صفر ژنراتور کمکی و دیگری متصل به بدنه روتور (زمین) میباشد ارتباط پیدا نمایند (خروجی مثبت پل دیودی از داخل یک جریان زیاد حساس و یک مقاومت قابل تنظیم می گذرد).

رله جریان زیاد حساسیت لازم برای هر اتصالی در سیم پیچ ژنراتور کمکی (AC) را داشته و در صورت وقوع اتصالی رله عمل خواهد نمود در صورت ایجاد اتصال زمین در سیم پیچ اصلی تحریک بستگی به اینکه این اتصالی در چه نقطه ای از سیم پیچ تحریک باشد و پلاریته متصل شده به اسلیپ رینگها به چه صورتی باشد، حساسیت رله جریان زیاد برای تشخیص اتصالی متفاوت خواهد بود.

بطور مثال اگر پلاریته مثبت (خروجی پل دیودی که از داخل رله جریان زیاد حساس نیز می گذرد) به مرکز ستاره ژنراتور کمکی وصل گردیده و پلاریته منفی نیز به زمین متصل گردیده باشد، در صورت وقوع هر گونه اتصال زمین در قسمت مثبت سیم پیچی تحریک حساسیت رله زیاد بوده و عمل خواهد نمود اما در هنگام اتصالی در قسمت منفی سیم پیچی تحریک رله جریان زیاد حساسیت کافی برای تشخیص اتصالی های با مقاومت زیاد را نخواهد داشت، و لذا جهت حساس

بودن رله جریانی به اتصالیهای با مقاومت زیاد واقع در قطبهای مثبت و منفی سیم پیچ تحریک، بصورت پریودیکی محل تغذیه مثبت و منفی را بر روی اسلیپ رینگها تعویض می نمایند.

این تغییر پلاریته یا تعویض محل تغذیه مثبت و منفی بر روی اسلیپ رینگها همچنان که در شکل (۴-۵) نشان داده شده توسط کنتاکتهای B_2, B_1, A_2, A_1 و بوسیله یک رله زمانی انجام میگردد. زمانیکه قطب مثبت به مرکز ستاره ژنراتور کمکی و قطب منفی به زمین متصل هستند کنتاکتهای B_1, A_1 ، بسته و کنتاکتهای B_2, A_2 باز میباشند. و در زمانیکه قطب منفی به مرکز ستاره و قطب مثبت به زمین وصل شده اند کنتاکتهای B_2, A_2 بسته و B_1, A_1 باز خواهند بود. در شکل (۴-۵) در هنگام بسته شدن کلید تحریک ژنراتور، کنتاکتهای F بسته شده، سیستم حفاظت اتصال زمین در مدار قرار گرفته و همچنین سولنوئید نشان داده شده در شکل نیز برای متصل نمودن ذغالها به اسلیپ رینگها انرژی دار خواهند گردید.

قابل ذکر است که روش پتانسیومتری را نیز میتوان با استفاده از وسایل کمکی ذکر شده برای حفاظت اتصال زمین روتور سیستمهای دینامیک استفاده نمود.

۴-۲- اصول کار رله های اتصال زمین:

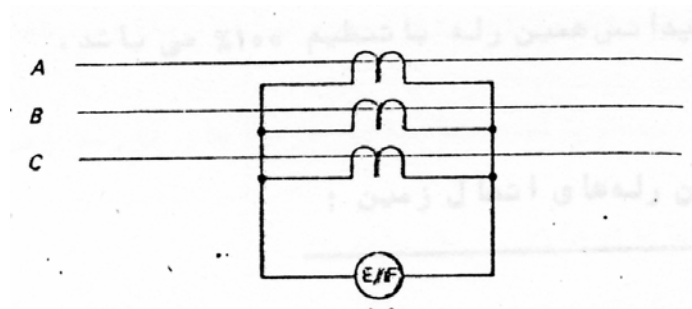
با توجه به مقدمه این فصل، موازی نمودن سه ترانس جریان باعث می شود رله اتصال زمین کلاً مستقل از جریان بار باشد و نامتعادلی بار نیز تاثیری در عملکرد آن نداشته و رله صرفاً به اتصال زمینها حساس شود.

در پاره ای موارد که سیستم فاقد نقطه صفر می باشد، جهت آشکار نمودن اتصال زمین از سه ترانسفورمر ولتاژ که ثانویه آنها به صورت مثلث باز، متصل شده اند و یک رله ولتاژی را تغذیه می کنند، استفاده می شود. معمولاً رله ولتاژی لحظه ای بوده و در موارد معین میتوان با استفاده از تایمر، تاخیر زمانی لازم را نیز ایجاد نمود.

وقتی سیستم در حالت نرمال می باشد ولتاژ موجود در ترمینالهای مثلث باز، صفر بوده و با بوجود آمدن اتصال زمین، تعادل بهم خورده و ولتاژی به رله تغذیه می گردد.

چون امپدانس اتصال در خطاهای فاز به زمین از امپدانس اتصال فاز به فاز بیشتر می باشد، لذا جریان اتصال کوتاه فاز به زمین از جریان اتصال فاز به فاز کمتر می باشد.

البته مقدار این جریان به نحوه زمین شدن سیستم نیز بستگی کامل دارد و با توجه به نحوه قرار گرفتن این رله ها تنظیم این رله ها هیچ گونه ارتباطی با بار ندارد و لذا مقدار تنظیم آنها با رله های اضافه جریان تفاوت خواهد داشت.



شکل (۴-۶)

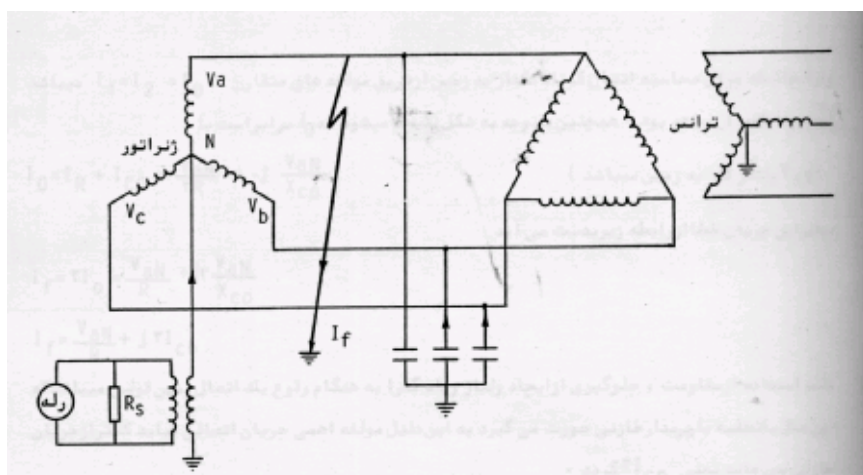
۳-۴- تنظیم و هماهنگی رله های اتصال زمین (تجهیزات وابسته):

۴-۳-۱- محاسبه مقاومت نصب شده در ثانویه ترانسفورماتور توزیع (در روش زمین کردن ژنراتور از طریق

ترانسفورماتور)

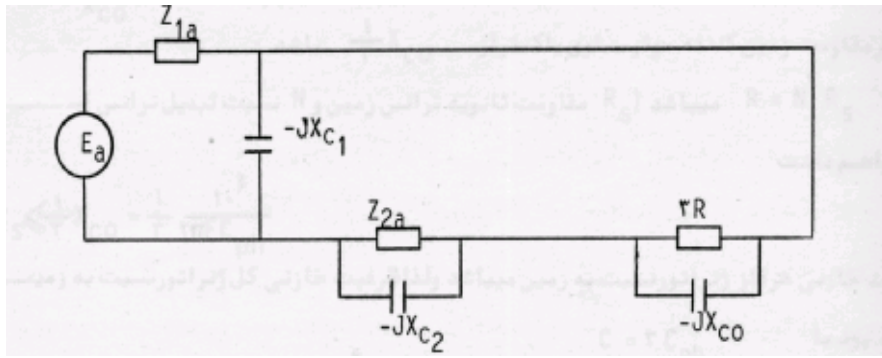
در صورت بزرگ بودن مقاومت نصب شده در ثانویه ترانس زمین (جهت محدود نمودن جریان اتصال)، ولتاژهای گذرای زیادی در اثر قطع و وصل بریکر یا اتصال فاز به زمین تولید میشود. این ولتاژهای گذرا تابعی از مقاومت زمین کننده و مقدار کل خازن ژنراتور و وسایل متصل به ژنراتور نسبت به زمین می باشند.

اتصال فاز به زمین در یک ژنراتور که بوسیله ترانس زمین و با مقاومت اهمی در ثانویه آن زمین شده به شکل (۴-۷) میباشد.



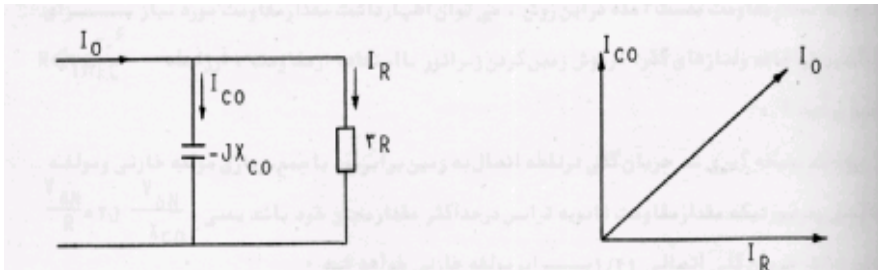
شکل (۴-۷)

مدار معادل اتصال فاز به زمین شکل فوق با در نظر گرفتن کمیت‌های متقارن به شکل (۴-۸) خواهد بود.



شکل (۴-۸)

در شکل فوق از امپدانسهای ترانس صرفنظر گردیده است Z_{2a}, Z_{1a} امپدانسهای ترتیبی مثبت و منفی ژنراتور میباشند و X_{C0}, X_{C2}, X_{C1} راکتانسهای خازنی ترتیبی ژنراتور نسبت به زمین بوده که در مقایسه با Z_{2a}, Z_{1a} بسیار بزرگ میباشند، مدار معادل مربوط به مولفه صفر را با استفاده از شکل (۴-۸) بصورت (۴-۹) میتوان در نظر گرفت.



شکل (۴-۹)

در حالیکه اتصال کوتاه در خروجی فاز a اتفاق افتاده باشد جریان کل خطا برابر است با

$$I_f = I_1 + I_2 + I_0$$

و از آنجائیکه برای محاسبه اتصال کوتاه تکفاز به زمین از طریق مولفه های متقارن $I_1 = I_2 = I_0$ میباشند لذا $I_f = 3I_0$ خواهد

بود. همچنین با توجه به شکل نتیجه میشود که I_0 برابر است با

$$I_0 = I_R + I_{C0} = \frac{V_{an}}{3R} + j \frac{V_{an}}{X_{C0}} \quad (V_{an} \text{ ولتاژ فاز به زمین میباشند})$$

بنابراین جریان خطا از رابطه زیر بدست می آید

$$I_f = 3I_0 = \frac{V_{an}}{R} + j3 \frac{V_{an}}{X_{C0}}$$

$$I_f = \frac{V_{an}}{R} + j3I_{C0}$$

علت استفاده از مقاومت، جلوگیری از ایجاد ولتاژ زیاد گذرا به هنگام وقوع یک اتصال زمین قوسی میباشد که این عمل با تخلیه بار در مدار خازنی صورت می گیرد به این دلیل مولفه اهمی جریان اتصالی نباید کمتر از جریان خازنی پس ماند

$$\frac{V_{an}}{R} \geq 3 \frac{V_{an}}{X_{co}} \longrightarrow R \leq \frac{1}{3} X_{co} \quad \text{یعنی } 3I_{co} \text{ گردد.}$$

بعبارت دیگر مقاومت زمین کننده موثر مساوی یا کمتر از $\frac{1}{3} X_{co}$ باشد.

از آنجائیکه $R=N^2R_S$ میباشد (R_S مقاومت ثانویه ترانس زمین و N نسبت تبدیل ترانس است) بنابراین خواهیم داشت

$$N^2 R_S \leq \frac{1}{3} X_{co} = \frac{1}{3} \frac{10^6}{2\pi F C_{ph}}$$

C_{ph} ظرفیت خازنی هر فاز ژنراتور نسبت به زمین میباشد و لذا ظرفیت خازنی کل ژنراتور نسبت به زمین برابر خواهد بود
با

C_{ph}

$$N^2 R_S \leq \frac{10^6}{2\pi F C}$$

و بنابراین

لذا مقاومت مورد نیاز جهت نصب در ثانویه ترانس برابر خواهد بود با:

$$R_S \leq \frac{10^6}{2\pi F C N^2}$$

(با توجه به مقدار مقاومت بدست آمده در این روش، میتوان اظهار داشت مقدار مقاومت مورد نیاز برای جلوگیری از اضافه

ولتاژهای گذرا در روش زمین کردن ژنراتور با استفاده از مقاومت، از رابطه $R \leq \frac{10^6}{2\pi F C}$ بدست میآید).

چنانکه نتیجه گیری شد جریان کلی در نقطه اتصال به زمین برابر بود با جمع برداری مولفه خازنی و مولفه مقاومتی و در

صورتیکه مقدار مقاومت ثانویه ترانس در حداکثر مقدار مجاز خود باشد یعنی $\frac{V_{an}}{R} = 3J \frac{V_{an}}{X_{co}}$ در این حالت جریان

کلی اتصالی $1/41$ برابر مولفه خازنی خواهد شد.

۴-۳-۲- اثر تلفات انرژی در مقاومت ثانویه ترانس بر ولتاژهای گذرا

برای مشخص نمودن اثر اندازه مقاومت بر روی اضافه ولتاژهای گذرای تولید شده، مطالعات و تجزیه و تحلیل‌هایی بعمل

آمده و معلوم گردیده است که با افزایش تلفات کیلوواتی مقاومت ولتاژهای گذرا بتدریج کم میشود تاجائیکه کیلووات

مقاومت برابر با کیلوولت آمپر خازنی سیستم بشود. در صورتیکه افزایش زیادتر اتلاف انرژی در مقاومت ($R_S I^2$) موجب

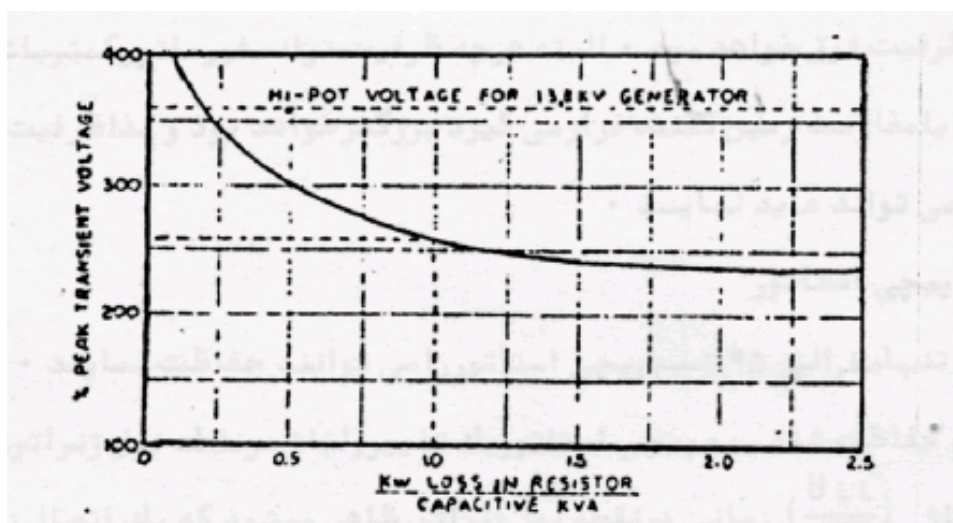
کاهش کمتری در اضافه ولتاژ گذرا میگردد.

تلفات بر حسب کیلووات در مقاومت

در نمودار شکل زیر یک محور از نمودار بر حسب

و محور دیگر بر حسب

درصد ولتاژ پیک فاز به نول ژنراتور میباشد.



شکل (۴-۱۰)

در شکل (۴-۱۰) مشخص است که برای داشتن ولتاژ گذرای کمتر بایستی تلفات $R_s I^2$ بیشتری نسبت به کیلوولت آمپر

خازنی نسبت به زمین که از رابطه $KVA = \frac{(KV_{LL})^2 2\pi F C}{3 \times 10^3}$ بدست می آید را داشت. در رابطه فوق KVA مقدار

بار خازنی نسبت به زمین ، KV_{LL} ولتاژ فاز به فاز ژنراتور بر حسب کیلوولت C مجموع خازن سه فاز ژنراتور نسبت به زمین و خازن ضربه گیر و خازن دیگر متعلقات ژنراتور نسبت به زمین میباشد همچنین F فرکانس شبکه است.

با داشتن مقاومتی که در رابطه $KVA = I^2 R_s$ (بارخازنی) ، صدق نماید نشان میدهد که اندازه مقاومت حاصل از معادله، بیشترین میزان لحظه ای ولتاژ گذرا نسبت به زمین را به حدود ۲۶۰ درصد مقدار قله ای عادی ولتاژ خط به زمین محدود می سازد و چنانکه در شکل (۴-۱۰) مشاهده میگردد اگر مقاومت کمتر شود ولتاژ گذرا به میزان زیادی کاهش نخواهد یافت و در عوض با کمتر شدن R خسارت حاصل از اتصال زمین بیشتر خواهد شد.

۴-۳-۳- مشخصات ترانس نقطه صفر (نقطه نول)

برای تعیین قدرت ترانسفورماتور نقطه صفر، ماکزیمم جریان اتصالی و ماکزیمم ولتاژی که در بدترین حالت اتصالی فاز به

زمین یعنی اتصال فاز زمین در ترمینال خروجی ژنراتور بر روی ترانس نقطه صفر می افتد (برابر با $\frac{ULL}{\sqrt{3}}$ است) در نظر

گرفته میشود بنابراین قدرت ترانس برابر خواهد بود با

$$KVA = \left(\frac{ULL}{\sqrt{3}} \right) I_{f \max}$$

از طرفی چنانکه قبلاً ذکر گردید جهت جلوگیری از جریان مغناطیس کننده در اثر اتصال زمین، ولتاژ اولیه ترانس ۱/۵ برابر ولتاژ فاز به زمین در نظر گرفته میشود و لذا با در نظر گرفتن این ولتاژ (U_T)، حداکثر جریان عبور کننده از ترانس تقریباً برابر خواهد بود با

$$I_{f \max} = \frac{U_T}{N^2 R_S}$$

$$KVA = \frac{U_{LL}}{\sqrt{3}} \frac{U_T}{N^2 R}$$

بنابراین خواهیم داشت

با توجه به اینکه لازم است هنگام اتصال به زمین ژنراتور، در اولین فرصت توسط رله حفاظتی اقدام به قطع بریکر ژنراتور و سیستم تحریک گردد لذا میتوان از ظرفیتهای کوتاه مدت ترانسفورماتور استفاده نمود. مثلاً یک ترانسفورماتور با ظرفیت ۱۰ دقیقه ای دارای ۴۰٪ ظرفیت فوق میباشد. و یک ترانسفورماتور با ظرفیت ۱ دقیقه ای دارای ۲۱٪ ظرفیت فوق خواهد بود. البته هر چه ظرفیت ترانسفورماتور کمتر باشد راکتانس القایی آن که بصورت متوالی با مقاومت زمین کننده قرار می گیرد بزرگتر خواهد بود و لذا ظرفیت یک دقیقه ای مطلوبترین نتیجه را میتواند عاید نماید.

۴-۳-۴- محدودیت حفاظت سیم پیچی استاتور ژنراتور

رله های یاد شده تنها صفر الی ۹۵٪ سیم پیچی استاتور را می توانند حفاظت نمایند. بدین صورت که یک اتصال زمین در هر ناحیه حفاظت شده سیم پیچی استاتور یک تغییر ولتاژ در نقطه نول ژنراتور ایجاد می نماید، بطوریکه بیشترین ولتاژ زمانی در نقطه نول ژنراتور ظاهر میشود که یک اتصال زمین در ترمینال خروجی ژنراتور بوقوع پیوسته باشد و

$$\left(\frac{U_{LL}}{\sqrt{3}} \right)$$

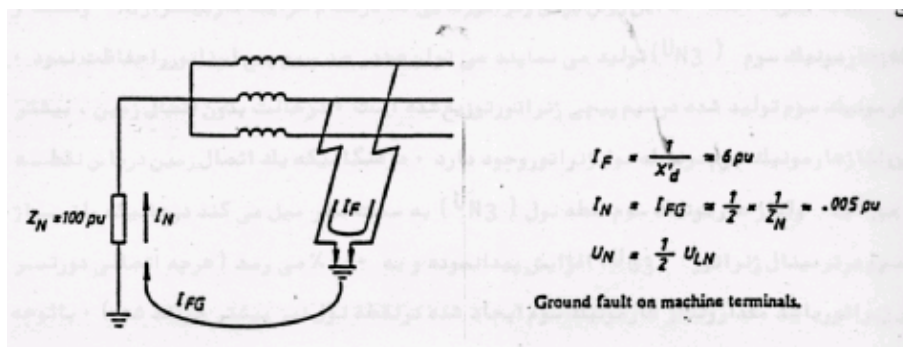
هر چه نقطه اتصالی زمین به نول ژنراتور نزدیکتر باشد ولتاژ ایجاد شده در نقطه نول ژنراتور کمتر خواهد بود و برای اتصالی در کمتر از ۵٪ سیم پیچی نقطه نول، ولتاژ نقطه نول به اندازه کافی افزایش پیدا نمی نماید، حال اگر رله اتصال زمین بقدری حساس گردد که بخواید صد در صد سیم پیچی استاتور محافظت نماید منجر به ایجاد مشکلاتی از قبیل عملکرد نابجای رله خواهد گردید.

اگر جهت حفاظت از یک رله ولتاژ زیاد (زمین نمودن توسط ترانس با مقاومت در ثانویه آن) استفاده شده باشد در هنگام وقوع یک اتصال زمین فشار قوی ترانس ستاره، مثلث واحد، بعلت وجود حالت خازنی بین سیم پیچ های فشار قوی و فشار ضعیف ترانس، ولتاژ کوچکی بر روی نقطه نول ژنراتور ایجاد شده (ماکزیمم ۲ الی ۳٪ ولتاژ نامی) و باعث عملکرد نابجای

رله خواهد شد. اگر حفاظت اتصال زمین توسط یک رله جریان زیاد (زمین نمودن با استفاده از مقاومت) انجام گرفته باشد علاوه بر مشکلات یاد شده برای رله ولتاژ زیاد که در اینجا هم باعث عملکرد نایجای رله خواهد شد مشکل دیگری نیز در هنگام استفاده از رله جریان زیاد بوجود می آید، بدین صورت که جهت حفاظت صد در صد سیم پیچی استاتور باید مقدار پیک آپ رله جریانی بسیار کم انتخاب شود، که این مورد منجر به افزایش بار (بردن) رله بر روی C.T (ترانس جریان) خواهد گردید و در نتیجه تشخیص بین اتصال زمین و عدم تعادل که دارای فرکانس هارمونیک سوم بوده و از نقطه صفر رله نیز عبور می نماید مشکل خواهد شد.

۴-۳-۱- زمان عملکرد رله

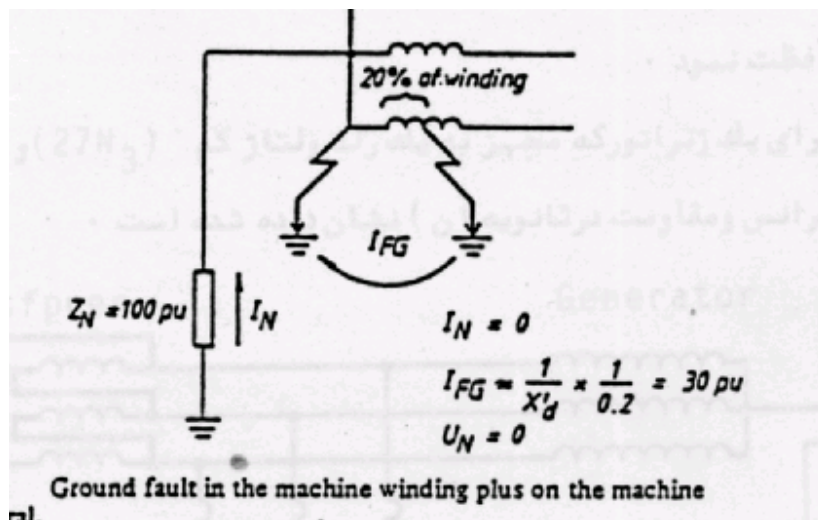
رله اتصال زمین استاتور باید در هنگام تشخیص اتصالی در حداقل زمان ممکن، جهت جلوگیری از صدمه دیدن ژنراتور، فرمان قطع تحریک و باز شدن بریکر اصلی را صادر نماید. همچنین امکان دارد در زمان کوتاهی پس از وقوع اولین اتصال زمین (مخصوصاً در ترمینال خروجی ژنراتور که باعث میگردد ولتاژ فازهای سالم نسبت به زمین افزایش پیدا نماید) اتصال زمین دومی در فاز دیگر بوقوع پیوسته که در نتیجه یک اتصال دو فاز بوجود می آید و جریان اتصالی زیادی را ایجاد خواهد نمود که چندین برابر جریان اتصال زمین است.



شکل (۱۱-۴)

۴-۳-۵- حفاظت صد در صد سیم پیچی استاتور ژنراتور

چنانکه ملاحظه گردید در روش استفاده از رله های ولتاژی و رله های جریانی برای حفاظت اتصال زمین استاتور فقط میتوان تا حداکثر ۹۵٪ سیم پیچی را محافظت نمود. اگر یک اتصال زمین در نزدیکی نول ژنراتور بوجود بیاید، رله حفاظتی قادر به تشخیص آن نخواهد بود و با وقوع اتصال زمین در نقطه دیگری از همان فاز یک خطر جدی بوجود خواهد آمد که در شکل (۱۲-۴) و بصورت تقریبی مشخص گردیده است.



شکل (۱۲-۴)

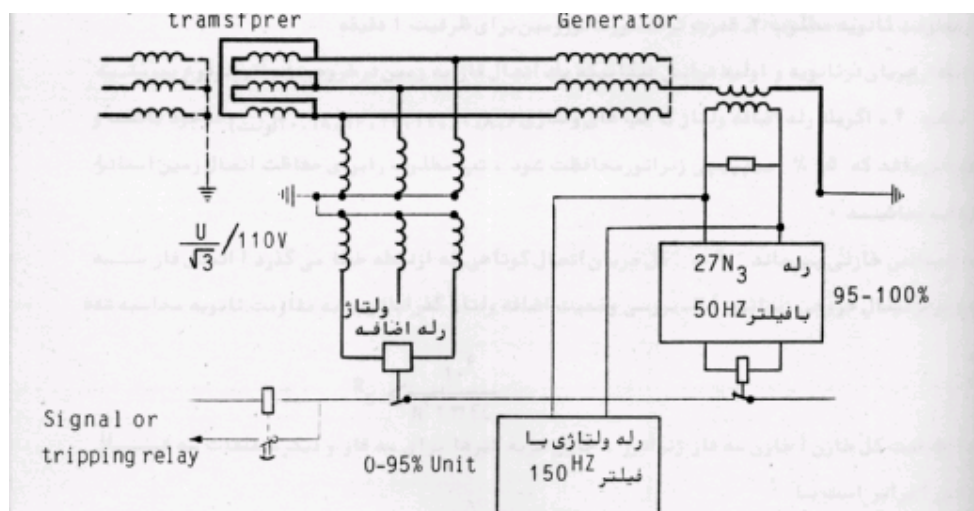
در شکل (۱۲-۴) مشخص است که سیستم حفاظت اتصال زمین در هنگام ایجاد اتصالی دوم بطور کلی از مدار خارج گردیده و نمی تواند اتصالی را آشکار نماید و لذا جهت احتیاط لازم است که ژنراتورهای بزرگ به یک سیستم حفاظتی اضافی، مجهز باشند که کاملاً از طرح رله جریان زیاد یا رله ولتاژی مستقل می باشند و قابلیت حفاظت ۱۰۰٪ سیم پیچی ژنراتور را دارا میباشند. روشهای جدیدی در ماشینهای بزرگ برای حفاظت صد در صد سیم پیچ های ژنراتور استفاده شده که به سه نوع آن در زیر، اشاره میشود:

۱- **طرح تزریق هارمونیکهای فرعی:** توسط یک ترانس جداگانه، ولتاژی با فرکانس هارمونی فرعی معادل ۱۵ ~ ۱۲/۵ هرتز بداخل اولیه ترانس نقطه نول و زمین القاء و از آن طریق به سیم پیچی استاتور تزریق میگردد که باعث پایین بودن فرکانس، امپدانس خازنی زیادی را در سر راه خود دارد و لذا مسیر بسته شده ای را تقریباً با زمین ندارد. با اتصال زمین شدن هر فاز ژنراتور، امپدانس خازنی اتصال کوتاه شده و جریان مربوط به فرکانس ۱۵ ~ ۱۲/۵ هرتز افزایش می یابد که میتوان توسط یک رله جریان زیاد نصب شده در ثانویه ترانس، اتصال زمین را مشخص نمود.

۲- **طرح ولتاژ زیاد ۵۰ هرتز و ولتاژ کم ۱۵۰ هرتز:** بطور کلی یک ماشین الکتریکی برای نمونه در حال کار از ۱٪ تا ۱۰٪ ولتاژ نامی، ولتاژ هارمونیک سوم تولید میکند و در حدود نصف این مقدار درشین نوتر ظاهر میشود. یک اتصالی در انتهای نوتر ژنراتور باعث کاهش این ولتاژ تا نزدیکی صفر میشود. این روش که بسیار مناسب بوده و کاربرد فراوانی نیز دارد از روش کنترل ولتاژ هارمونیک سوم در نقطه نول ژنراتور استفاده نموده است. و میتوان از این شیوه، صد در صد سیم پیچ استاتور را حفاظت نمود. این هارمونیک سوم تولید شده در سیم پیچی ژنراتور توزیع شده است. در

حالت بدون اتصال زمین، بیشتر از نصف این ولتاژ هارمونیک سوم در نقطه نول ژنراتور وجود دارد. در هنگامیکه یک اتصال زمین در باس نقطه نول بوجود می آید ولتاژ هارمونیک سوم نقطه نول (U_{N3}) به سمت صفر میل میکند در حالیکه ولتاژ هارمونیک سوم در ترمینال ژنراتور (U_{G3}) افزایش پیدا نموده و به ۱۰۰٪ میرسد (هر چه اتصالی دورتر از نقطه نول ژنراتور باشد مقدار ولتاژ هارمونیک سوم ایجاد شده در نقطه نول نیز بیشتر خواهد شد). با توجه به اینکه هدف از این روش پیدا نمودن اتصال زمین در بین ۱۰۰٪-۹۵٪ سیم پیچی میباشد و در صورت یک اتصال زمین به فاصله ۵٪ یا کمتر از آن در نزدیک نقطه نول، کاهش ولتاژ هارمونیک سوم وجود خواهد داشت لذا با استفاده از یک رله ولتاژ کم ($27N_3$) براحتی میتوان این کاهش در ولتاژ هارمونیک سوم را اندازه گیری نمود. قابل توجه است که این رله فقط برای فاصله ۱۰۰٪-۹۵٪ (۵٪ نزدیک نقطه نول) در نظر گرفته شده و ۹۵٪-۰٪ بقیه سیم پیچ توسط روشهای قبلی که ذکر گردید (رله ولتاژ زیاد و یا جریان زیاد) و بطور جداگانه محافظت میگردد با استفاده از دو رله ولتاژ کم ($27N_3$) و رله ولتاژ زیاد معمولی یا جریان زیاد معمولی میتوان ۱۰۰٪ سیم پیچی استاتور را محافظت نمود.

در شکل (۴-۱۳) شماتیک حفاظتی برای یک ژنراتور که مجهز به یک رله ولتاژ کم ($27N_3$) و یک رله ولتاژ زیاد (روش زمین کردن ژنراتور با ترانس و مقاومت در ثانویه آن) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۳)

در حالت کار معمولی ژنراتور بعلت وجود هارمونیک سوم در نقطه نول رله $27N_3$ انرژی دار بوده و فرمانی صادر نمی نماید، در هنگام اتصال زمین ولتاژ هارمونیک سوم از مقدار تنظیمی کمتر گردیده و رله $27N_3$ فرمان صادر خواهد نمود (اکثراً از رله $27N_3$ جهت آلامر استفاده میگردد). ممکن است در هنگام راه اندازی و یا از مدار خارج بودن ماشین رله $27N_3$ بدون انرژی بوده و فرمان آلامر صادر نماید که جهت جلوگیری از این امر از یک رله اضافه ولتاژ که از ترانس های

ولتاژ نصب شده در خروجی ژنراتور تغذیه می‌گردد استفاده می‌شود که بمحض رسیدن ولتاژ ژنراتور به مقدار نامی خود، رله اضافه ولتاژ کنتاکتی را در مسیر فرمان رله $27N_3$ می‌بندد. هنگامیکه اتصال زمینی در طرف فشار قوی یک ژنراتور با ترانس $\Delta-Y$ رخ میدهد یک کوپل خازنی بین اولیه و ثانویه ژنراتور با ترانس وجود دارد که این باعث می‌گردد یک ولتاژ کوچک در نول ژنراتور بوجود بیاید و از آنجائیکه رله $27N_3$ (۹۵٪/۱۰۰) به کاهش در هارمونیک سوم پاسخ میدهد، بنابراین هیچ خطری جهت اشتباه عمل نمودن رله در اثر یک اتصالی خارجی که ممکن است سبب یک افزایش در ولتاژ هارمونیک سوم نول باشد وجود نخواهد داشت.

۳- طرح مقایسه کننده ولتاژ ۱۵۰ هرتز: طرز کار رله در این طرح بر پایه مقایسه ولتاژ هارمونی سوم استوار است. ترانسفورماتور هماهنگ کننده (ایزوله کننده) برای متعادل کردن ولتاژ هارمونی سوم نوترال ژنراتور با ولتاژ هارمونیک سوم ترمینال ژنراتور بکار می‌رود. جهت اطلاع کامل تر با این طرح و مدار آن به مرجع [۴۳] مراجعه شود.



جدول زیر، خلاصه ای از کاربردها و مشخصه های بسیار مهم سه نوع رله محافظه اتصال زمین ۱۰۰٪ سیم پیچی استاتور را نشان میدهد.

ردیف	عنوان کاربرد و مشخصه رله	نوع ۰۱ طرح تزریق هارمونیکیهای فرعی	نوع ۰۲ ولتاژ زیاد ۶۰ هرتز یا ۵ هرتز و ولتاژ کم ۱۵۰ هرتز یا ۱۸۰ هرتز	نوع ۰۲ مقایسه کننده ولتاژ
۱	میزان درصد همپوشانی رله محافظ سیم پیچی استاتور ژنراتوری که نوترال آن از طریق ترانسفورماتور زمین شده است.	۱۰۰٪ سیم پیچی استاتور را بدون نیاز به تجهیزات حفاظتی دیگر حفاظت مینماید.	ترکیب رله ازدیاد ولتاژ و رله ولتاژ کم هارمونیک سوم میتواند صد درصد سیم پیچی استاتور را حفاظت نمود و در ارتباط با آن محاسبات همپوشانی ضروری است.	از ترمینال ژنراتور تا نوترال را رله فوق حفاظت می نماید و جهت حفاظت نقطه وسط سیم پیچی استاتور به رله دیگری جهت تکمیل حفاظت مربوطه نیاز میباشد.
۲	نشان دهنده، جهت ۱- تشخیص اتصال کوتاه در سیستم زمین استاتور ۲- تشخیص باز بودن مدار سیم زمین استاتور	- برای اتصالی در طرف اولیه یا ثانویه ترانس زمین عمل مینماید. - باز بودن سیم پیچی ترانسفورماتور زمین را در طرف اولیه یا ثانویه تشخیص میدهد اما نمیتواند باز بودن در مدار مقاومت را تشخیص یا اعلام خبر نماید.	- برای اتصالی در طرف اولیه یا ثانویه ترانس زمین عمل مینماید. - باز بودن سیم پیچی ترانسفورماتور زمین را در طرف اولیه یا ثانویه تشخیص میدهد اما نمیتواند باز بودن در مدار مقاومت را تشخیص یا اعلام خبر نماید.	- برای اتصالی در طرف اولیه یا ثانویه ترانس زمین عمل مینماید. - برای باز بودن سیم پیچی ترانسفورماتور زمین در طرف اولیه یا ثانویه را میتواند تشخیص بدهد.
۳	تشخیص اتصال زمین در هنگامیکه ژنراتور روی ترنینگیر یا بدون حرکت است.	تشخیص میدهد	تشخیص نمیدهد	تشخیص نمیدهد
۴	اندازه گیری میدان جهت تعیین ستینگ رله	مورد نیاز است	* مورد نیاز است	* مورد نیاز است
۵	نظارتگری که باز بودن مدار را نشان دهد	میتواند مشخص نماید	میتواند مشخص نماید	نمیتواند مشخص نماید
۶	زمان قطع	ماکزیمم ۹۴۰ میلی ثانیه	برای ۵۹ واحد ۱۲۵۰ میلی ثانیه	۵۲۸ میلی ثانیه
۷	ترانسفورماتور ولتاژ در نوترال	مورد نیاز نمی باشد	مورد نیاز نمی باشد	مورد نیاز می باشد
۸	منبع تغذیه	در ساختمان رله موجود است	نیاز ندارد	نیاز ندارد

جدول (۲-۴): کاربرد و مشخصه های سه نوع حفاظت اتصال زمین ۱۰۰٪ سیم پیچ ژنراتور

۴-۳-۶- مثال

برای حفاظت اتصال زمین استاتوریک ژنراتور، با ولتاژ نامی 11KV ، از روش زمین نمودن ژنراتور با ترانس زمین

و مقدار مقاومت در ثانویه آن استفاده شده است، مشخصات خازنی ژنراتور به قرار زیر میباشد:

$$\frac{11000}{400}$$

ظرفیت خازنی ضربه گیر برای هر فاز $0.5 \mu F$

ظرفیت خازنی هر فاز ژنراتور نسبت به زمین $0.12 \mu F$

ظرفیت خازنی متعلقات شامل باس های خروجی و غیره برای هر فاز نسبت به زمین $0.11 \mu F$

محاسبه نمائید:

۱- مقاومت ثانویه مطلوب

۲- قدرت ترانسفورماتور زمین برای ظرفیت ۱ دقیقه

۳- مقدار جریان در ثانویه و اولیه ترانس هنگامیکه یک اتصال فاز به زمین در خروجی ژنراتور بوقوع پیوسته باشد.

۴- اگر یک رله اضافه ولتاژ با تپ های ولتاژی ۸،۶،۱۰،۱۲،۱۴،۱۶،۱۸،۲۰ (ولت) موجود باشد و هدف این باشد که ۹۵٪

سیم پیچی ژنراتور محافظت شود، تپ مطلوب را برای حفاظت اتصال زمین استاتور انتخاب نمائید.

۵- امپدانس خازنی پس ماند.

۶- کل جریان اتصال کوتاهی که از نقطه خطا می گذرد(اتصال فاز به زمین در ترمینال خروجی ژنراتور)

۷- بررسی وضعیت اضافه ولتاژ گذرا با توجه به مقاومت ثانویه محاسبه شده

حل:

$$R_s \leq \frac{10^6}{N^2 2\pi FC} \quad (1)$$

مقدار ظرفیت کل خازن (خازن سه فاز ژنراتور، خازن ضربه گیرها برای سه فاز و دیگر متعلقات سه فاز ژنراتور) برابر است

با: میکروفاراد

$$C = 3(0.5 + 0.12 + 0.11) = 2.19 \approx 2.2$$

$$R_s = \frac{10^6}{\left(\frac{11000}{400}\right)^2 \times 2\pi \times 50 \times 2.2} = \frac{10^6}{522682/4} = 1/91 \text{ اهم}$$

فرض میشود که ترانس زمین دارای سیم پیچ ثانویه با مقاومت ۱۱٪ اهم باشد.

$$R_S = 1/91 - 0/11 = 1/8 \text{ اهم}$$

مقاومت مطلوب نصب شده در ثانویه ترانس

۲- مشخصات قدرت ترانسفورماتور زمین مورد نیاز

$$KVA = \frac{U_{LL}}{\sqrt{3}} \times \frac{U_T}{N^2 R} = \frac{11}{\sqrt{3}} \times \frac{11 \times 10^3}{\left(\frac{11000}{400}\right)^2 \times 1/8} = \frac{121 \times 10^3}{2357/75} = 51/32 KVA$$

برای ظرفیت یکدقیقه ای ۲۱٪ ظرفیت مقدار بدست آمده در نظر گرفته میشود که میتوان یک ترانس با ظرفیت مساوی

یا بیشتر از 11KVA در نظر گرفت. $51/32 \times 21\% = 10/77$

۳- اگر یک اتصالی تک فاز به زمین در خروجی ژنراتور رخ دهد، ولتاژ $\frac{11000}{\sqrt{3}}$ بر روی ترانس زمین قرار میگیرد که با

انتقال این ولتاژ به ثانویه ترانس زمین خواهیم داشت

$$\frac{11000}{\sqrt{3}} \times \frac{400}{11000} \approx 231^V$$

با توجه به مقاومت نصب شده ۱/۸ اهم در ثانویه ترانس، جریان اتصالی در ثانویه ترانس برابر خواهد بود با

$$I_p = 128/3 \times \frac{400}{11000} = 4/66^A \text{ و } I_s = \frac{231}{1/8} = 128/3^A$$

۴- چنانکه ۹۵٪ از سیم پیچی ژنراتور قرار باشد محافظت گردد، در اینصورت ۵٪ سیم پیچی نزدیک نقطه نول ژنراتور

بدون حفاظت خواهد ماند $11/54^V = \frac{11000}{\sqrt{3}} \times \frac{400}{11000} \times 5\%$ میتوان تپ رله اضافه ولتاژ را بر روی 12^V

تنظیم نمود.

$$5- \text{ اهم } = \frac{10^6}{WC} = \frac{10^6}{2\pi F \times 2/2} = \frac{10^6}{691/15} = 1446/86$$

۶-

$$\frac{\frac{ULL}{\sqrt{3}}}{\text{امپدانس خازنی پس ماند}} = \frac{\frac{11000}{\sqrt{3}}}{1446/86} = 4/38A$$

$$IF = 4/66 + J4/38$$

کل جریان خطا که از نقطه اتصالی میگذرد برابر است با

$$|IF| = 6/39^A$$

جهت بررسی وضعیت ولتاژهای گذرا تلفات اهمی در مقاومت نصب شده در ثانویه ترانس زمین برابر است با

$$R_S I^2 = 1/8 \times (128/3)^2 = 29629 \approx 29/63^{KVA}$$

$$\text{کیلوولت آمپر خازنی نسبت به زمین} = \frac{(KV_{LL})^2 2\pi FC}{\sqrt{3} \times 10^3} = \frac{(11)^2 \times 2\pi \times 50 \times 2/2}{\sqrt{3} \times 10^3} = 27/87^{kVA}$$

$$\text{تلفات بر حسب کیلووات در} = \frac{29/63}{27/87} = 1/06$$

که با توجه به منحنی مربوط به بخش ۴-۳-۲، مشخصه مناسبی دارد.

۴-۳-۷- تنظیم جریان رله های اتصال زمین

با توجه به اینکه جریان عبوری از این رله ها در شرایط عادی تقریباً صفر می باشد، می توان جریان عملکرد این رله ها را بسیار کمتر از جریان نامی قرارداد. رله های اتصال زمین معمولاً بین ۱۰ تا ۸۰ درصد جریان نامی تنظیم می شوند و در بعضی موارد خاص که لازم باشد رله های حفاظت اتصال زمین حساس با تنظیم کمتر بکار می رود. این رله ها نیز شبیه رله های جریان زیاد، باید برای تمام خطاهای خط مجاور به عنوان رله پشتیبان عمل نمایند. لذا جریان عملکرد آنها باید از مینیمم جریان اتصال کوتاه فاز به زمین خط مجاور، کمتر باشد. برای در نظر گرفتن مقاومت مسیر جریان خط علاوه بر مقاومت قوس، مقاومت زمین را هم باید در نظر بگیریم.

مقدار مقاومت زمین به عوامل مختلفی بستگی دارد. مثلاً در شرایطی که خطوط دارای سیم محافظ نباشند یا سیم زمین در محل خطا نسبت به دکل، عایق شده باشد مقاومت زمین که شامل مقاومت پایه دکل در محل خطا به علاوه مقاومت زمین تا محل می شود، بسیار بزرگ است. ولی در شرایطی که سیم زمین وجود دارد و در محل، هر دکل نیز به زمین متصل شده چون مقاومت پایه دکلها موازی می شوند، مقاومت زمین کوچک است. در شرایطی که یک خط پاره شود و بر روی زمین بیفتد، مقاومت تماس ممکن است به مراتب از مقاومت پایه دکل بیشتر باشد. بنابراین در خطاهای فاز به زمین باید مقاومت بیشتری را نسبت به خطاهای فازی در نظر بگیریم.

۴-۳-۸- تنظیم زمانی رله های اتصال زمین:

اصول تنظیم زمان رله های اتصال زمین شبیه رله های جریان زیاد می باشد.

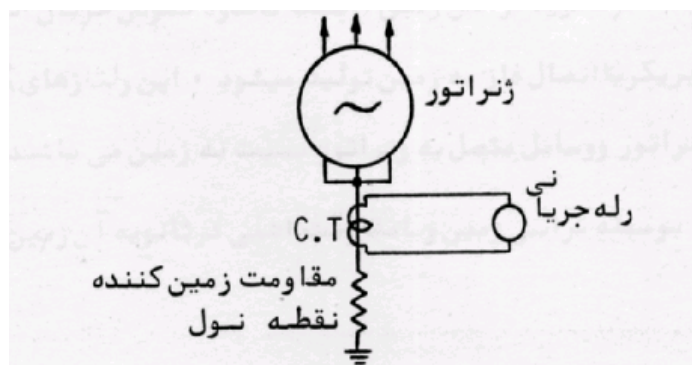
با این تفاوت که برای بدست آوردن زمان عملکرد این رله ها، برای هر جریان خطا ابتدا جریانهای مغناطیسی ترانس های جریان عبوری از رله را محاسبه می نماییم. و بعد از روی جریان و مشخصه رله، زمان عملکرد رله بدست می آید. البته در صورتیکه جریان اتصال کوتاه در مقایسه با جریان عملکرد رله بسیار بزرگ باشد، معمولاً می توان از جریانهای مغناطیسی با تقریب خوبی صرف نظر نمود. اشکال دیگری که در تنظیم زمان و هماهنگی رله های اتصال زمین وجود دارد

، اشباع شدن ترانس های جریان این رله می باشد. چون امپدانس این رله نسبت به رله های جریان زیاد ، بسیار بیشتر می باشد به ازای جریانهای کمتری می تواند ترانسفورماتورها را به اشباع برسانند. در صورت اشباع ، جریان رله دارای اعوجاج می شود و بدست آوردن زمان عملکرد رله در این شرایط بسادگی امکان پذیر نیست.

راه حل این مشکل این است که ترانس جریان را بگونه ای انتخاب کنیم که برای جریانهایی که رله های اصلی و پشتیبان باید هماهنگ شوند ، اشباع نگردد

۴-۴- طرحهای رله اتصال زمین برای ژنراتور:

در حالتی که ژنراتور با مقاومت زمین شود، از دید رله گذاری، جریان اتصالی به آسانی قابل تشخیص خواهد بود. نظر باینکه آیا ژنراتور مستقیماً و یا از طریق یک ترانس ستاره، مثلث به باس بار متصل شده است، نوع رله جریان زیاد مورد نیاز را مشخص می نماید، اگر ژنراتور مستقیماً به باس بار متصل باشد رله جریان زیاد با مشخصه زمان معکوس مورد نیاز است که با در نظر گرفتن زمان بقیه رله های اتصال زمین سیستم، تنظیم میشود. و اگر ژنراتور توسط یک ترانس ستاره - مثلث به باس بار متصل باشد بخاطر اینکه حلقه اتصال زمین محدود به ژنراتور و اولیه ترانس میگردد لذا هیچگونه احتیاجی به تنظیم نمودن زمان عملکرد رله با در نظر گرفتن سایر رله های سیستم نمی باشد و جهت جلوگیری از صدمه دیدن ژنراتور در هنگام اتصال زمین میتوان از یک رله جریان زیاد آنی استفاده نمود.



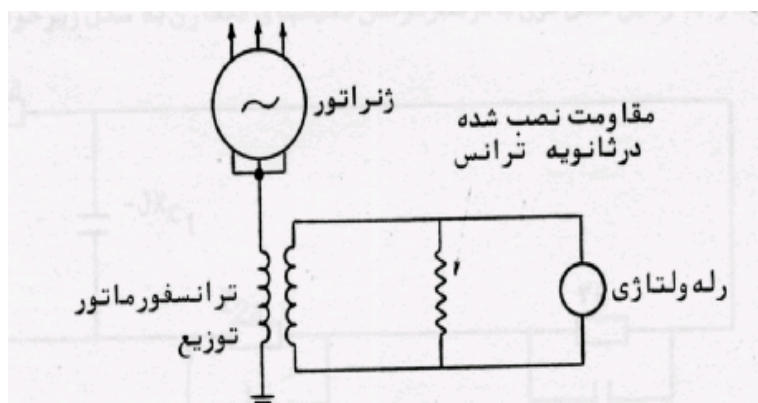
شکل (۴-۱۴)

در روش زمین کردن ژنراتور از طریق ترانسفورماتور توزیع با مقاومت در ثانویه آن، توسط مقاومت نصب شده در ثانویه ترانس در هنگام اتصال زمین مقاومت بسیار زیادی در نقطه نول ژنراتور بوجود می آید و جریان اتصالی را حدوداً بین ۵ الی ۱۰ آمپر محدود می نماید. عبور جریان کم بر روی ورقه آهن استاتور تاثیرات بدی را نمی تواند ایجاد نماید ولی باعث سوختگی عایق سیم در محل اتصالی و سرایت آن بر روی سیمهای مجاور و در نتیجه ایجاد اتصال حلقه یا اتصال دو فاز خواهد شد، در صورتیکه بالا بودن جریان اتصالی اثر شدیدی بر روی آهن استاتور خواهد گذاشت که در صورت صدمه زیاد

باید ورقه های فلزی استاتور تعویض گردند که باعث هزینه های زیادی خواهد شد. سیم پیچ های ثانویه ترانس توزیع در حدود ۱۰۰ الی ۵۰۰ ولت طراحی گردیده اند و مقاومت وصل شده بصورت موازی با آن، مقدار اهمی کم و ساختمان خشن و سختی را دارد.

جهت جلوگیری از جریان مغناطیسی زیاد به ترانسفورماتور توزیع در هنگام بروز اتصال زمین، ولتاژ نامی اولیه ترانسفورماتور توزیع باید حداقل ۱/۵ برابر ولتاژ فاز به نول ژنراتور باشد.

این روش زمین کردن برای ژنراتوری که از طریق یک ترانس ستاره- مثلث به شبکه متصل است بسیار مناسب میباشد.



شکل (۱۵-۴)

معمولاً در حالت اتصال زمین، کلید اصلی ژنراتور و تحریک سریعاً باید قطع شوند و غیر از پدیده های خطرناک جوش خوردگی در لایه های استاتور در اثر اتصالی، ولتاژ فازهای دیگر سیم پیچی استاتور ممکن است نسبت به زمین تا $\sqrt{3}$ برابر مقدار نامی افزایش پیدا نمایند و باعث پیدایش اتصال زمین دیگر و یا اتصال فاز به فاز شوند که در اینصورت با قطع سریع کلیدهای مذکور از بروز خسارتهای فوق جلوگیری میگردد.

جریان عملکرد رله های اتصال زمین باید کمتر از $\frac{1}{4}$ مینیمم جریان اتصال کوتاه خط مجاور رله تنظیم شوند.

۴-۴-۱- رله اضافه جریان زمین اولیه در ژنراتورها :

هر ژنراتور را می توان بوسیله یک رله اضافه جریان اولیه همراه با یک رله زمین اضافه جریان ثانویه (برای هر کلید قدرت) محافظت کرد . سیم پیچ های هر سه رله بصورت سری بسته می شود ، بطوریکه همه رله ها یک جریان را عبور می دهند.

از آنجا که در نول ژنراتور زمانی که خطا در طرف فشار قوی ترانسفورماتور رخ می دهد، ولتاژ وجود دارد، باید واحد تاخیر زمانی را برای رله در نظر گرفت. در غیر این صورت برای یک خطای سیستم انتقال بصورت غیر صحیح عمل خواهد کرد.

رله اضافه جریان زمین عموماً باید به یک واحد اضافه جریان آنی مجهز شود. این وسیله برای برطرف کردن سریع خطاهای زمین در ترانسفورماتورهای با سیم پیچ دلتای متصل شده به ترمینال های ژنراتور استفاده می شود.

۴-۴-۲- رله اضافه جریان زمین ثانویه در ژنراتورها :

به منظور حفاظت عیب کلید قدرت ژنراتور که باعث تریپ کردن می شود، یک رله اضافه جریان زمین ثانویه برای هر کلید قدرت نصب می شود. در حالت نقص کلید قدرت، هر ژنراتور در مقابل نقص منجر به تریپ، توسط آشکارساز متصل به رله زمانی حفاظت می شود. این سیستم بوسیله رله های دیفرانسیل ترانسفورماتور و دیگر رله ها مجهز می شود. از آنجا که زمین کردن با ترانسفورماتورهای توزیع، خطای زمین را به چند آمپر محدود می کند، چنین خطایی بوسیله آشکارساز خطا (که جریان جاری شده در کلید قدرت را در طرف فشار قوی اندازه گیری می کند) آشکار نمی شود. بنابراین این از رله های اضافه جریان ثانویه به عنوان جانشینی برای آشکارسازهای خطا استفاده می کنند.

رله های اضافه جریان زمین ثانویه باید تنها شامل واحد تاخیر زمانی باشند و در همان تپ رله اضافه جریان زمین اولیه، قرار داده شوند.

۴-۴-۳- تحلیل عملکرد رله های اتصال زمین ژنراتورهای نیروگاه گازی ری:

رله های اتصال زمین در واحدهای مختلف نیروگاه ری همه از نوع استاتیکی با قاب گردان می باشند تنها اختلاف آنها در مشخصه های آنها میباشد. بطوریکه بعضی از این رله ها هم دارای مشخصه زمانی و هم دارای مشخصه جریان میباشند و بعضی نیز تنها دارای یکی از این نوع مشخصه ها می باشند چهار تیپ مختلف از این واحدها، دارای هر دو مشخصه می باشند که فقط مقدار آنها در این واحدها متفاوت می باشد. در صورتیکه دو تیپ دیگر واحدها تنها دارای یک مشخصه زمانی میباشند.

علت اصلی عملکرد این رله ها (حدود ۹۰ درصد فراوانی عملکرد)، مشکل عایقی ایجاد شده در شینه های ژنراتور بوده که در اثر ترک خوردگی عایق شینه ها و آرک ایجاد شده و پیگرد آن بروز اتصال زمین و عملکرد این رله را حادث گردیده است. همچنین ۱۰ درصد فراوانی عملکرد رله اتصال زمین ژنراتور، به دلیل پائین بودن مقاومت عایقی بعضی از فازهای ژنراتور و بروز اتصال زمین در ژنراتور مربوط میشود.

۴-۴-۴- منطق قطع (تریپ) و هشدار حفاظت اتصال زمین استاتور و روتور ژنراتور



۴-۴-۱- حفاظت روتور ژنراتور

از آنجا که اولین اتصال زمین در سیم پیچی روتور، مشکلی برای ژنراتور ایجاد نمیکند، لذا در صورت تحریک این حفاظت، به ظهور هشدار (آلارم) اکتفا میشود.

۴-۴-۲- حفاظت استاتور از اتصال کوتاه فاز به زمین

این حفاظت در صورت اتصال کوتاه، فاز به زمین سیم پیچ های استاتور ژنراتور باید ژنراتور را از شبکه جدا نموده و فرمان قطع تحریک را بصورت آئی صادر نماید. لذا در صورت وقوع این خطا، تریپ ژنراتور امری قطعی و تریپ آئی عملکردی مطمئن برای واحد است.

۴-۵- طرحهای رله اتصال زمین برای موتور :

برای آشکار کردن و حذف خطاهایی که در اثر اتصالی یک فاز به بدنه یا زمین روی می دهد از رله های اتصال زمین استفاده می شود. هنگام راه اندازی موتورهای بزرگ ، جریان هجومی اولیه بسیار زیادی در آنها جاری می شود به این جریانهای همجومی باید توجه داشت تا باعث عملکرد نابجای رله های زمین نگردند. از عوامل دیگر عملکرد ناهنگام رله های زمین ، اشباع نامساوی C.T هاست. همچنین استفاده از دو رله به جای سه رله یا استفاده از سه رله با امیدانهایی متفاوت ، اثر جریان پسماند ناخواسته را افزایش داده و نتیجتاً باعث عملکرد نابهنگام رله می گردد. در صورتیکه عملکرد ناخواسته رله مسئله ساز باشد، مصرف رله مربوط به رله زمین ، باید با انتخاب تپ کمتر، افزایش یابد. به این صورت هر سه ترانس به صورت یکنواخت ، اشباع شده و به صورت موثری جریان ناخواسته را کاهش می دهند. پیشنهاد دیگر این است که یک مقاومت یا راکتور به صورت سری به رله زمین متصل شود.

۴-۶- طرحهای رله اتصال زمین برای ترانسفورماتورهای داخل نیروگاه:

اتصال زمین در ترانسفورماتورها اغلب در اثر فشار زیاد بین حلقه های سیم پیچی ترانسفورماتور و بدنه آن میباشد. اتصال زمین یا اتصال بدنه در ترانسفورماتورهای روغنی ابتدا در اثر تخلیه الکتریکی و سرانجام در اثر جرقه و قوس الکتریکی بوجود می آید. این جرقه و تخلیه الکتریکی ابتدا باعث تجزیه روغن میشود، و سپس تولید گاز در داخل روغن میکند. شدت جریان اتصال زمین اولاً بستگی به ولتاژ سیم پیچی که اتصال زمین شده است و ثانیاً به محل اتصال شدن، دارد. وظیفه رله اتصال زمین حفاظت ترانس در مقابل اتصال زمین میباشد. و در سر راه اتصال مرکز ستاره ترانس زمین یک ترانس جریان قرار دارد در صورتیکه در داخل ترانس یک اتصال زمین اتفاق بیفتد مدار عبور جریان بسته شده و جریان عبوری از مرکز ستاره به زمین توسط ترانس جریان نمونه برداری میشود. نمونه جریان مزبور به رله اتصال زمین داده میشود و رله فوق عمل کرده دستور تریپ به دژنگتور میدهد به این ترتیب ترانس از مدار خارج شده و حفاظت میگردد.

۴-۶-۱- وضعیت اتصال زمین شدن یک ترانسفورماتور با نقطه خنثی زمین شده

ممکن است نقطه خنثی ترانسفورماتور زمین شده باشد. که در اینصورت رله اتصال زمین واقع در نقطه خنثی هر عیب داخلی و یا جرعه زنی بوشینگ را تشخیص میدهد. اگر چه در عمل با عملکردهای نامطلوب روبرو می شویم که این عملکردهای غلط میتواند از زمین شدن تصادفی تجهیزات قدرت و یا وسایل کمکی نتیجه شود. و یا از تخلیه برقگیرها این عملکردهای نامطلوب حاصل شود که در این حالت هماهنگی دقیق بین فیوزهای تجهیزات کمکی و مشخصه های برقگیرها با رله اتصال زمین میتواند این خطر را به حداقل برساند.

۴-۶-۲- اتصال زمین ترانسفورماتورهای زمین شده با امپدانس بزرگ

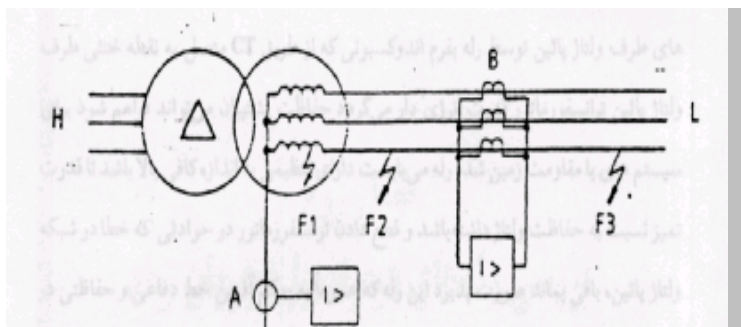
رله های تفاضلی (دیفرانسیل) ترانسفورماتور جهت عملکرد در قبال اتصال زمین هایی که ترانسفورماتور و یا سیستم از طریق امپدانس بزرگی زمین شده حساسیت کافی ندارند و در این حالات، استفاده از رله جریان زیاد زمانی حساس از طریق نقطه خنثی زمین شده ترانسفورماتور و یا رله ولتاژ زیاد زمانی متصل از طریق امپدانس نقطه خنثی ممکن است مورد نیاز باشد. این رله ها با رله های حفاظتی خط انتقال و فیدر که با آنها مشترک حفاظتی دارند می بایست هماهنگ گردند ممکن است حفاظتی با سرعت بالا فراهم نمائیم تا اجتناب از ضرورت هماهنگی حاصل گردد و این حفاظت به کمک استفاده از رله های حساس که فقط برای خطای زمین در ناحیه حفاظت شده فرمان قطع صادر میکنند صورت می گیرد.

۴-۶-۳- حفاظت اتصال زمین ترانسفورماتور

ترانسفورماتورهای قدرت با نقطه خنثی که از طریق امپدانس زمین شده و یا مستقیماً زمین شده اند می توانند با انواع مختلف رله های اتصال زمین جهت حفاظت سیم پیچ زمین شده مجهز گردند. رله های جریان زیاد باقیمانده امپدانس کم^(۱) یا رله های جریان زیاد مهار هارمونی^(۲) مطابق A یا B در شکل (۴-۱۶) می تواند متصل شود .

- ۱- Low- I impedance Residual Over current Relay
- ۲- Harmonic Restraint Over current Relay

این دو نوع رله حفاظت غیر واحد می باشند. هنگامی که نقطه خنثی در شکل بطور مستقیم یا موثر زمین شده و ترانسفورماتور از طریق H یا از طرف L تغذیه میگردد خطا در F1 یا F2 توسط رله واقع در نقطه A تشخیص داده میشود. بسته به توزیع امپدانس مولفه صفر در شبکه ممکن است رله واقع در B نیز عمل نماید در صورتیکه خطای واقع در F3 توسط رله های واقع در A و B تشخیص داده میشود.



شکل (۴-۱۶)

بنابراین ، این نوع رله های جریان زیاد می بایست دارای تاخیر باشد و الا آنها برای خطاهایی که در حوزه عمل دیگر رله های اتصال زمین در شبکه می باشند عمل خواهند کرد که به تعبیر دیگر حفاظت اضافه جریان نقطه خنثی ترانسفورماتور با توجه به منحنی عملکرد و تنظیم های این رله با دیگر حفاظتهای خطوط جانبی که ترانسفورماتور مسیر برگشت جریان مولفه صفر را بر ایشان فراهم آورده امکان تداخل دارد. اگر رله های خطوط انتقال موفق به پاک کردن خطای زمین نشدند این وسیله حفاظتی ترانسفورماتور را جهت حفاظت سیم پیچهایش تریپ میدهد بدین خاطر این رله حکم پشتیبان را نسبت به حفاظت اتصال زمین خطوط انتقال دارند همچنین این رله ها حفاظت پشتیبان کمکی برای رله های دیفرانسیل ترانسفورماتور می باشند.

رله اتصال زمین محدود از نوع تفاضل جریان (حفاظت واحد) فقط برای خطاهای داخل ناحیه حفاظتی میتواند عمل نماید این رله حساسیت قابل اعتماد و سرعت عملکرد بالایی بدست میدهد.

۴-۶-۴- حفاظت اتصال زمین کمکی

هنگامی که ترانسفورماتور از طریق راکتور و یا مقاومت زمین کننده، زمین می‌گردد در این مورد معمول است از حفاظت اتصال زمین دارای تاخیر زمانی استفاده شود در مقابل اتصال زمین های طرف ولتاژ پایین توسط رله بفرم اندوکسیونی که از طریق CT متصل به نقطه خنثی طرف ولتاژ ترانسفورماتور قدرت انرژی دار می‌گردد حفاظت پشتیبان میتواند فراهم شود برای سیستم های با مقاومت زمین شده رله می بایست دارای تنظیمی به اندازه کافی بالا باشد تا قدرت تمیز نسبت به حفاظت ولتاژ داشته باشد و قطع دادن ترانسفورماتور در حوادثی که خطا در شبکه ولتاژ پایین، باقی بماند صورت پذیرد این رله که عموماً به حکم آخرین خط دفاعی و حفاظتی در نظر گرفته میشود. در صورتیکه اتصال زمین باقی بماند فرمان تریپ هر دو طرف ولتاژ پایین و بالای ترانسفورماتور را صادر میکند.

۴-۶-۵- تحلیل عملکرد رله های اتصال زمین ترانسفورماتورهای نیروگاه گازی ری:

عمده عوامل عملکرد این رله ها بشرح زیر است:

۴-۶-۵-۱- اتصال زمین ایجاد شده در پست (۰.۱۵)

۴-۶-۵-۲- ترکیب تجهیزات (۰.۱۵)

۴-۶-۵-۳- اشکال ایجاد شده در مکانیزم برخی تجهیزات (۰.۷/۶)

مانند ایجاد اشکال در سیستم تغذیه الکتروموتور تپ چنجر ترانسفورماتور و خطای ایجاد شده در آن

۴-۶-۵-۴- خطای رخ داده در خطوط انتقال مجاور نیروگاه (۰.۱۵/۳)

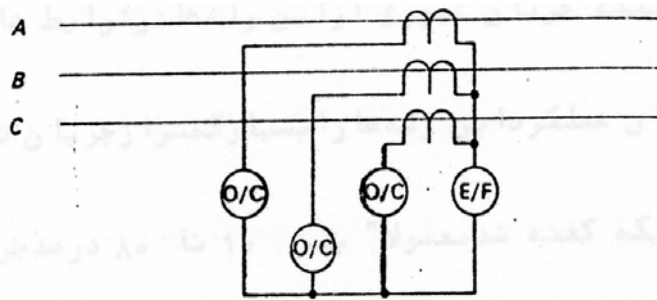
۴-۶-۵-۵- اتصالات داخلی در سیم پیچ های ترانسفورماتور (۰.۳/۸)

۴-۶-۵-۶- خطای نیروی انسانی (۰.۲۷)

به هنگام نصب سیستم حفاظتی ترانسفورماتور جدید جنب پست اصلی نیروگاه ، پلاریته رله اتصال زمین REF بر عکس بسته شده که این عامل باعث عملکرد رله برای خطاهای خارج محدوده ترانسفورماتور می‌گردد.

۴-۷- طرحهای رله اتصال زمین برای خطوط داخل نیروگاه:

همانطور که قبلا هم ذکر شد برای حفاظت خطوط در برابر اتصال زمین ، جریان مولفه صفر را با موازی بستن ترانسهای جریان استخراج می کنیم. معمولاً رله اتصال زمین بین نقاط ستاره رله ها و ترانس های جریان قرار می گیرد. رله های جریان زیاد اغلب در دو فاز سیستم قرار می گیرند. چون این نحوه استقرار، هر نوع اتصالی بین فازها را آشکار خواهد ساخت و اتصال آنها به رله اتصال زمین هیچ گونه تاثیری بر آن نخواهد داشت.



شکل (۱۷-۴)

۴-۷-۱- حفاظت اتصال زمین در باس بار اصلی مصرف داخلی نیروگاهها برای سیستم ایزوله

خطای اتصال زمین در سیستم های ایزوله اصولاً موجب ایجاد خطر جدی در سیستم نمی شود، اما از آنجائیکه احتمال وقوع خطاهای جدی (مانند اتصال دو فاز) در چنین شرایطی وجود دارد، لذا تشخیص این خطا و تعیین محل وقوع آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. از سوی دیگر سیستم ایزوله غالباً برای مصارف بسیار حساس که می بایست دارای قابلیت اطمینان بسیار بالا باشند مورد استفاده قرار می گیرد، این در حالی است که تشخیص خطای اتصال زمین در سیستم ایزوله پیچیده تر از سیستم زمین شده می باشد. مقصود از سیستم ایزوله، سیستمی است که هیچ اتصالی مابین مرکز ستاره منبع تغذیه کننده آن و زمین وجود ندارد و در اینجا از طرف فشار ضعیف ترانس مصرف داخلی نیروگاه از نوع (Δ/Δ) یا از یک باس بار فشار متوسط موجود دیگر (باس بار A) (با مشخصات یک سیستم ایزوله) تغذیه میشود.

باس بار اصلی (باس بار مورد بررسی - باس بار B) میتواند توسط دو یا چند فیدر به یکی از دو منبع فوق الذکر مرتبط باشد، فیدرهای خروجی نیز طبیعتاً متعدد می باشند.

از آنجائی که هدف، بررسی بدترین شرایط است، فرض میشود که باس بار B در هنگام وقوع خطا توسط باس بار فشار متوسط A تغذیه میشود که در ادامه علت این پیش فرض روشن تر خواهد شد.

در چنین شرایطی ۴ پیشنهاد در حفاظت اتصال زمین به شرح زیر معمول می باشد.

- ۱- استفاده از یک ترانس ولتاژ با سیم بندی مثلث باز برای اندازه گیری ولتاژ جابجایی مرکز ستاره به تنهایی
- ۲- استفاده از ترانس فوق الذکر برای اندازه گیری ولتاژ جابجایی مرکز ستاره و همچنین رله های DEF^1 در هر فیدر خروجی جهت تشخیص محدوده خطا (مورد استفاده در نیروگاه منتظر قائم)
- ۳- استفاده از ترانس فوق الذکر برای اندازه گیری، ولتاژ جابجایی مرکز ستاره و همچنین رله های EF^2 جریانی غیر جهت یاب، با امکان تشخیص محدوده خطا (مورد استفاده در نیروگاه شهیدرجایی)
- ۴- استفاده از تغییرات آنی کمیتهای الکتریکی ناشی از خازنهای کابل

البته روش چهارم چندان مورد استفاده قرار نمی گیرد و به آن کمتر پرداخته خواهد شد. در هر یک از روشهای فوق الذکر، انتخاب اینکه حفاظت به آلام اکتفا نماید، یا فرمان تریپ نیز توسط آن صادر شود، به دو عامل زیر بستگی دارد.

۱- منطق حفاظت باس بار A (آلام یا تریپ)

۲- استراتژی حفاظت سیستم جدید

1-Directional Earth Fault

2- Earth Fault

توضیح این نکته ضروری به نظر میرسد که در یک سیستم نیروگاهی که دارای کنترل اپراتوری مداوم می باشد و با توجه به غیر فوری (NON URGENT) بودن حفاظت اتصال زمین شاید، عملکرد تریپ منطقی نباشد، اما در برخی نیروگاهها (از جمله منتظر قائم) منطق حفاظتی حاکم منجر به تریپ میشود و از جهت طراح، عملاً تغییر در این منطق چندان اجرایی نیست و لازم است که باس بار و همچنین کلیه فیدرهای خروجی آن (در صورت مجهز بودن به حفاظت EF) در چنین شرایطی تریپ نمایند.

۴-۷-۱-۱- بررسی روشهای پیشنهادی مختلف جهت اتصال زمین

الف) استفاده از یک ترانس مثلث باز به تنهایی در کل سیستم

بدیهی است که در این حالت بر روی هر باس بار (باس بار A, B) یک رله اضافه ولتاژ نصب میشود که هر خطایی در هر نقطه از سیستم توسط هر دو رله مشاهده میگردد، در این حالت هیچ امکانی برای تشخیص محل خطا وجود ندارد و تنها به روش سعی و خطا میتوان محل خطا را تعیین کرد و این به معنی خارج شدن واحد از مدار است.

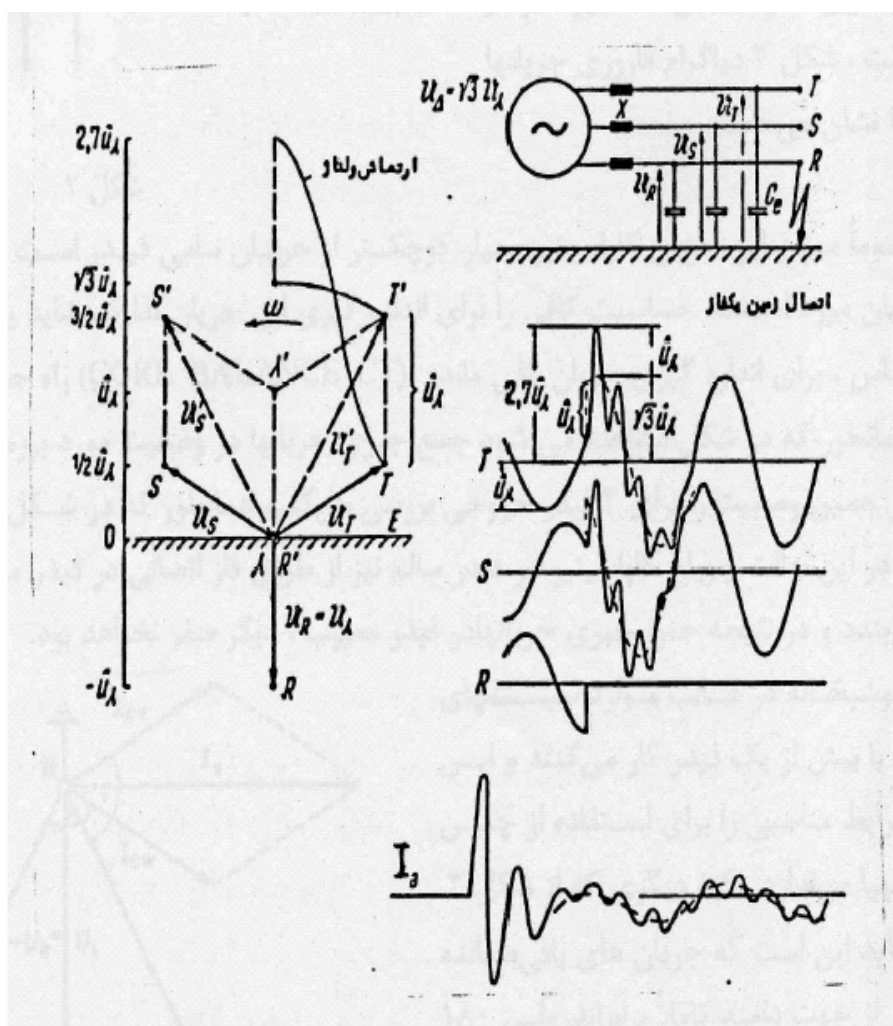
نکته دیگر اینکه اگر استراتژی باس بار A بر تریپ استوار باشد، طراح مجبور خواهد شد که منطق حفاظت باس بار B را نیز بر تریپ قرار دهد، و چون باس بار B، باس بار پائین دست محسوب میشود، می بایست حفاظت آن سریعتر عمل کند ولو اینکه خطا در محدوده آن نباشد.

پر واضح است که این نحوه حفاظت (خصوصاً اگر منطق بر تریپ استوار باشد) دسترسی و قابلیت اطمینان شبکه مصرف داخلی و به تبع آن واحد را بشدت کم می نماید و ممکن است باعث بروز خسارات جبران ناپذیری گردد.

ب) استفاده از رله های جریانی حساس (جهت یاب)

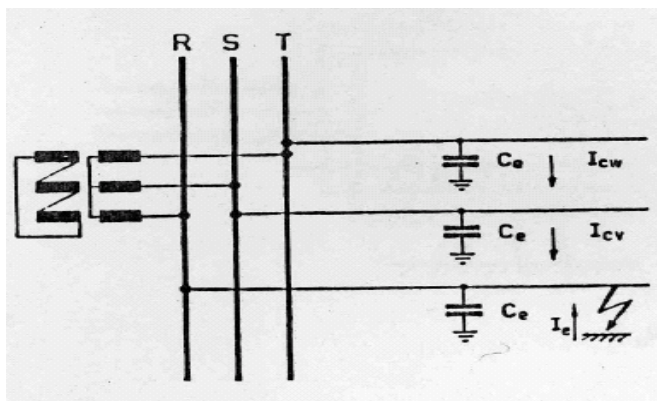
ابتدا به بررسی وضعیت تغییرات جریان در یک سیستم ایزوله پرداخته و آنگاه روش معمول در استفاده از این جریان را جهت حفاظت اتصال زمین مطرح خواهد شد.

هنگامی که یک فاز از مدار اتصال کوتاه میشود، جریانی آبی دشارژ خازن کابل، مابین کابل و زمین جاری میگردد. این جریان اثر مخربی در افزایش عیب ایجاد شده دارد و از این جهت که تبادل بار مابین کابل و زمین انجام میشود، در ابتدای فیدر قابل مشاهده نیست. اما با توجه به اینکه ولتاژ مابین خازنهای (کابلهای) دو فاز دیگر و زمین بطور ناگهانی از U_{ph} به $\sqrt{3} U_{ph}$ تغییر میکند لذا یک جریان در کابل از فیدر به سمت کابل جاری میشود بعلت وجود سلف در مدار، این تغییرات جریانی بصورت نوسانی است و فرکانس این نوسانات بین ۱۵۰ تا ۱۰۰۰ هرتز می باشد (شکل ۱۸-۴) این جریان در حفاظت نوع چهارم مبنای کار است که فرصت پرداختن بیشتر به آن نیست. پس از گذر از این مرحله یک جریان کاپاسیتیو با فرکانس ۵۰ هرتز در مدار جریان می یابد.

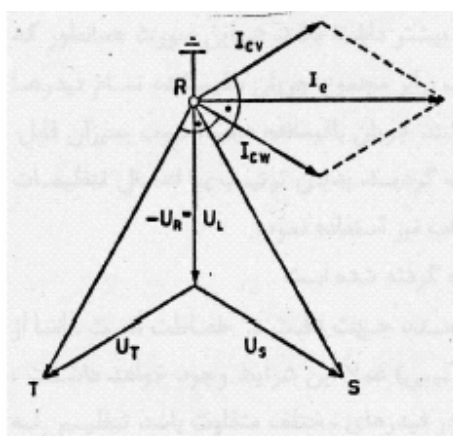


شکل (۴-۱۸)

همانطور که در شکل (۴-۱۹) مشاهده میشود در صورت استفاده از قانون جمع آثار میتوان ظرفیت خازنی کابل ها و سایر ادوات (عمدتاً کابلها) را بعنوان یک بار کاپاسیتیو متقارن در نظر گرفت که بصورت ستاره به شبکه متصل شده اند، در صورت وقوع یک خطای اتصال زمین موجود مابین فاز اتصالی و زمین عملاً از بین رفته و جمع جریان کاپاسیتیو دو فاز دیگر از طریق فاز اتصالی، مسیر خود را خواهند بست. شکل (۴-۲۰) دیاگرام فازوری جریانها و ولتاژ را نشان میدهد.



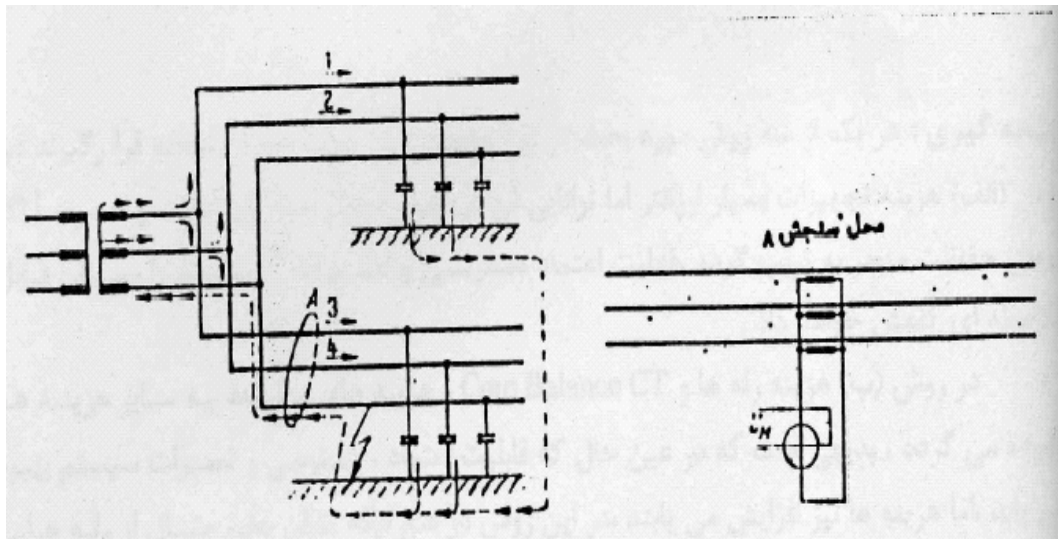
شکل (۴-۱۹)



شکل (۴-۲۰)

عموماً میزان این جریان کاپاسیتیو بسیار کوچکتر از جریان نامی فیدر است و در نتیجه ترانس جریان مورد استفاده حساسیت کافی را برای اندازه گیری این جریان ندارد. شاید یک ترانس جریان حساس، برای اندازه گیری جریان باقیمانده

(CORE BALANCE CT) راه حل مناسبی باشد اما همانطور که در شکل (۴-۲۰) مشاهده میشود جمع جبری جریانها در وضعیت مورد بررسی صفر می باشد. حال همین وضعیت را برای ۲ فیدر خروجی بررسی می کنیم همانطور که در شکل (۴-۲۱) ملاحظه می گردد، در این حالت جریان کاپاسیتیو دو فیدر سالم نیز از طریق فاز اتصالی در فیدر معیوب مدار خود را می بندد و در نتیجه جمع جبری جریانها در فیدر معیوب، دیگر صفر نخواهد بود. خوشبختانه در غالب موارد سیستمهای مورد بحث با بیش از یک فیدر کار میکنند و این وضعیت شرایط مناسبی را برای استفاده از چنین حفاظتی مهیا می سازد. نکته دیگری که از شکل (۴-۲۰) بدست می آید این است که جریان های باقیمانده در دو فیدر از جهت دامنه کاملاً برابرند ولی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند. این به ما امکان میدهد که با استفاده از یک رله جهت دار محل خطا را بخوبی تشخیص دهیم.



شکل (۴-۲۱)

روش اخیر، روشی است که طراحی حفاظت نیروگاه سیکل ترکیبی منتظر قائم بر مبنای آن صورت پذیرفته است. در این نیروگاه یک رله به همراه یک CORE BALANCE CT استفاده گردیده است. مهمترین پارامتر تنظیمی در این رله زاویه مشخصه رله، جهت تعیین شرایط REVERSE, FORWARD میباشد. این رله علاوه بر جریان باقیمانده از ولتاژ جابجایی نقطه ستاره نیز بعنوان ولتاژ پلاریزاسیون بهره می گیرد. و در صورت وجود هر دو کمیت جریان و ولتاژ باقیمانده و همچنین در صورتیکه محل قرار گیری بردار جریان باقیمانده نسبت به ولتاژ باقیمانده در محدوده عملکرد رله باشد، رله عمل خواهد نمود.

ج) استفاده از رله های جریانی حساس (غیر جهت یاب)

حال فرض می کنیم باس بار، ۳ فیدر خروجی یا بیشتر داشته باشد. در اینصورت همانطور که در شکل (۲۱-۴) مشاهده میشود جریان باقیمانده فیدر معیوب برابر مجموع جریان باقیمانده تمام فیدرها خواهد بود. و اگر تعداد فیدرها در حدود ۷ یا ۸ فیدر باشند جریان باقیمانده فیدر معیوب بمیزان قابل ملاحظه ای از جریان باقیمانده سایر فیدرها بیشتر خواهد گردید. بدین ترتیب با اعمال تنظیمات مناسب میتوان از رله های حساس جریانی غیر جهت یاب نیز استفاده نمود. در طرح نیروگاه شهیدرجایی، از این واقعیت بخوبی بهره گرفته شده است.

ایراد مهم این روش، اهمیت وجود فیدرهای متعدد جهت دقت در حفاظت است اما از آنجا که در بهره برداری نرمال (در یک نیروگاه سیکل ترکیبی) عملاً این شرایط وجود خواهد داشت، این مشکل چندان مطرح نیست. البته اگر طول کابلها در فیدرهای مختلف متفاوت باشد تنظیم رله جریانی بسیار دشوار خواهد بود و این خطای سنجش را افزایش خواهد داد.

۴-۷-۱-۲- نتیجه:

هر یک از سه روش مورد بحث در این مجموعه می توانند مورد استفاده قرار گیرند در روش (الف) هزینه تجهیزات بسیار ارزانتر اما توانایی آن در تعیین محل خطا کم است و خصوصاً اگر منطق حفاظت منجر به تریپ گردد، قابلیت اعتماد، دسترسی و تعمیرات^۱ سیستم را بمیزان قابل ملاحظه ای کاهش خواهد داد.

در روش (ب) هزینه رله ها و Core Balance CT و هزینه های مرتبط به سایر هزینه ها افزوده میگردد، بدیهی است که در عین حال که قابلیت اعتماد، دسترسی و تعمیرات سیستم بهبود می یابد، اما هزینه ها نیز افزایش می یابند، در این روش در صورتیکه بتوان از رله هایی با تنظیمات مناسب استفاده کرد، بگونه ای که سایر حفاظت های فیدر (که غالباً حفاظت های جریانی است) نیز توسط آن انجام شود، میتوان هزینه ها را در این روش به میزان قابل قبولی کاهش داد. در چنین حالتی شاید این روش بهترین انتخاب باشد. روش (ج) یک حالت تعادل میان دو حالت است، در این روش که هزینه ها تا میزان قابل قبولی کاهش یافته (نسبت به روش الف) سیستم از قابلیت اطمینان، دسترسی و تعمیرات مناسبی نیز برخوردار است، مهمترین اشکال این روش وابستگی کامل آن به حضور فیدرهای متعدد در مدار و همچنین همانندی این فیدرها است تا امکان تنظیم رله ها در آن وجود داشته باشد.

بررسی دقیق تر این روشها، وابسته به مطالعات قابلیت اطمینان است بگونه ای که بتوان مزایای نظیر قابلیت اطمینان، دسترسی و تعمیرات را بصورت یک کمیت عددی جهت مقایسه با هزینه ها تعریف نمود و از مقایسه میان هزینه و مزیت ها به بهترین انتخاب دست یافت.



1- reliability, Availability, Maintainability

فصل پنجم

تداخل حفاظت نیروگاه با شبکه
مباحث عام

مطالعه موردی نیروگاه ری

مقایسه سیستمهای حفاظتی نیروگاههای شریعتی و نیشابور



نیروگاه

۱-۵- مباحث عام تداخل حفاظت نیروگاه با شبکه

مقدمه

در سیستم های انرژی برق دنیا منجمله در شبکه کشور ایران ، گهگاه بر اثر خطای خارجی در سیستم قدرت، ژنراتورها تریپ میکنند بخصوص هنگامی که حفاظت اصلی (اولیه) پست و یا خط انتقال در اسرع وقت چنین خطایی را پاک نکند این چنین تریپهای ناخواسته ژنراتورها، ممکن است سیستم سراسری برق کشور را به فروپاشی (خاموشی کامل) بکشاند. بدین خاطر چون تداخلی بین حفاظت نیروگاه با حفاظتهای موجود در پست و خطوط انتقال نیرو وجود دارد، لزوم بررسی ارتباط حفاظتهای نیروگاه با شبکه مشخص میشود. در این رابطه اهم رله های حفاظتی نیروگاه مربوط به این بحث و راه حلهای به حداقل رساندن این ارتباط (بخاطر قدرت تمیز حفاظت سیستم و عملکرد رله ها صرفاً بخاطر فلسفه حفاظتی که بر ایشان طراح حفاظت در نظر گرفته است) در ذیل می آید.

۱-۱-۵- حفاظت جریان زیاد پشتیبان ترانسفورماتور واحد (ژنراتور) - طرف ولتاژ بالا

این حفاظت معمولاً از ترانس جریان طرف فشار بالای ترانسفورماتور تغذیه میشود و جهت جدا کردن ژنراتور از سیستم، پاک نشده از خطا، میباشد. همچنین این رله بعنوان حفاظت پشتیبان برای خطای داخلی ترانسفورماتور است. زمان عملکرد این رله برای خطای خارجی شبکه به رفتار ماشین، شرایط بار ماشین، سیستم تحریک (در حالت خودکار و یا دستی) و افزایش زاویه بار در حین زمان عملکرد رله، وابسته است اما برای خطای داخلی ترانسفورماتور ژنراتور، این زمان عملکرد به تغذیه خطا از طریق شبکه، وابسته میباشد. در مناطقی از شبکه که سطوح خطا خیلی کم باشد نتیجه این مطلب، این میشود که زمان عملکرد رله مذکور برای خطای ترانسفورماتور خیلی طولانی است به ترتیبی که ممکن است بر پایداری دیگر ژنراتورهای واقع در همین نیروگاه اثر بگذارد.

راه حل برای این مشکل:

مشخص رله جریان زیاد پشتیبان ترانسفورماتور واحد را بجای معکوس معمولی، از نوع فوق (Extremely) معکوس انتخاب شود.

در صورتیکه رله جریان زیاد پشتیبان ترانسفورماتور دارای بخش آنی باشد باید در رابطه با این بخش، پدیده نوسان قدرت در نظر گرفت. رله جریان زیاد لحظه ای باید در آنچنان مقدار زیادی تنظیم گردد که در مواقع نوسان قدرت عمل نکند و اگر این مسئله رعایت گردد میتوان این مطلب را بطور کلی گفت رله هایی که برای مقادیر پله (مشابه رله های آنی) عمل میکنند در مقابل نوسان قدرت ذاتا غیر حساس میباشند.

۲-۱-۵- حفاظت جریان زیاد ژنراتور

رله جریان زیاد ژنراتور حکم پشتیبان را داشته و طرحهای معمول آن با کنترل ولتاژ میباشد. بعنوان مثال به یکی از طرحهای موجود می پردازیم این رله از دو عنصر جریان زیاد ولتاژ کم تشکیل شده است در صورتیکه خطا در محلی دور از ژنراتور رخ دهد و بالطبع ولتاژ حس شده توسط رله آنچنان کاهش نیابد فقط عنصر جریان زیاد رله که دارای مشخصه معکوس میباشد با توجه به تنظیم زمان- جریان این مشخصه، در صورتی که جریان عبوری از رله از ستینگ جریانی آن بالاتر باشد عنصر جریانی شروع به عمل می نماید و در صورتی که رله های اصلی مربوط به بخش خطا عمل نکند با تاخیر نسبتاً زیادی، این رله ژنراتور را بی برق می نماید. در صورتیکه خطا در نزدیکی ژنراتور رخ دهد و ولتاژ ارسالی به رله از مقدار تنظیم ولتاژی عنصر ولتاژ کم رله کمتر گردد. گشتاور حاصله از عملکرد این عنصر به گشتاور حاصل از عملکرد عنصر جریان زیاد، جمع میگردد و باعث افزایش سرعت عملکرد رله و کاهش زمان عملکرد رله میگردد. علیرغم قدرت تمیز نسبتاً خوب این رله، بایستی عنصر جریان زیاد این رله را با توجه به تغییرات سطح خطا که در توسعه شبکه

رخ میدهد، با رله های حفاظتی شبکه هماهنگ نمود. عنصر ولتاژ کم این رله نیروگاهها را از دید نوسان قدرت مورد ارزیابی قرار داد. بطور کلی ژنراتورها باید به محض لغزش قطب از مدار خارج گردند و زمان تاخیری که برای عناصر و رله های ولتاژ کم در نیروگاهها در نظر میگیرند بدین خاطر میباشد.

۳-۱-۵- حفاظت مولفه منفی

این حفاظت برای همه ژنراتورهای متصل به شبکه بکار برده شده است. این رله معمولا دو مرحله ای است. مرحله اول، هشدار (آلارم) میدهد در صورتیکه میزان مولفه منفی، از مقدار مستمر مولفه منفی که ژنراتور میتواند تحمل نماید، بیشتر شود. در این مرحله (توسط رله) اعلام اخطار میگردد و در مرحله دوم، قبل از اینکه مقدار $I_2^2 t$ کارکرد ماشین از حد مجاز حرارتی ماشین ($I_2^2 t$) فزونی یابد توسط این مرحله از رله مولفه منفی، ژنراتور را از مدار خارج می نماید (تریپ میدهد) اگرچه هنگامیکه واحد هشدار دهنده رله عمل می نماید برای اپراتور نیروگاه و یا شبکه معمولاً ممکن نیست فیدری (خط خروجی) که جریان شدید I_2 را می کشد، را از سیستم جدا نماید. در نتیجه همه ماشینهای الکتریکی واقع در نیروگاه ممکن است توسط مرحله دوم (تریپ) رله، تریپ (قطع) داده شوند.

در این حالت بایستی ترتیبی اتخاذ نمود تا اگر خطاهای نامتقارن در شبکه رخ میدهد رله های طرف قسمت معیوب شبکه، این عیب را با سرعت لازم پاک نماید تا منجر به عملکرد رله مولفه منفی ماشین در نیروگاه نگردد و فقط این رله در قبال خطاهای داخلی ماشین عمل نماید.

۵-۲- مطالعه موردی نیروگاه ری

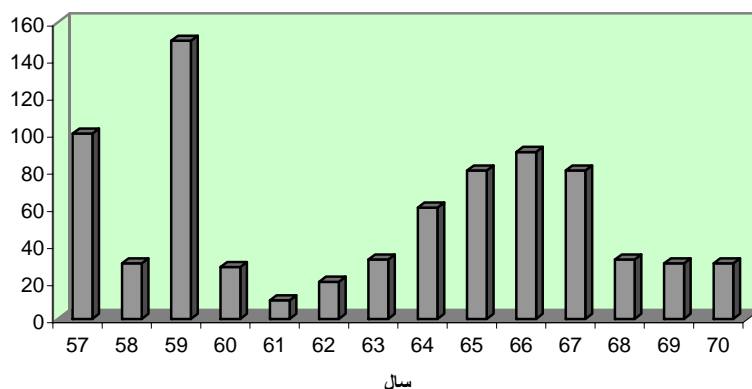
برای بررسی آماری، مبنای کار، دفاتر شیفت نیروگاه گازی ری و آمار قطعی خطوط 400 kV و 230 kV منتهی به این نیروگاه (دفاتر شیفت پستهای 400 kV تهرانپارس و 400 kV ری شمالی و 230 kV فیروز بهرام و قم و بعثت) و مدیریت دیسپاچینگ و مخابرات سازمان برق ایران و مدیریت انتقال نیرو و رلیاژ توانیر قرارداد شده است. دوره زمانی انتخاب شده پانزده سال، از ابتدای بهره برداری نیروگاه گازی تا آخر سال ۱۳۷۱ می باشد. لازم بذکر است که در این نیروگاه، شش تیپ واحد گازی بنام سازندگان آنها نصب شده است، که در ادامه مطلب این اسامی که آورده میشود، جنبه تبلیغاتی ندارد.

بعد از بررسی اولیه به این نتیجه رسیدیم که تنها رله هایی که بیانگر حالتی از تداخل هستند ، هفت نوع می باشند که عبارتند از:

- رله جریان زیاد ژنراتور
- رله جریان زیاد ترانسفورماتور
- رله اتصال زمین ژنراتور

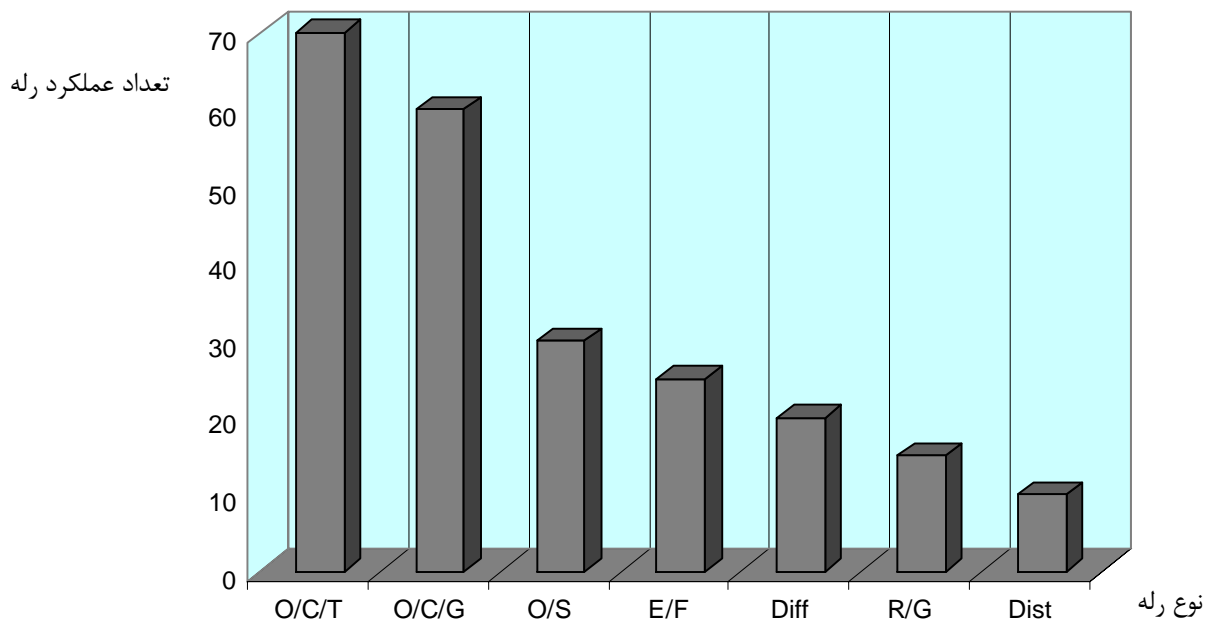


- رله اتصال زمین موتور
- رله افزایش سرعت توربوژنراتور
- رله دیفرانسیل برای حفاظت خطوط مابین واحدهای (آ.ا.گ و میتسوبیشی) تا پست اصلی (diff)
- رله دیستانس جهت حفاظت خطوط بند فوق (DIST)



نمودار ۱-۵: تعداد تریپ نامطلوب واحدهای نیروگاه ری در اثر تداخل حفاظت بر حسب سال

این نمودار بیانگر تریپ و بی باری واحدها در اثر تداخل سیستم حفاظتی باحفاظت شبکه می باشد. محور عمودی بیانگر تعداد تریپ بی مورد ژنراتورهاست. با داشتن یک سیستم حفاظتی صحیح هیچیک از این موارد نباید اتفاق می افتاد. نکات عمده در این نمودار یکی سال ۵۹ است که در این سال بعلت آغاز جنگ تحمیلی و حملات هوایی قطع آبی بارها (خاموشیها) باعث ناپایداری شدید شبکه و در نتیجه بالا رفتن شدید آمار قطعی در اثر تداخل حفاظت شده است. دومین نکته عمده در نمودار (۱-۵)، سال ۶۱ است که افت شدید آمار قطعی را میتوان به علت در حال تعمیر بودن اکثر واحدهای نیروگاه دانست.



نمودار ۲-۵ تعداد عملکرد رله ها بر حسب نوع رله

همانطور که در نمودار ۲-۵ مشاهده می کنید، بیشترین عملکرد را رله اضافه جریان دارد. در واحدهای میتسویشی و آ.ا.گ به دفعات زیاد مشاهده عملکرد بی مورد رله های جریان زیاد ژنراتور و ترانس می باشیم. علت این امر بخاطر عدم هماهنگی رله های جریان زیاد و اتصال زمین ژنراتور و ترانسفورماتور با رله های خطوط انتقال نیرو می باشد. علت دیگر بخاطر تاثیر پذیری رله های جریان زیاد از نوسان قدرت ناشی از خطای موجود در خطوط انتقال می باشد. به عنوان مثال بر اثر حادثه ای در خط تهرانپارس- ازگل که در فاصله دوری از نیروگاه قرارداد واحدهای ۳۳ و ۳۲ میتسویشی و کلیه واحدهای آ.ا.گ با عملکرد رله اضافه جریان تریپ نمودند. همانطور که به نظر می رسد در این واقعه رله دیستانس خط تهرانپارس - ری و نیز حفاظت واحدهای میتسویشی و آ.ا.گ نیز عمل کردند.

با بررسی آمارهای موجود در اثر خطای خارجی ژنراتور- ترانسفورماتور مشخص می گردد که رله اتصال زمین ترانسفورماتور و واحدهای فیات سریع عمل می نمایند که با توجه به محاسبات اتصال کوتاه و هماهنگی بین رله های زمین ترانس مذکور و خطوط انتقال، ضریب تنظیم زمانی آنها بایستی افزایش یابد. همین مورد در رابطه با رله های اتصال زمین ژنراتور و واحدهای فیات نیز صادق است.

بعد از رله های جریان زیاد و افزایش سرعت، رله های دیفرانسیلی خط داخل نیروگاه بیشترین عملکرد را دارد. انرژی الکتریکی بوسیله دو خط انتقال از باسهای ۲۳۰ میتسویشی و آ.ا.گ به پست اصلی نیروگاه انتقال می یابد. حفاظت این خطوط با یک دیفرانسیل پایلوت انجام می گیرد. در موارد متعدد مشاهده شده که در اثر خطای خارجی رله دیفرانسیل عمل کرده است بعد از بررسی رله های دیفرانسیل این خطوط، به این نتیجه رسیدند که این رله ها دارای بایاس نیستند

و همانطور که مشخص است رله های بدون بایاس، با تفاوت کم جریانهای اعمال شده به رله در اثر تفاوت کلاس دقت دو CT و یا به اشباع رفتن یکی از CT در هنگام خطا عمل می نمایند.

در نمودار (۲-۵) رله های مربوط به ژنراتور و ترانسفورماتور آورده شده است ، ولی مواردی در بحث تداخل حفاظت نیروگاه با شبکه به چشم می خورد که مربوط به این دو عنصر شبکه نیستند از جمله این موارد می توان به حفاظت باس بار پست نیروگاه پرداخت.

در تاریخ ۶۸/۹/۲۵ در هنگام کار روی یکی از بریکرهای پست اصلی اشتباها به سکسیونر ارت شده فرمان بستن داده شد که بدین ترتیب پست اصلی نیروگاه زمین گردید که در پی آن خطوط جانبی نیروگاه و تعدادی ژنراتور در حال کار از مدار خارج شدند.

با توجه به اتصال زمین در پست نیروگاه ، می بایست حفاظت باسبار پست سریعاً عمل نموده و مانع از عملکرد رله های خطوط جانبی و واحدهای نیروگاه می گردید ، که به علت از مدار خارج بودن دائمی حفاظت باس بار پست ، باعث عملکرد غیر لازم رله های جانبی گردیده است.

در صورت وقوع حادثه ای مشابه امکان بی برق شدن کلی شبکه در آینده وجود دارد که بدین خاطر لازم است حفاظت باس بار پست در مدار بیاید.

در این فصل با توجه به بررسی های بعمل آمده- به نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد در مورد نقاط ضعف حفاظتی نیروگاه ری می پردازیم که به شرح زیر میباشد:

۱- با توجه به بررسیهای بعمل آمده معلوم گردید که از عمده دلایل عملکرد ناخواسته رله جریان زیاد در ترانسفورماتورها، عدم هماهنگی بین رله جریان زیاد ترانسفورماتورها با رله جریان زیاد باس کوپلر پست اصلی نیروگاه میباشد، که برای رفع این عیب باید این رله ها دوباره تنظیم گردند.

۲- عدم هماهنگی رله جریان زیاد باس کوپلر پست اصلی نیروگاه با رله دیستانس خطوط منتهی به نیروگاه، یکی از مشکلات حفاظتی مجموعه نیروگاه می باشد که نیاز به هماهنگی رله جریان زیاد مذکور با رله های دیستانس خطوط دارد.

۳- تست دوره ای و تنظیم مجدد رله های دیستانس خطوط و استفاده از رله های دیستانس حساس

۴- استفاده از سیستم کنترل سرعت رتور حساس تا در موقع افزایش سرعت رتور قبل از اینکه رله **Over Speed** باعث تریپ واحد گردد، واحد توسط جریان زیاد بصورت **No load** درآورده شود.

۵- تنظیم دوباره رله های جریان زیاد واحدهای میتسوبیشی، با توجه به اینکه ستینگهای جریانی نصب شده در این رله ها پائین می باشند.

- ۶- پائین آوردن حساسیت رله های جریان زیاد در ترانسفورماتور واحدهایی که با پست اصلی نزدیکتر می باشند. با توجه به اینکه این رله سریعتر تحت تاثیر خطاهای رخ داده در شبکه قرار می گیرند و عمل میکنند مثلا عملکرد رله جریان زیاد در ترانسفورماتور واحدهای شماره ۳۱ ، ۳۵ ، ۳۶ ، ۱۴ ، ۲۴ این نیروگاه، تحت این شرایط میباشد.
- ۷- پائین آوردن حساسیت رله جریان زیاد واحدهای شماره ۳۹ و ۴۰ و ۲۷ نیروگاه ، با توجه به اینکه رله جریان زیاد در این واحدها عملکرد بالایی داشته است.
- ۸- عملکرد بالای رله جریان زیاد در واحد ۳۱ فیات به دلیل نقص در مکانیزم بریکر 230kv میباشد هر چند وقت مکانیزم عملکرد این بریکر باید تست گردد.
- ۹- پائین آوردن حساسیت رله اتصال زمین ترانسفورماتور واحد ۳۱
- ۱۰- در مورد عملکرد رله اتصال زمین همانطور که گفته شده عمده عامل عملکرد این رله مشکل عایقی ایجاد شده بود در شینه های این واحدها مخصوصا واحدهای آسک می باشد. بنابراین باید از عایق های مناسب جهت این کار استفاده گردد.
- ۱۱- با توجه به اینکه رله جریان زیاد نسبت به نوسان قدرت حساس است، برای رفع این عیب از رله جریان زیاد مقاوم، نسبت به نوسان قدرت میتوان استفاده کرد.
- ۱۲- جایگزین رله های دیستانس دارای بخش بلوکه کننده نوسان قدرت با رله های دیستانس که این بخش را در شبکه ندارند. برای کاهش تداخل حفاظت به هنگام بروز نوسان قدرت
- ۱۳- تقویت بخشهایی از شبکه (با استفاده از اطلاعات بهره برداری) که نسبت به طوفان و باد شدید آسیب پذیر هستند.
- ۱۴- هماهنگی رله های جریان زیاد و اتصال زمین مخصوصا در ترانسفورماتورهای پست
- ۱۵- استفاده از پرچم های مناسب در رله های دیفرانسیل، تا در برابر عواملی از قبیل لرزش و ضربات خارجی نیفتند.
- ۱۶- تهیه نرم افزار مناسب جهت ثبت حوادث و وقایع رخ داده و دلایل آنها در نیروگاه ری
- ۱۷- استفاده از دستگاههای ثبات حوادث و ثبات خطا تا ترتیب و زمان عملکرد هر یک از رله ها و محل ایجاد خطا و همچنین سایر حوادث اتفاق افتاده در نیروگاه و پست آن را نشان دهند.
- ۳-۵- مقایسه سیستمهای حفاظتی توربین و ژنراتور دو واحد گازی GE-F9 مشابه نیروگاههای شریعتی و

نیشابور

واحدهای گازی نیروگاههای سیکل ترکیبی نیشابور و شریعتی مشهد، ساخت شرکت جنرال الکتریک و از نوع فریم ۹ هستند. قدرت اسمی ژنراتورهای آنها که ساخت شرکت آلستوم فرانسه است، ۱۲۳/۳ مگاوات است. سیستم کنترل و حفاظت توربین هر دو این واحدها، اسپیدترونیک مارک چهار بوده و از هر نظر مشابه هستند. سیستم حفاظتی و نحوه

عملکرد با هم تفاوت جدی ندارند و تنها در برخی از سیستم‌های کمکی با هم اختلاف جزئی دارند. اما نکته جالب توجه تفاوت‌های سیستم حفاظتی ژنراتور و عملکرد این دو واحد مشابه است.

تفاوت‌های عمده سیستم های حفاظتی این دو واحد مشابه را میتوان در حفاظت‌های اولیه و پشتیبان و پیامد عملکرد سیستم های حفاظتی، تقسیم بندی نمود. در سایر موارد این دو سیستم با یکدیگر تفاوت اساسی ندارند.

در جدول شماره ۱-۵ حفاظت‌های ژنراتور های نیروگاه نیشابور و شریعتی مشهد و نحوه صدور فرامین خروجی رله ها نشان داده شده است. با یک مقایسه ساده مشخص میشود در نیروگاه شریعتی- رله های دیفرانسیل، برگشت بار، باس بار ارت فالت و استاتور ارت فالت در صورت عملکرد باعث تریپ آنی توربین شده، در صورتیکه در نیروگاه نیشابور- تنها عملکرد رله دیفرانسیل باعث تریپ آنی خواهد شد. همچنین رله های حداقل امپدانس شماره یک، برگشت بار شماره یک، توالی فاز منفی، اشکال تحریک و ... در نیروگاه شریعتی باعث تریپ ترتیبی شده، در حالیکه رله برگشت بار در نیروگاه نیشابور تنها رله با عملکرد تریپ ترتیبی است و عملکرد سایر حفاظتها با تریپ ژنراتور و یا جداسازی شبکه همراه است.

جدول ۱-۵- حفاظتها و پیامدهای آنها در دو نیروگاه شریعتی (S) و نیشابور (N)

Relay/Command	Trip	Sequential Trip	Generator Trip	Separation Unit Trip	Alarm	شریعتی	نیشابور
Differential pro.	S/N	-	-	-	S/N	+	+
Reverse Power 1	-	S/N	-	-	S/N	+	+
Reverse Power2	S	-	-	-	S	+	-
Over Voltage	-	S	N	-	S/N	+	+
Stator E/F	S	-	N	-	S/N	+	+
Rotor E/F	-	-	-	-	S/N	+	+
Neg. phase seq.	-	S	N	-	S/N	+	+
Over current	-	S	N	-	S/N	+	+
Min. Imp.1	-	S	-	-	S	+	-
Min. Imp.2	S	-	-	-	S	+	-
Loss of Excite.	-	S	N	-	S/N	+	+
Over Flux	-	-	N	-	N	-	+
Bus bar E/F	S	-	-	-	S	+	-
O/C Excitation	-	-	N	-	N	-	+
Stator U/V	-	-	N	-	N	-	+
Under Freq.	-	S	N	-	S/N	+	+
Over Freq.	-	-	-	N	N	-	+
....							

جدول شماره ۲-۵- دسته بندی حفاظتهای جریانی دو نیروگاه خراسان ، بر اساس نوع پیامد عملکرد

پیامد	تريپ آنی	تريپ ترتیبی	تريپ ژنراتور
نیروگاه			
شریعتی	Differential Bus bar E/F Stator E/F	Over current Neg. Phase Seq.	—————
نیشابور	Differential		Over current Neg. Phase Seq.

فصل ششم

محاسبات تنظیم رله های جریان زیاد و اتصال زمین و نحوه هماهنگی

آنها

هماهنگی رله های حفاظتی و انواع آن

نحوه هماهنگی رله های جریان زیاد

هماهنگی رله های اتصال زمین



۶-۱- هماهنگی رله های حفاظتی و انواع آن

حفاظت درنواحی مختلف بگونه ای شکل داده می شود تا سیستم قدرت را به طور کامل بپوشاند و هیچ قسمت محافظت نشده ای باقی نماند. در هنگام وقوع خطا سیستم حفاظت باید فقط نزدیک ترین کلیدها را انتخاب و به آنها فرمان قطع بدهد.

برای هماهنگ کردن رله های حفاظتی به طوریکه هر رله فقط برای محدوده خودش عمل نماید، روشهای مختلفی وجود دارد. این روشها دررله های جریان زیاد عبارتند از:

الف) هماهنگی توسط زمان:

دراین روش برای اینکه اتصال کوتاه در هر قسمت ابتدا توسط رله همان خط قطع گردد ، از یک تاخیر زمانی استفاده می نمایند. بدین ترتیب که زمان عملکرد دورترین رله ها از منبع قدرت، مینیمم قرارداده می شود و برای رله های پشت سرآنها بطرف منبع برای هر رله نسبت به رله قبل یک تاخیر زمانی جهت هماهنگی رله ها در نظر گرفته می شود.

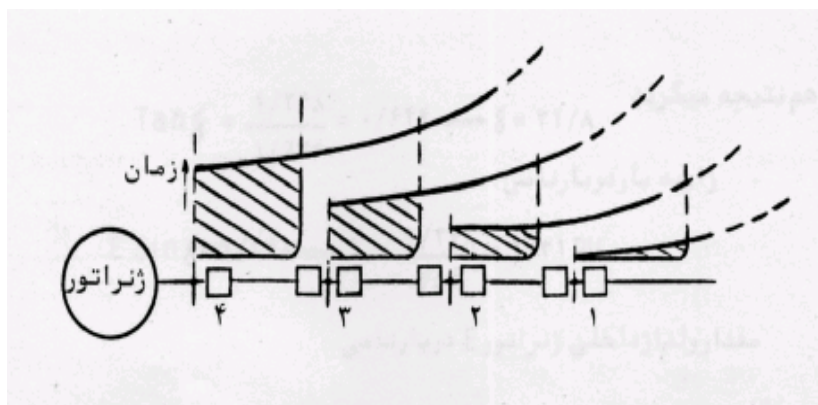
ب) هماهنگی توسط جریان:

جریان خطا در صورتی میتواند به عنوان کمیتی جهت هماهنگی رله ها بکار رود که اختلاف فاحشی بین جریان خطا در خطاهای داخل محدوده حفاظت شده و خارج آن وجود داشته باشد و مقادیر این جریانها نیز در شرایط مختلف تقریباً ثابت باشد. در این شرایط می توان از وسیله ای که بر اساس مقدار جریان کار می کند، (مثل فیوز یا رله های جریان زیاد سریع) استفاده نمود .

ج) هماهنگی توسط ترکیب زمان - جریان:

هر دو روشی که تاکنون توضیح داده شده است دارای معایبی هستند در حالت هماهنگی توسط زمان، اشکال این بود که شدیدترین خطاها در طولانی ترین زمان قطع می شدند. هماهنگی توسط جریان نیز فقط در شرایطی کاربرد دارد که امیدانس قابل توجهی بین دو کلید در شبکه موجود باشد. برای رفع اشکالهای فوق رله های جریان زیاد با مشخصه کاهشی بکار برده شده اند که در آنها عملکرد رله با افزایش جریان ، کاهش می یابد. مشخصه این نوع رله ها هم درجهت محور جریان و هم در جهت محور زمان قابل تنظیم می باشد.

تنظیم زمانی رله های جریان زیاد بستگی به ستینگ سایر رله های سیستم دارد بطوریکه زمان قطع ژنراتور از زمان قطع کلیدهای فیدرها و شینه های متصل به ژنراتور بزرگتر باشد و همچنین زمان تنظیم طوری نیز باشد که حاشیه اطمینان کافی برای عمل رله جهت اتصالیهای فیدر نزدیک یا شینه هایی با اتصال برطرف نشده تضمین گردد.



شکل (۶-۱)

بطور مثال در شکل (۶-۱) فوق با استفاده از رله های جریان زیاد با مشخصه معکوس زمانی که برای کلیدهای شماره ۱ و ۲ و ۳ و ۴ استفاده شده است، میتوان جهت تنظیم زمانی رله جریان زیاد ژنراتور، بدین ترتیب عمل نمود که ابتدا کمترین زمان برای کلید شماره ۱ تنظیم گردیده و سپس بترتیب تا رسیدن به کلید اصلی ژنراتور (کلید شماره ۴) مدت زمان افزایش پیدایش مینماید. همچنین با استفاده از رله های جریان زیاد لحظه ای میتوان در حالت اتصالیهای شدید زمان کلی رله گذاری را کم نمود (با سطح هاشور خورده این کاهش زمان مشخص میباشد).

۶-۲- نحوه هماهنگی رله های جریان زیاد :

۶-۲-۱- اطلاعات مورد نیاز در مطالعات مربوط به تنظیم یک رله :

کاربرد درست رله های جریان زیاد احتیاج به دانستن مقدار جریان اتصالی که می تواند در هر قسمت شبکه جاری شود ، دارد. بدین منظور از آنجاییکه انجام آزمایشات در مقیاس بزرگ و اصلی معمولاً غیر عملی است باید از تجزیه و تحلیل سیستم استفاده شود. در این رابطه غالباً کافی است با استفاده از راکتانس گذرای ماشین ، جریانهای متقارن لحظه ای سیستم بدست آید.

اطلاعات مورد نیاز در مطالعات مربوط به تنظیم یک رله عبارتند از:

الف: در دست بودن دیاگرام تک خطی از سیستم مورد نظر که در آن نوع و مقادیر نامی تجهیزات حفاظتی و ترانسهای جریان مربوطه نشان داده شده باشد.

ب: دانستن امپدانس همه ترانسهای قدرت ماشین های گردان و مدارهای تغذیه کننده بر حسب اهم ، درصد یا پریونیت.

پ: مشخص بودن حداکثر و حداقل مقادیر جریانهای اتصال که انتظار می رود از ابزار و وسائل حفاظتی در صورت وقوع اتصالی ، عبور خواهند کرد.

ت: معلوم بودن جریان راه اندازی موتورها و زمان راه اندازی و توقف موتورهای القایی

ث: مشخص بودن حداکثر جریان پیک و سائل حفاظتی

ج: داشتن منحنی هایبیکه شدت میرایی جریان اتصالی اعمال شده از ژنراتورها را نشان دهند

چ: داشتن منحنی های مشخصه ترانسهای جریان

در ابتدا رله ها طوری تنظیم می شوند که زمان عملشان در حداکثر جریان اتصالی ، کوچکترین مقدار خود را داشته باشد و سپس رضایتبخش بودن این تنظیم در مورد جریانهای اتصالی حداقل ، مورد بررسی قرار می گیرد. توصیه می شود که همواره منحنی های رله ها و دیگر تجهیزات حفاظتی مثل فیوزها که به طور سری با هم کار می کنند ، با مقیاس مشترکی ترسیم گردد . بدین منظور معمولاً استفاده از مقیاس مناسب با جریان مربوط به کمترین ولتاژ پایه و یا بکار گرفتن ولتاژی مینا به مراتب راحت تر است.

روشهای دیگر برای این منظور، در نظر گرفتن یک مبنای مگاوات آمپر مشترک و یا مقیاس جداگانه ای از جریان برای هر سیستم ولتاژی می باشد.

۶-۲-۲- قوانین اصلی برای ایجاد هماهنگی درست بین رله ها :

قوانین اصلی برای ایجاد هماهنگی درست بین رله ها را می توان در حالت عمومی به صورت زیر بیان نمود:

- ۱- حتی الامکان باید رله های با مشخصه مشابهی را به طور سری با یکدیگر مورد استفاده قرارداد.
- ۲- باید اطمینان حاصل نمود که دورترین رله به منبع تغذیه ، تنظیم جریان برابر و یا کمتر از رله پشت سر خود داشته باشد . به عبارت دیگر جریان اولیه برای بکار انداختن رله دور به منبع تغذیه باید همواره مساوی و یا کمتر از مقدار جریان اولیه ای باشد که برای بکار انداختن رله بعدی آن لازم است.

۶-۲-۳- انتخاب نوع مشخصه زمان - جریان رله های جریان زیاد

یکی از عوامل مهم در تعیین نوع مشخصه رله ، طول خطوط می باشد. برای خطوط کوتاه که امپدانس آنها در مقایسه با امپدانس معادل منبع ، کوچک است ، جریانهای اتصال کوتاه برای ابتدا و انتهای خط تقریباً مساوی می شوند . در این شرایط چون رله های معکوس برای تمام خطها در طول خط ، زمان عملکرد یکسانی دارند بهتر است از رله های با مشخصه ثابت استفاده شود. زیرا زمان عملکرد این رله ها بر خلاف رله های معکوس نسبت به تغییر شرایط تولید، تغییری نمی نماید.

به طور خلاصه رله های با مشخصه ثابت و مشخصه معکوس برای شرایط زیر مناسب می باشند.

(۱) رله های با مشخصه ثابت:

الف) در شرایطی که لازم نیست رله از وسیله حفاظتی دیگری پشتیبانی نماید.

ب) در شرایطی که تغییرات جریان برای خطاهای ابتدا و انتهای خط به حدی کوچک است که استفاده از رله های با مشخصه معکوس مزیتی ندارند.

۲) رله های با مشخصه معکوس:

الف) در شرایطی که جریانهای خطا در ابتدا و انتهای خط ، اختلاف قابل ملاحظه ای داشته باشند.
ب) در شرایطی که در راه اندازی بارهای سرد، جریان هجومی شدیدی نسبت به جریانهای نامی بوجود آید
ج) در شرایطی که لازم است رله بعنوان پشتیبان وسایل حفاظتی دیگر با مشخصه های معکوس بکار رود از قبیل فیوزها و کاربرد فیوزها با رله های وصل مجدد.

۴-۲-۶- تنظیم جریان رله جریان زیاد:

در تنظیم رله جریان زیاد نکات زیر نیز باید در نظر گرفته شود:

- ۱- جریان عملکرد و جریان ریست رله ، هر دو باید از ماکزیمم جریان بار بیشتر باشد. جریان Reset رله حدود ۹۰٪ جریان عملکرد رله می باشد.
- ۲- رله باید برای تمام خطاهای خط خودش به عنوان رله اصلی و برای تمام خطاهای مجاورش به عنوان رله پشتیبان عمل نماید و لذا جریان عملکرد آن می باید از مینیمم جریان اتصال کوتاه خط خودش و مینیمم جریان اتصال کوتاه خط مجاور که از آن به عنوان رله پشتیبان حفاظت می نماید، کمتر باشد.
- ۳- در تعیین جریان اتصال کوتاه، مقاومت قوسی نیز باید در نظر گرفته شود. جریانهای min,max معمولا براساس اتصال کوتاه سه فاز تعیین می شوند.
- ۴- تنظیم جریان و زمان باید طوری در نظر گرفته شود که جریانهای راه اندازی موتورهای اندوکسیونی باعث عملکرد اشتباهی رله نشود.

با توجه به نکات فوق جریان عملکرد رله حدود ۱/۲۵ تا ۲ برابر ماکزیمم جریان بار تنظیم می شود.

در صورتیکه رله دارای عنصر کنترل ولتاژ باشد، می توان جریان تنظیم را کمتر از مقادیر ذکر شده نیز اختیار نمود.

۴-۲-۶-۱- تنظیم رله جریان زیاد ژنراتور و انتخاب راکتانس مناسب برای تنظیم رله

رله های جریان زیاد را میتوان بعنوان یک حفاظت ثانویه و یا بعنوان آخرین وسیله حفاظت برای ژنراتور بکار برد. بطوریکه اگر دستگاههای حفاظتی، یک اتصالی را در شبکه یا شینه نتوانستند قطع نمایند، رله جریان زیاد مربوط به ژنراتور ، ژنراتور را از صدمه دیدن در اثر جریان اتصالی زیاد محفوظ مینماید به بیان دیگر رله های جریان زیاد نمی توانند تشخیص بدهند که اتصالی در داخل ژنراتور و یا در خارج ژنراتور اتفاق افتاده است و از آنجا که کلید اصلی

ژنراتور (بریکر ژنراتور) نباید در اثر خطاهای خارجی بلافاصله و بی موقع قطع گردد، باید زمان قطع این رله نسبتاً زیاد باشد.

همانطور که قبلاً بیان گردید راکتانس ژنراتور پس از لحظه وقوع اتصال کوتاه از مقدار فوق گذرا به مقدار سنکرون افزایش پیدا مینماید و راکتانس مورد استفاده جهت تنظیم رله به سرعت عملکرد رله و به تنظیم ویژه رله بستگی خواهد داشت و با توجه به اینکه رله های جریان زیاد بعنوان حفاظت ثانویه مورد استفاده قرار می گیرند، لذا راکتانس سنکرون ژنراتور مناسبترین کمیت برای تعیین مقدار پیک آپ رله میتواند باشد. البته این جریان پیک آپ آنقدر باید بزرگ باشد که برای جریان بار ماکزیمم عمل نکند و همچنین آنقدر نیز باید کوچک باشد که در حالت حداقل جریان اتصالی با اطمینان کار نماید.

پیشنهاد میگردد مقدار پیک آپ رله جریان زیاد برای ژنراتورهائیکه تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ (رگولاتورولتاژ) آن در مدار میباشد قدری کمتر از جریان اتصال کوتاه دائمی ژنراتور در حالت تحریک بار کامل که با استفاده از راکتانس سنکرون بدست می آید تنظیم گردد و نسبت به نوع ماشین این مقدار اغلب $1/4$ تا $1/6$ برابر جریان نامی ژنراتور میتواند باشد.

در رابطه مقابل E متناسب با جریان تحریک بار کامل میباشد.

$$I_{PICKUP} \leq \frac{E}{X_d}$$

البته جریان اتصال کوتاه دائم را بعلاوه نوع ولتاژ رگولاتور و اشباع آهن ژنراتور نمیتوان بطور دقیق محاسبه نمود (مخصوصاً عکس العمل ولتاژ رگولاتور)

۶-۲-۵- تنظیم زمان رله جریان زیاد:

فاصله زمانی بین دو رله جریان زیاد متوالی بستگی به عوامل چندی دارد، از قبیل:

۱- زمان عمل کامل کلید قدرت:

کلید قدرتی که جریان اتصال را قطع می کند، باید قبل از اینکه رله مربوطه اش بتواند مجدداً فرمان صادر کند، جریان اتصالی را کاملاً قطع کرده باشد.

۲- زمان اورشوت رله:

وقتی رله ای بی برق گشته ممکن است برای زمان کوتاهی بخاطر انرژی ذخیره شده در آن بتواند در حالت عمل باقی بماند. برای مثال یک رله اندوکسیون می تواند دارای انرژی جنبشی ذخیره شده در دیسک آن باشد و یا در

رله های الکترونیکی، این انرژی می تواند در خازن های آن ذخیره شده باشد. معمولاً در طرح رله ها سعی می شود این انرژی به حداقل کاهش یافته و یا جذب گردد، ولی بهر حال برای آن می توان حد مجازی قائل شد.

۳- خطاها:

تمام ادوات اندازه گیری مانند رله ها و ترانس های جریان می توانند دارای درجه خطای مناسبی باشند. مشخصه زمان عملکرد هر کدام می تواند دارای خطای مثبت و منفی باشد. چنانچه ترانس های جریان دارای خطای فاز و نسبت تبدیل باشند، درجه بندی رله ای و تنظیم آنها با مراجعه به منحنی هایی که سازندگان تجهیزات اعلام می نمایند، انجام می شود. بهر حال مقداری نیز برای خطاها مجاز و قابل پیش بینی می باشد.

۴- فاصله لازم برای تکمیل نمودن عمل حفاظت:

مقدار زمانیکه می تواند تمام موارد اشاره شده را بپوشاند بستگی به زمان عمل بریکر و رله دارد. (زمان نیم ثانیه حاشیه ایمنی مناسبی محسوب می شد.) با ساخته شدن بریکرهای مدرن و سریع و کاهش زمان اورشوت رله ها، ۰/۴ ثانیه زمان قابل قبولی می باشد و برای بهترین شرایط ممکن ۳۵۰ms را می توان انتخاب نمود. در بعضی موارد بجای استفاده از حاشیه ایمنی تعیین شده ای، ترجیحاً از زمان معین که دربرگیرنده زمان عمل بریکر و زمان اورشوت رله می باشد بعلاوه زمان متغیری که شامل خطاهای رله و ترانس جریان و حاشیه ایمنی است استفاده می گردد. به عنوان مثال مقدار ۰/۲۵ ثانیه که از ۰/۱ ثانیه زمان عمل بریکر و ۰/۰۵ ثانیه برای اورشوت رله و ۰/۱ ثانیه حاشیه ایمنی می باشد.

۶-۲-۶- تنظیم حفاظت جریان زیاد معکوس با حداقل زمان:

معمولاً بر روی رله های جریان زیاد معکوس با حداقل زمان دو نوع تنظیم وجود دارد. یکی مربوط به تنظیم مضرب زمانی که از این به بعد به TMS نشان خواهیم داد. معمولاً TMS از ۰/۱ تا ۱ قابل تنظیم می باشد. در حقیقت با انتخاب هر عددی برای TMS مثلاً اگر زمان عمل رله در

$TMS = 1$ ، ۴ ثانیه باشد، زمان عمل در همان شرایط برای $TMS = 0.1$ برابر ۰/۴ ثانیه و برای

$TMS = 0.5$ برابر ۲ ثانیه خواهد بود. بنابراین می توان چنین بیان نمود:

$$TMS = \frac{T}{TM}$$

T = زمان لازم برای عملکرد رله

TM = زمان حاصل از $TMS = 1$ با ضریب جریانی برابر حداکثر جریان اتصال

تنظیم دوم مربوط به جریان رله می باشد که از این به بعد با PSM نمایش خواهیم داد. این تنظیم به طرق مختلف بر روی رله قابل اجرا می باشد. بعضی مواقع بوسیله پلاگ و در بعضی مواقع با پتانسیومتر و مقدار آن برابر است با:

مقدار جریان در اولیه

PSM مقدار جریان تنظیمی

معمولا مقدار جریان تنظیمی اولیه رله برابر است با : نسبت تبدیل جریان * مقدار تنظیم رله در ثانویه
برای مثال اگر فرض شود مقدار جریان اتصال کوتاه در مدار اولیه برابر ۳۰۰۰ آمپر باشد و رله طوری تنظیم شود که برای مقدار ۲۰۰ آمپر در اولیه عمل کند ، بنابراین :

$$PSM = \frac{300}{200} = 15$$

مثال بالا را چنین نیز می توان بیان کرد :

رله روی ترانس ۴۰۰/۵ قرار گرفته و با ۵۰٪ تنظیم شده و مقدار PSM چنین است

$$PSM = \frac{300}{5/2 \times 80} = 15$$

برای همان جریان و با تنظیم ۲۰٪ روی رله با همان ترانس جریان خواهیم داشت:

$$PSM = \frac{300}{10 \times 80} = 3/75$$

در مواقع استفاده از رله های لحظه ای، باید دقت کافی در تنظیم بعمل آید تا رله برای اتصال های خارج از محدوده خود عمل نکند. (حتی اگر مقدار تنظیم انتخاب شده روی رله از مقدار جریان موثر ماندگار اتصال کوتاه کمتر باشد). علت این احتیاط بخاطر وجود مولفه افت DC در لحظه اولیه وقوع اتصال می باشد . گاهی وقتها در اتصالات شدید ، مقدار افت DC ممکن است سبب شود دامنه موج جریان آنقدر زیاد شود که سبب عملکرد رله گردد.

در مورد استفاده از این رله ها در ترانسفورمرهای قدرت برای پایداری رله در مقابل جریانهای اتصال کوتاه خارج از محدوده ترانس ، باید مقدار تنظیم رله از مقدار جریان اتصال کوتاه در ترمینال های فشار ضعیف ترانسفورمر بیشتر باشد. محدودیتی که در کاربرد این رله ها موجود می باشد بخاطر آفست DC بوده و به عنوان (transient over reach) شناخته می شود و به صورت زیر تعریف می گردد:

$$\% \text{ over reach} = \frac{I_1 - I_2}{I_2} \times 100\%$$

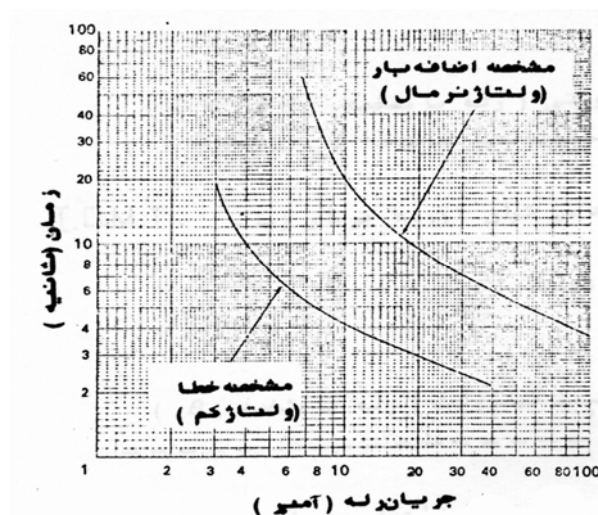
I_1 = مقدار موثر جریان پیک آپ در حالت ماندگار

$I_2 = DC$ مقدار موثر جریان پیک آپ با حداکثر افت

۶-۲-۷- رله های اضافه جریان کنترل شده با ولتاژ :

هنگام اعمال رله های I.D.M.T به ژنراتورها، چون راکتانس سنکرون ژنراتور سبب می شود مقدار جریان اتصال کوتاه محدود شود و گاهی این مقدار حتی از مقدار جریان بار کمتر شود، تشخیص حالت اتصال کوتاه و اضافه بار برای رله در این حالت مشکل می شود. (چون جریان اتصال کوتاه سبب افت ولتاژ می شود) با استفاده از این حقیقت رله های اضافه جریان معکوس کنترل شده با ولتاژ ساخته می شود که از ولتاژ به عنوان عامل بازدارنده و از جریان به عنوان محرک استفاده شده است.

کوئیل بازدارنده از ولتاژ تغذیه شده این رله ها نسبت به شرایط اتصال ، از رله های I.D.M.T معمولی حساستر می باشند . یک نمونه استفاده از این رله ها برای حفاظت شینه هایی است که دارای حفاظت خاصی نمی باشند. زیرا وقوع اتصالیها بدون استثنا سبب افت ولتاژ بیشتری نسبت به اضافه بار عادی در ولتاژ شینه ها می گردند و از همین موضوع در رله های جریان زیاد با کنترل ولتاژ استفاده می شود. مشخصه عمل این رله ها با درصدی از ولتاژ رله بصورت معکوس می باشد که در شکل (۶-۲) به عنوان نمونه یک نوع رله را که دارای مشخصات زیراست ، می آوریم:

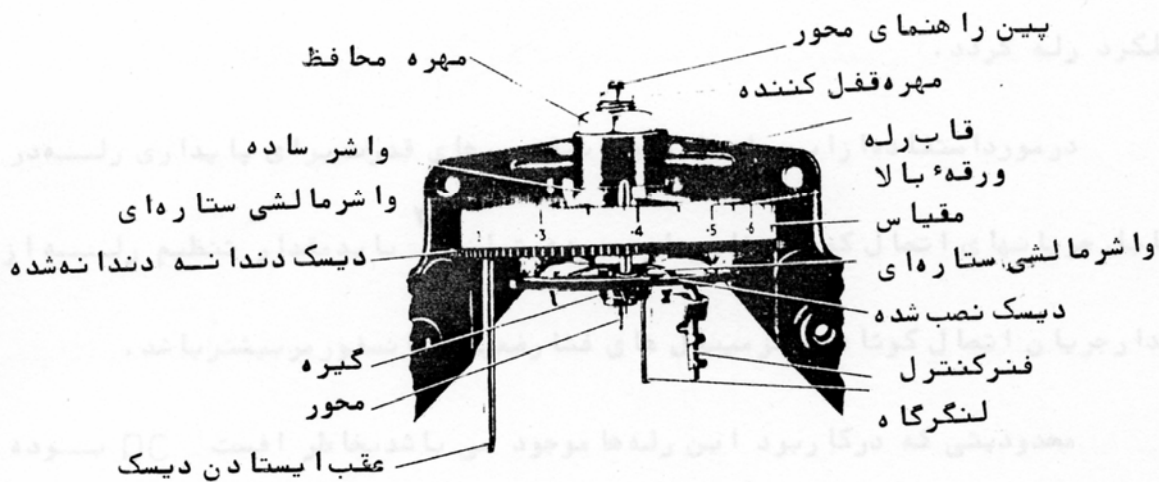
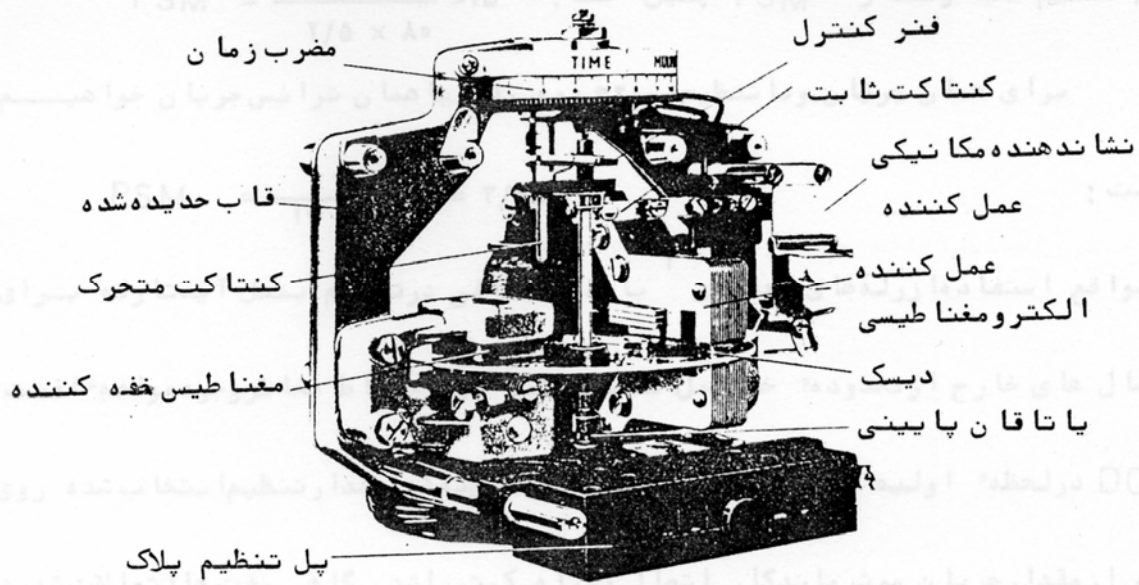


شکل (۲-۶)

الف: در شرایط اضافه بار و زمانیکه ولتاژ سیستم در حدود مقدار نرمالش حفظ می شود ، این رله طبق منحنی بالایی عمل می کند. زمان عمل این رله همچنانکه از منحنی های رسم شده مشخص است نسبت به زمانهای مربوط به رله I.D.M.T به طور قابل ملاحظه ای طولانی تر است. این مسئله یک امتیاز برای این نوع رله ها محسوب می شود. زیرا که ظرفیت حرارتی یک ژنراتور معمولاً بزرگتر از مقداری است که توسط رله I.D.M.T معمولی (که برای حفاظت فیدر طراحی شده) مجاز دانسته شده است.

ب) در شرایط اتصالی ، زمانیکه ولتاژ سیستم به مقدار از قبل تعیین شده ای افت می کند، این نوع رله ها طبق منحنی بالا عمل می کنند.





شکل (۳-۶): طرحی از رله های I.D.M.T

۶-۲-۸- هماهنگی رله های جریان زیاد در یک نمونه از سیستم صنعتی:

مقدمه

دیگرام شکل صفحه بعد، قسمتی از یک سیستم ولتاژ 0.41 kv و $6/6 \text{ kv}$ صنعتی را با تولید محلی برق نشان می

دهد که در آن لازم است عمل تمایز حفاظتی توسط رله های جریان زیاد از نوع زمان معکوس صورت گیرد.

نوع و مشخصه مناسب ترین رله برای هر یک از اجزاء این سیستم به مقدار زیر است:

الف) ژنراتورهای ۶/۶ کیلوولتی (رله با منحنی D):

برای این ژنراتورها رله جریان زیاد با زمان معکوس که توسط ولتاژ کنترل می شود ، مناسب است

ب) فیدرهای ۶/۶ کیلوولتی (رله با مشخصه C):

برای این فیدرها میتوان از رله جریان زیاد I.D.M.T استاندارد استفاده نمود.

ج) ترانس توزیع ۶/۶ kv و ۴/۵ kv (رله با مشخصه B):

رله جریان زیاد با زمان خیلی معکوس با عناصر جریان زیاد آنی مناسب است.

د) موتور القایی (رله با مشخصه A)

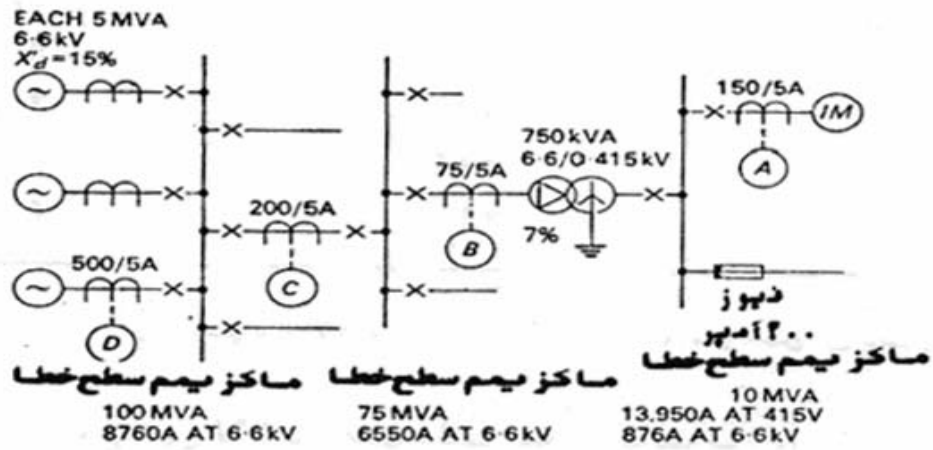
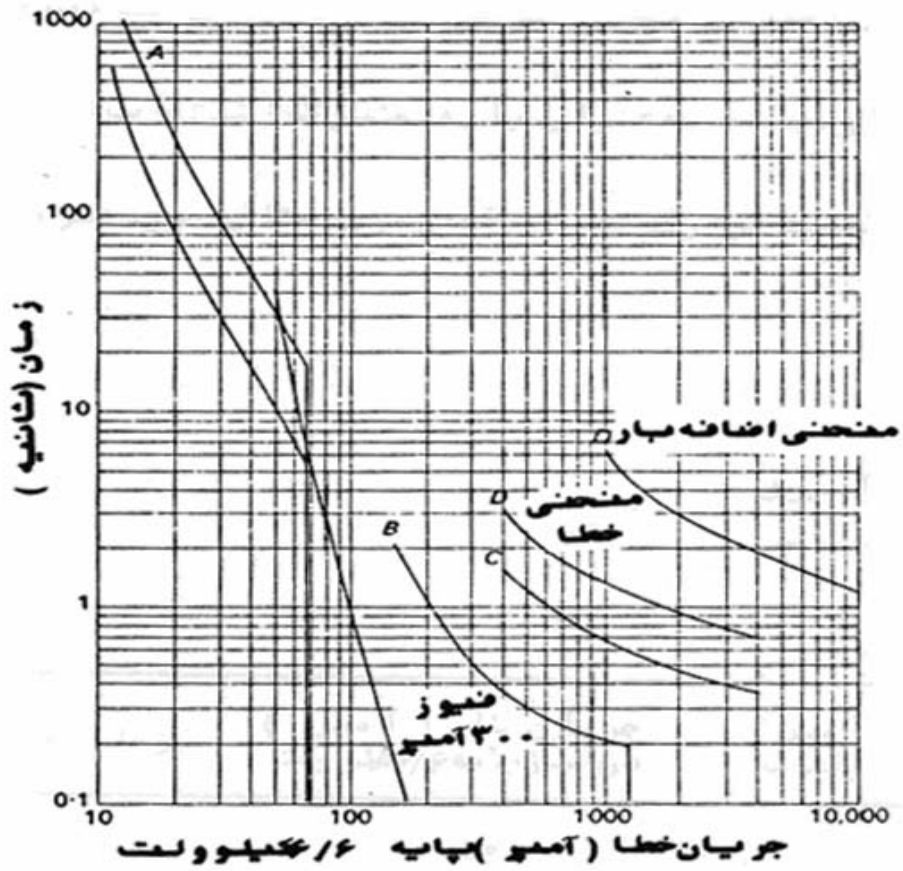
در این مورد بهتر است ، رله حرارتی بکار رود که حفاظت حرارتی موتور را همراه با عناصر جریان زیاد آنی برای حفاظت اتصال کوتاه در بر می گیرد.

برای راحتی کار، معمول است که ولتاژ پایه مشترکی برای مقادیر جریان انتخاب گردد و همچنین ولتاژ قسمتی از سیستم که تعداد زیادی از رله های حفاظتی در آن قسمت قرار گرفته اند، به عنوان پایه مشترک انتخاب شود. (در مورد مثال مورد نظر ما این ولتاژ ۶/۶ kv خواهد بود.)

مشخصه فیوز ۳۰۰ آمپری:

مشخصه عملکرد فیوز باید بر صفحه لگاریتم با مقیاسی مناسب و هماهنگ با حداکثر سطح اتصال کوتاه در نقاط

گوناگون پست، با ولتاژ پایه مشترک ۶/۶ kv (همچنانکه در شکل (۴-۶) نشان داده شده است) ، ترسیم شود.



شکل (۴-۶)



۶-۲-۸-۱- موتور القایی (مشخصه رله A):

فرض می شود که قدرت نامی موتور القایی ۱۰۰ kW باشد که مطابق با جریان بار کامل، مقدار A ۱۴۰ در ولتاژ ۷ ۴۱۵ است و دیگر اینکه مقدار و زمان جریان راه اندازی بترتیب ۸۴۰ آمپر و ۱۰ ثانیه باشد. با تنظیم جریان به میزان

زمان عمل در منحنی سرد (s)	زمان عمل در منحنی گرم (s)	جریان کار در ولتاژ پایه ۶/۶ kv	جریان کار در ولتاژ پایه ۴۱۵ V
۵۵۰	۱۴۰۰	۱۱/۵۷	$۱/۲۵ \times ۱۵۰ = ۱۸۴$
۲۴۰	۷۰۰	۱۳/۱۵	$۱/۵ \times ۱۵۰ = ۲۲۵$
۱۰۰	۳۰۰	۱۸/۷۵	$۲ \times ۱۵۰ = ۳۰۰$
۳۵	۱۰۵	۲۸/۳۰	$۳ \times ۱۵۰ = ۴۵۰$
۱۸	۵۵	۳۷/۵۰	$۴ \times ۱۵۰ = ۶۰۰$
۱۱	۳۳	۴۷/۲۰	$۵ \times ۱۵۰ = ۷۵۰$
۷/۵	۲۳	۵۶/۶۰	$۶ \times ۱۵۰ = ۹۰۰$

۱۰۰٪ یک رله که مطابق با A ۱۵۰ در ۴۱۵ ولت یا ۹/۴۵ آمپر در ۶/۶ kv می باشد، در حقیقت ۱۳٪ اضافه بار نسبت

به بار کامل نامی موتور وجود خواهد داشت. مشخصه چنین رله ای به صورت جدول (۶-۱) است:

جدول (۶-۱)

حال از آنجاییکه جریان راه اندازی موتور القایی ۸۴۰ آمپر در ۴۱۵ ولت یا ۵۲/۸ آمپر در ۶/۶ kv می باشد، تنظیم جریانی برابر با $۱/۳ \times ۸۴۰$ A در ۴۱۵ V و یا $۶۸/۵$ A در ۶/۶ kv، در مورد عنصر جریان زیاد آنی (که در این رله پیش بینی گشته) رضایت بخش خواهد بود. زیرا در این صورت راه اندازی موتور به طور سالم صورت خواهد گرفت و همچنین از طرف دیگر، حفاظت کافی برای اتصال کوتاه کابل تغذیه و موتور بوجود خواهد آمد.

حال می توان مشخصه حفاظتی موتور را بر روی صفحه لگاریتم در پایه ولتاژ ۶/۶ kv همچنانکه در شکل (۶-۴) نشان داده شده ترسیم نمود.

۶-۲-۸-۲- ترانس توزیع ۷۵۰ KVA

رله B

این رله، یک رله مرکب سه قطبی است که شامل ترکیبی از عناصر جریان زیاد با زمان خیلی معکوس نوع و عناصر جریان زیاد آنی می باشد.

تنظیم جریان رله B:

نسبت CT برابر با ۷۵/۵ آمپر می باشد.

بار نامی کامل ترانس KVA ۷۵۰ ، ۶۵/۷ A در ۶/۶ kv می باشد و بنابراین یک تنظیم جریان ۱۰۰٪ و یا A ۷۵ در ۶/۶ kv ، ضریب اطمینان لازم را برای بار زیاد و متمایز با فیوز A ۳۰۰ در حداکثر سطح اتصال کوتاه ۱۰ MVA (A) ۱۳۹۵۰ در ۴۱۵۷ یا A ۸۷۶ در ۶/۶ kv) بوجود خواهد آورد.

تنظیم ضریب زمانی رله B:

$$PSM = \frac{876}{75} = 11.5$$

حداکثر سطح اتصال کوتاه برای درجه بندی: ۸۷۶ آمپر در ۶/۶ kv
جریان تنظیم رله: A ۷۵ در ۶/۶ kv

زمان عمل رله در ۱۱/۵ برابر تنظیم پلاگ و TMS=۱ برابر با ۱/۴۲ ثانیه خواهد بود.

برای درجه بندی رله با فیوز ۳۰۰ آمپری در حداکثر سطح اتصال کوتاه ۱۰ MVA ، زمان عمل لازم برای رله برابر است با:

$$0.1 + (0.4 \times 0.1) + 0.15 \approx 0.17 \text{ S}$$

$$TMS = \frac{0.17}{1/42} = 0.12 \approx 0.15 \text{ S}$$

بنابراین :

- تنظیم عناصر جریان زیاد آنی رله B :

عناصر جریان زیاد آنی باید بالاتر از حداکثر جریان عبوری قابل تحمل ترانس KVA ۷۵۰ ، تنظیم شوند یعنی:

$$۶۵/۷ * \frac{۱۰۰}{۷} = ۹۴۰ \text{ A (در ۶/۶ kv)}$$

بنابراین رله مذکور باید در (A ۱۲۲۰ = ۱/۳ × ۹۴۰) در ۶/۶ kv (که با تنظیم جریان رله ای در A ۸۱/۳ یا ۱۶۲۶٪ مطابقت دارد)، تنظیم می گردد.

حال می توان همانگونه که در شکل (۴-۶) نشان داده شد، مشخصه کار رله مرکب را بر صفحه لگاریتم در ولتاژ پایه kv ۶/۶ رسم نمود.

۶-۲-۸-۳- فیدر ۶/۶ کیلوولتی:

رله C:

این رله یک رله جریان زیاد سه قطبی است که از سه رله جریان زیاد I.D.M.T استاندارد تشکیل شده است. تنظیم جریان و زمان این رله ها برای حصول درجه بندی با رله B در تنظیم جریان اولیه مربوط به عناصر جریان زیاد آنی (A) ۱۲۲۰ در ۶/۶ kv به روش زیر تنظیم می گردد:

تنظیم جریان رله :

تنظیم جریان این رله معمولا بر اساس حداکثر بار مورد نیاز شبکه ۶/۶ kv به اضافه یک حاشیه اطمینان مناسب برای افزایش بار ترانس ۷۵۰ KVA و سرویسهای مربوط به آن انتخاب می گردد. از آنجاییکه بهر حال مقدار بی باری توصیف نشده، فرض بر این قرار می گیرد که تنظیم جریان برابر با ۱۰۰٪ مورد نیاز خواهد بود.

تنظیم ضریب زمانی رله:

حداکثر سطح اتصال کوتاه برای درجه بندی: A ۱۲۲۰ (در ۶/۶ kv)

تنظیم جریان رله: A ۲۰۰ (در ۶/۶ kv)

$$PSM = \frac{1220}{200} = 6/1$$



زمان عمل رله در ۶/۱ برابر تنظیم پلاک آن و در $TMS = 1$ برابر با ۳/۸ می باشد.

حال برای درجه بندی رله C با رله B در A ۱۲۲۰ یعنی برای تنظیم عناصر زیاد آنی ، یک حاشیه اطمینان ۰/۴S (برای درجه بندی) باید به زمان عمل رله B در A ۱۲۲۰ افزوده شود که برابراست با:

$$/۱۹+۰/۴=۰/۵۹$$

$$\frac{۰/۵۹}{۳/۸} = ۰/۱۵۵ \text{ می گردد.}$$

TMS مورد نیاز برابر با ۰/۱۵۵

زمان (S)	جریان در پایه ۶/۶ kv	PSM
۱/۵۵	۴۰۰	۲
۰/۹۸	۶۰۰	۳
۰/۶۹	۱۰۰۰	۵
۰/۴۶	۲۰۰۰	۱۰
۰/۳۴	۴۰۰۰	۲۰

جدول (۲-۶)

با توجه به جدول مشخصات رله (جدول ۲-۶) میتوان این مشخصه را در یک صفحه لگاریتمی در پایه مشترک kv ۶/۶ رسم نمود.

۶-۲-۸-۴- ژنراتورهای ۵ مگاوات آمپری:

رله D: این رله از نوع رله جریان زیاد کنترل شونده با ولتاژ سه قطبی با مشخصه دو گانه است که مقدار **PICK UP** آن با افت ولتاژ سیستم بر اثر اتصال تا مقدار زیر **Drop off** رله ولتاژ کم ، تغییر می نماید. زمانیکه این امر اتفاق می افتد، تنظیم جریان رله به ۴۰٪ مقدار تنظیم نامی پلاک کاهش می یابد و مشخصه کار رله از صورت مشخصه **I.D.M.T** استاندارد تغییر می یابد.

مشخصه این رله برای ماشینهایی انتخاب می شوند که دارای جریان اتصال کوتاه متداوم کمی ، در مقادیر کاهش یافته تحریک ، بر اثر راکتانس سنکرون بالایشان می باشند.

تنظیم جریان رله

نسبت ترانس جریان ۵۰۰/۵ می باشد. تحت شرایط اتصالیهای نزدیک ولتاژ سیستم در شینه های ژنراتور، به کمتر از مقدار تنظیم رله های ولتاژ کم (**Under voltage**)، افت می نماید و رله جریان زیاد، مشخصه کاری خود را از صورت بار زیاد به منحنی اتصالی تغییر می دهد.

تنظیم جریان موثر رله ، $200A = 500 \times 0.4$ می شود که این مقدار بر حسب اتفاق برابر با تنظیم جریان رله C مربوط به فیدر 6/6 kv که عمل درجه بندی می بایستی با آن صورت گیرد ، میگردد و تنظیم جریان 100٪ را میتوان برای رله D بکار برد.

تنظیم ضریب زمانی رله

مقدار جریان اتصال کوتاه ممکن برای هر یک از ژنراتورهای 5 MVA در ولتاژ 6/6 kv برابر با 2920 A می باشد. بنابراین عمل درجه بندی بین رله D,C باید در این سطح اتصالی انجام گیرد. در نتیجه حداکثر جریان اتصال کوتاه برای عمل درجه بندی 2920 A در 6/6 kv است.

تنظیم جریان رله بر روی منحنی اتصالی در 6/6 kv برابر با 200 A می

$$PSM = \frac{2920}{200} = 14.6$$

باشد.

بدین ترتیب زمان عمل رله در $PSM=14.6$ و $TMS=1$ برابر با 2/5S می باشد.

زمان عمل رله در $A = 2920 = 0.38$ ثانیه

ضریب اطمینان درجه بندی = 0.4 ثانیه

بنابراین زمان عمل لازم برای رله D در منحنی اتصال کوتاه برابر خواهد بود با: $0.38 + 0.4 = 0.78S$

بنابراین :

$$TMS = \frac{0.78}{5/2} = 0.312 \rightarrow (0.4)$$

زمان	جریان در پایه 6/6 kv	PSM
6	1000	2
3/6	1500	3
2/4	2500	5
1/62	5000	10
1/14	10000	20

جدول (۳-۶): منحنی اتصال کوتاه

زمان	جریان در پایه ۶/۶ kv	PSM
۳	۴۰۰	۲
۱/۸۶	۶۰۰	۳
۱/۲۹	۱۰۰۰	۵
۰/۹	۲۰۰۰	۱۰
۰/۹	۲۰۰۰	۱۰
۰/۶۶	۴۰۰۰	۲۰

جدول (۴-۶): منحنی بار زیاد

حال می توان مشخصه کار رله را بر روی صفحه لگاریتمی در ولتاژ پایه ۶/۶ kv رسم نمود.

۶-۲-۹- مثال جهت تنظیم جریان رله های جریان زیاد ژنراتور

یک ژنراتور با مشخصات $X_d = 1.156$ ، $X'_d = 0.23/4$ ، $X''_d = 0.20/3$ مورد نظر میباشد. اگر توان اکتیو نامی ژنراتور ۰/۸ پریونیت و توان راکتیو ژنراتور در بار نامی ۰/۶ پریونیت باشد.

الف- مقادیر تنظیم رله جریان زیاد ژنراتور را (رله جریان زیاد ژنراتور یک رله جریان زیاد با کنترل ولتاژ میباشد که دارای دو مشخصه با تنظیم های جریان زیاد و جریان کم میباشد) بدست آورید.

ب- اگر ژنراتور مجهز به یک رله جریان زیاد لحظه ای نیز باشد. مقدار جریان تنظیم آن چه مقدار باشد؟

ج- ماکزیمم جریان اتصال کوتاه ضربه ای ژنراتور را زمانیکه ولتاژ شبکه در لحظه اتصال شدن ژنراتور از صفر بگذرد را

$$T_g = 0.53, T'' = 0.25, T' = 1 \quad \text{بدست آورید}$$

(موارد فوق بدون در نظر گرفتن اثر ولتاژ رگولاتور میباشد)

$$\text{الف-} \quad \tan \varepsilon = \frac{Q}{P} = \frac{0/6}{0/8} = 0/75 \rightarrow \varepsilon = 36/86$$

نامی

$$p = \frac{EV}{X_d} \sin \delta \rightarrow 0/8 = \frac{Ex1}{1/56} \sin \delta$$

$$Q = \frac{EV}{X_d} \cos \delta - \frac{V^2}{X_d} \rightarrow 0/6 = \frac{EX1}{1/56} \cos \delta - \frac{1}{1/56}$$

$$\begin{cases} E \sin \delta = 1/56 \times 0/8 = 1/248 \rightarrow E \sin \delta = 1/248 \\ \frac{E}{1/56} \cos \delta = 0/6 + \frac{1}{1/56} \rightarrow E \cos \delta = 1/936 \end{cases}$$

از تقسیم دو رابطه فوق بر هم نتیجه می‌گردد :

$$\tan \delta = \frac{1/248}{1/936} = 0/644 \rightarrow \delta = 32/8$$

زاویه بار در بار نامی

$$E \sin \delta = 1/248 \rightarrow E = \frac{1/248}{0/54} = 2/31PU$$

مقدار ولتاژ داخلی ژنراتور E در بار نامی

$$I = \frac{E}{X_d} = \frac{2/31}{1/56} = 1/48PU$$

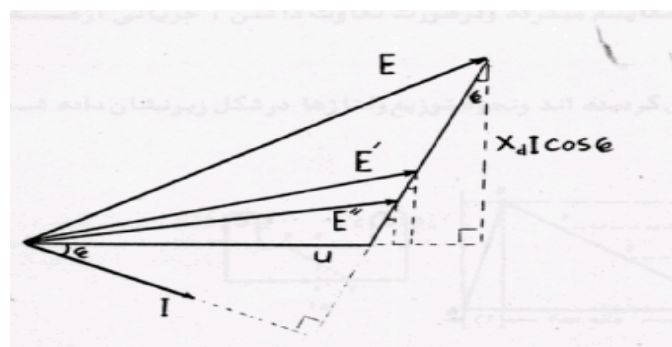
بخش مشخصه جریان زیاد رله جریان زیاد با کنترل ولتاژ را میتوان بر روی ۱/۴ برابر جریان نامی تنظیم نمود.

$$I = \frac{1}{X_d} = 0/64PU$$

جهت تنظیم بخش جریان کم رله (در هنگامیکه عنصر ولتاژی بر اثر افت ولتاژ عمل مینماید) مقدار ۰/۶۵ PU را

میتوان انتخاب نمود.

ب-



شکل (۵-۶)

با استفاده از دیاگرام برداری ژنراتور شکل (۵-۶):

$$E' = \sqrt{(U + X'_d I \sin \phi)^2 + (X'_d I \cos \phi)^2}$$

$$E' = \sqrt{(1 + 0/234 \times 1 \times 0/6)^2 + (0/234 \times 1 \times 0/8)^2} = 1/55 PU$$

$$I' = \frac{1/155}{0/234} = 4/93 PU$$

$$E'' = \sqrt{(U + X''_d I \sin \phi)^2 + (X''_d I \cos \phi)^2}$$

$$E'' = \sqrt{(1 + 0/203 \times 0/6)^2 + (0/203 \times 0/8)^2} = 1/133 PU$$

$$I'' = \frac{E''}{X''} = \frac{1/133}{0/203} = 5/58 PU$$

با توجه به مقادیر I' , I'' میتوان جریان تنظیم، رله جریان زیاد لحظه ای را بین ۵ الی ۵/۵ برابر جریان نامی تنظیم نمود.

ج- با توجه به معادله جریان اتصال کوتاه ضربه ای، در صورتیکه ولتاژ شبکه در لحظه اتصال شدن ژنراتور از صفر بگذرد پس از پایان $t=10ms$ ماکزیمم جریان اتصال کوتاه ضربه ای I_s در خروجی ژنراتور برابر است با

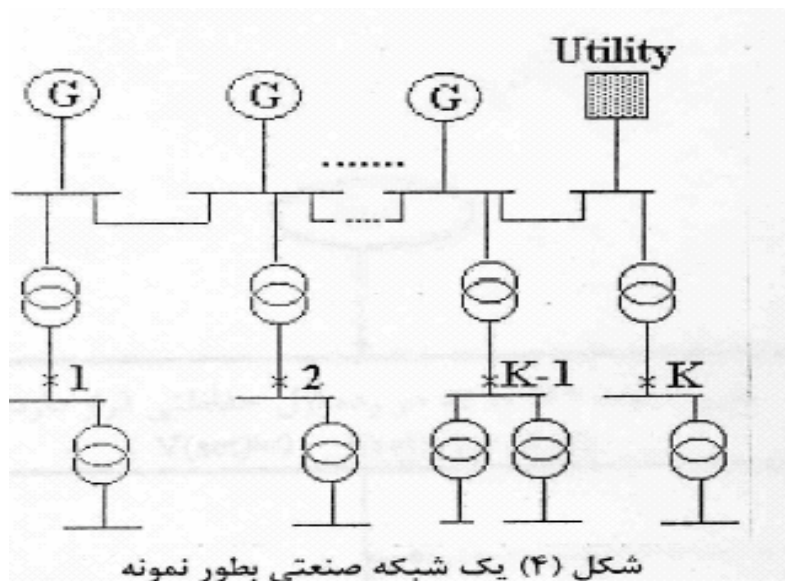
$$I_s = \sqrt{2} \left[(5/58 - 4/93) e^{\frac{0/01}{0/025} (-1)} + (4/93 - 1/48) e^{\frac{-0/01}{1} (-1)} - 1/48 - 5/58 e^{\frac{-0/01}{0/53}} \right]$$

$$I_s = 15/25 pu$$

۶-۲-۱۰- تنظیم رله اضافه جریان کنترل شده با ولتاژ در شبکه های برق صنعتی

یک شبکه صنعتی بطور نمونه مانند شکل (۵-۶-الف) میباشد.

هدف در این قسمت تنظیم رله جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ برای یکی از ژنراتورها می باشد. برای تنظیم رله جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ در چنین شبکه هایی می بایست مراحل زیر را انجام داد.

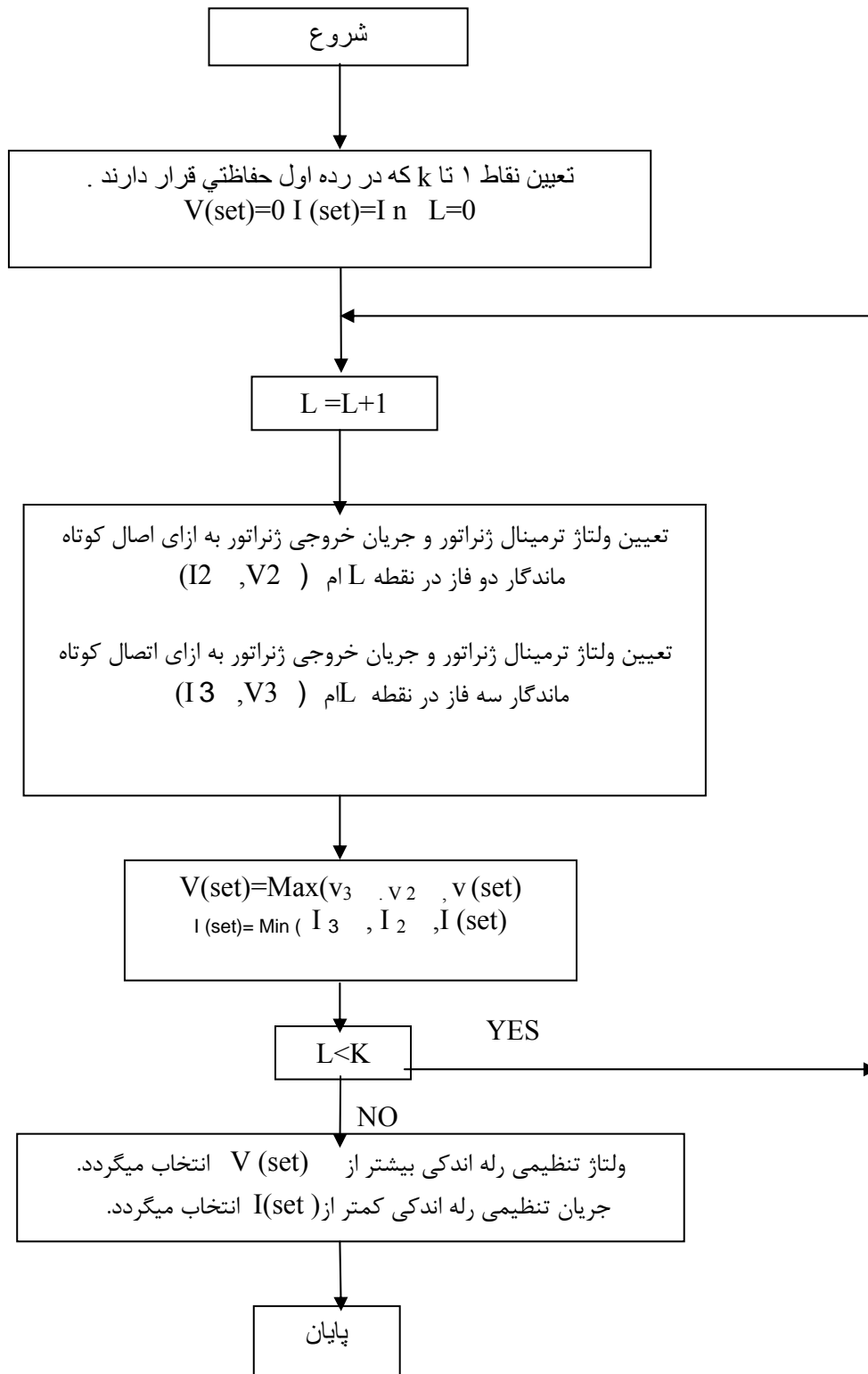


تنظیم قسمت ولتاژی و جریانی

در تنظیم قسمت ولتاژی لازم است کمترین افت ولتاژ در ترمینال خروجی ژنراتورها به ازای اتصال کوتاه های دو فاز و سه فاز در اولین رده حفاظتی بعد از ژنراتور (که در شکل ۵-۶-الف) با X نشان داده شده است، محاسبه گردد. از آنجا که میزان افت ولتاژ در ترمینال خروجی ژنراتورها وابسته به امپدانس درصد ترانسفورماتورها و تعداد حضور ژنراتورها در شبکه می باشد. لذا لازم است به ازای حداکثر سطح اتصال کوتاه، محلی را معین کرد که به ازای اتصال کوتاه سه فاز و یا دو فاز در آن محل، افت ولتاژ در ترمینال ژنراتور مورد نظر حداقل باشد. این حداقل افت ولتاژ در ترمینال خروجی ژنراتور باید زیر حد ولتاژ نامی ژنراتور باشد تا قسمت ولتاژی این رله بتواند کار بکند پس به ازای حالت های مختلف وجود ژنراتورها در شبکه برق صنعتی کمترین افت ولتاژ را به ازای اتصال کوتاه ماندگار سه فاز و یا دو فاز در اولین رده حفاظتی محاسبه می کنیم. ولتاژ تنظیمی وابسته به پارامترهای شبکه است و معمولاً بین ۷۰ تا ۸۵ درصد ولتاژ نامی ژنراتور می باشد. در چنین حالتی جریان ماندگار خروجی ژنراتور نیز حداقل جریان ژنراتور در خلال حضور خطای ماندگار می باشد و میتوان جریان تنظیمی رله را اندکی کمتر از این جریان انتخاب کرد. بطور خلاصه مطالب فوق را میتوان روند نمای شکل (۵-۶-ب) نشان داد.

نتیجه

روند نما در ادامه مطلب، تنظیم رله جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ برای مجتمع های صنعتی با استفاده از روش تکرار را ارائه می نماید این روند بسیار ساده بوده و برای تمامی مجتمع های صنعتی قابل اجرا می باشد.



شکل (۵-۶-ب) روند نمای تنظیم رله اضافه جریان کنترل شده با ولتاژ

۳-۶- تنظیم و هماهنگی رله های اتصال زمین و مطالعه موردی آن

۳-۶-۱- طرح یک مثال :

این قسمت را با مثالی آغاز می کنیم:

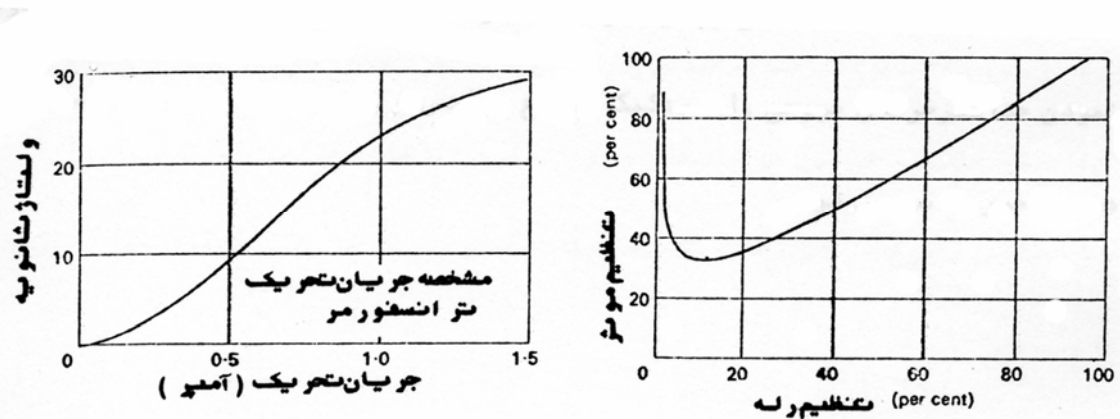
نسبت ترانس جریان : ۳۰۰/۵

جریان تحریک در نقطه زانویی : ۱/۵ A

ولتاژ نقطه زانویی : ۳۰V

بار رله در تنظیم آن : ۳VA

همانطوریکه از شکل زیر مشاهده می شود تنظیم بهینه در مثال فوق ۱۳٪ است اما افزایش کوچکی در مقدار تنظیم موثر آن تا میزان ۲۰٪ پیش می آید. ممکن است تصور شود که استفاده از رله هایی با محدوده تنظیم مثلا بین ۱۰٪ تا ۴۰٪ رله ، دلخواهی است که تنظیم بهینه آن به کمک آزمایش قبل از بهره برداری آزمایشی تعیین خواهد شد.



شکل (۶-۶)

باید یادآوری نمود تا زمانیکه حداکثر جریان اتصال زمین ، توسط امپدانس نقطه خنثی محدود نشود ، رله های اتصالی زمین ممکن است در معرض جریانهای زیاد قرار گیرند، مخصوصا اگر ترانسهای جریان دارای نقطه اشباع بالایی نیز باشند. در چنین حالاتی رله ممکن است بر اثر اتصال شدید به طور قابل ملاحظه ای گرم شود. در این مورد هر چه نقطه تنظیم رله پایین تر باشد ، چون مقاومت سیم پیچی کویل آن افزایش می یابد ، نتیجتا میزان گرم شدن آن نیز بیشتر خواهد بود.

در این مورد نقطه تنظیمی مثلا برابر با ۲۰٪ در رله ای با محدوده تنظیم ۱۰٪ تا ۴۰٪ ، مساوی با رله ای با محدوده ۲۰٪ تا ۸۰٪ نخواهد بود. تنظیم حالت اول مطابق با سیم پیچی است که دو برابر تعداد دور مورد دوم را دارد. در نتیجه اندازه سیستم آن نیز نازکتر است. زمانیکه تنظیم ۲۰٪ در رله ای با محدوده تنظیم ۱۰٪ تا ۴۰٪ انتخاب می

شود ، فقط نصف سیم پیچ کویل آن در مدار خواهد بود و در نتیجه مقاومت این کویل ، بزرگتر از زمانی خواهد بود که همین تنظیم در رله ای با محدوده ۲۰٪ تا ۸۰٪ که تمام کویل آن در مدار قرار دارد ، بکار رود. محدوده تنظیم بالاتر برای اغلب کاربردهای حفاظتی مناسب بوده و تا زمانیکه شرایط سیستم لزوم تنظیم پایین تری را ایجاب نکند ، بکار می رود. زمانیکه جریان اتصالی توسط مقاومت زمین به مقدار کافی محدود می گردد ، استفاده از تنظیمهای کم هم مجاز خواهد بود. (اگر چه این امر غالباً ضرورتی نخواهد داشت). در مناطقی که مقاومت زمین از نظر خاکشناسی آنچنان بالا باشد که حساسیت بزرگتری را ایجاب کند، باید از تنظیم های پایین تر و در عین حال از ترانسهای جریانی که جریان تحریکشان به اندازه کافی کم است استفاده شود. در اینگونه موارد ضمن در نظر داشتن تمام احتمالات ، لازم است که حداکثر جریان اتصالی زمین نیز در مد نظر باشد و این موضوع که آیا برای محدود نمودن حداکثر جریان خروجی رله به کمک اشباع ترانس جریان ، احتیاج به طراحی آن هست یا خیر؟ بررسی شود.

۶-۳-۲- حفاظت اتصال زمین حساس

در برخی مناطق ، مقاومت مسیر زمین بر اثر خشکی بیش از اندازه خاک و همچنین به علت نوع طبیعت زمین ، بسیار بالاست. در چنین مواردی اتصال یک سیستم بدون هادیهای مخصوص به زمین، ممکن است منجر به عبور جریان بسیار کوچکی شود که برای بکار انداختن سیستم حفاظت عادی کافی نباشد. وضعیت مشابهی در مورد قطع شدن خطوط انتقال روی می دهد که پس از افتادن سیم هادی بر روی زمین یا جاده های خشک، به علت جریان نشتی کوچک همچنان برمدار باقی می ماند و از این نظر خطراتی را برای انسان یا موجودات زنده دیگر بوجود می آورند. برای اجتناب از چنین مواردی لازم است که سیستم حفاظت اتصال زمین ، طوری پیش بینی شود که تنظیم به مراتب بهتری نسبت به رله های معمولی داشته باشد. برای نیل به این منظور، نه تنها رله مورد نظر باید دارای تنظیم جریان کوچکی بوده ، بلکه بار تحمیل شده به آن نیز باید کم باشد. تنظیم جریان کم برای یک رله معمولی می تواند به معنی تنظیم موثر بدون فایده بالا باشد. با استفاده از عناصر حساس پلاریزه و یا عناصر الکترونیکی، رله هایی طراحی شده اند که قادر به تامین خواسته های فوق الذکر می باشند. رله نمونه اول با تنظیمی برابر با ۲٪ یا ۳٪ باری فقط به مقدار ۶۵٪ ولت آمپر در نقطه تنظیم یا ۲/۵ ولت آمپر در جریان کار، دارد. رله استاتیکی نمونه دوم دارای محدوده تنظیمی برابر با ۱٪ تا ۱۶٪ جریان نامی است و باری برابر با ۰/۰۰۵ تا ۱۲٪ ولت آمپر در نقطه تنظیم ، بسته به تنظیمی که مورد استفاده قرار می گیرد ، دارد. این بارها چنان کوچک هستند که رله های مزبور را می توان از همان ترانسهای جریانی تغذیه نمود که برای حفاظت عادی مدار بکار رفته اند. مسلم است حفاظت اتصال زمین با چنین تنظیم کوچکی،

نمی تواند با سیستمهای دیگر، درجه بندی شود و بنابراین با استفاده از یک زمان تاخیر طولانی که بین ۱۰ یا ۱۵ ثانیه قابل تنظیم است، نقش آنها در سیستم حفاظت به صورت یک مکمل کننده محدود می گردد اگر چه درجه بندی آنها با سیستم های حفاظتی دیگر مقذور نیست، اما میتوان رله های اتصال زمین را طوری ترتیب داد که تشکیل یک سیستم درجه بندی مستقل با چندین مرحله تمایزی دهند.

می توان انتظار داشت که جریان واگذاری مربوط به ترانسهای جریانی که برای ایجاد اثر به هم اتصال یافته اند، درحین اتصالیهای فازی از مقدار جریان تنظیم رله های اتصال زمین تجاوز کند اما تاخیر زمانی نسبتاً طولانی این رله، از بکارافتادن ناخواسته آنها در چنین مواردی جلوگیری می کند. کاربرد این رله ها ممکن است بوسیله جریان عادی (که ممکن است در شرایط سالم بودن سیستم نیز وجود داشته باشد)، محدود گردد. چنین پدیده ای می تواند از علت های اولیه ای چون جریان نشتی حاصل از عدم تعادل بار یا جریان نشتی خازنی یا از جریان ثانویه گذاری ترانسهای جریان تحت شرایط عادی بار سیستم بوجود آید.

مقدار چنین جریان پس ماندی در حالت پایدار، اندازه گیری می شود و مقدار رله در حد پایین تری تنظیم می گردد تا از بکار افتادن آن بر اثر چنین جریانی جلوگیری شود و هم اینکه **RESET** عنصر اندازه گیری جریان، پس از بکار افتادن گذرا تضمین گردد.

تاخیر زمانی این رله ها طوری تنظیم می گردد که از طولانی ترین زمان عمل حفاظت اتصال کوتاه احتمالی سیستم، بزرگتر باشد و تنظیم زمانی رله های سری ممکن به ترتیب درجه بندی صورت گیرد.

۶-۳-۳- مطالعه موردی و محاسبات حفاظت اتصال زمین نیروگاه لوشان

۶-۳-۳-۱- تشریح مشکل نیروگاه لوشان (در دهه ۷۰ شمسی)

نیروگاه لوشان واقع در استان گیلان و دارای واحدهای بخاری و گازی که از طریق ترانسفورماتور به شبکه ۲۳۰ کیلو ولت متصل شده است. با توجه به اینکه نقطه صفر (نوترال سیم پیچی ستاره ترانسفورماتور این نیروگاه) توسط یک دستگاه برقگیر به زمین وصل است وقتیکه سکسیونر و یا بریکر 230KV (ارتباط دهنده ترانسفورماتور واحد با شبکه) باز باشد مدار اولیه C.V.T^(۱) 230KV از طریق برقگیر بسته میشود و نتیجتاً افت ولتاژ ۱۳/۵ ولت در ثانویه C.V.T درامپدانس برقگیر بوجود می آید (وقتیکه مدار اولیه C.V.T از طریق برقگیر نوترال بسته میشود در ثانویه C.V.T ولتاژی در حدود ۵۰ ولت و وقتی مدار اولیه C.V.T مستقیماً و از طریق زمین به نوترال ترانس بسته می شود در ثانویه C.V.T ولتی در حدود ۶۳/۵ ولت ظاهر میگردد) از آنجا که به هنگام پارالل، نیاز به مساوی نمودن ولتاژ دو طرف ترانسفورماتور (در یک مرجع) است بالاجبار این کار با افزایش تپ ترانسفورماتور به آخرین مرحله و بالا بردن

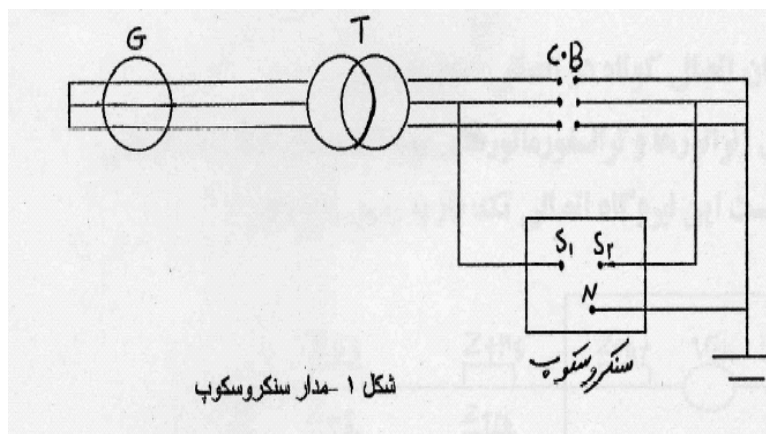
تحریک ژنراتور تا حد لزوم (بظاهر) انجام میشود در نتیجه واحد با ولتاژی بالاتر از ولتاژ شبکه پارالل شده و موجب کشیده شدن جریان اضافی و بار راکتیو زیاد از ژنراتور میشود که این خود نیز باعث ضربه زدن به ژنراتور می شود.

۶-۳-۳-۱- بررسی علت اختلاف ولتاژ قرائت شده در سنکرونوسکوپ و ارائه راه حل

همانطوریکه در مدار شماتیک سنکرونوسکوپ (شکل ۶-۷) مشاهده میشود این دستگاه از دو ورودی فاز و یک ورودی نول تشکیل می شود. یک ورودی فاز از فاز S سمت واحد و ورودی فاز دیگر از فاز S سمت شبکه

۱) Current Voltage Transformer

گرفته شده و یک نول مشترک که چون نوترال واحد زمین نشده از زمین شبکه استفاده شده است. در نتیجه با توجه به رابطه زیر اختلاف در مراجع سنجش ولتاژ منجر به اختلاف ولتاژ قرائت شده توسط سنکرونوسکوپ میشود.



شکل ۱- مدار سنکرونوسکوپ

شکل (۶-۷) - مدار سنکرونوسکوپ

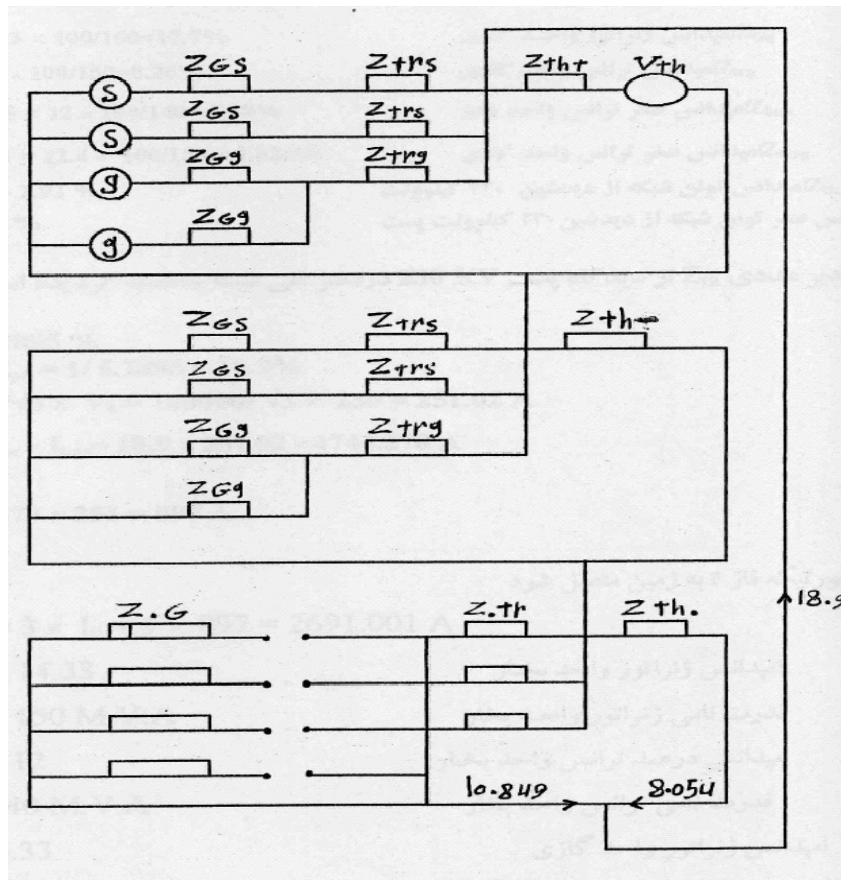
$$\begin{aligned} V_{RN} + V_{SN} + V_{TN} &= 0 \\ V_{RG} + V_{SG} + V_{TG} &= V_{RN} + V_{SN} + V_{TN} + 3V_{NG} \\ V_{RG} &= V_{RN} + V_{NG} \\ V_{SG} &= V_{SN} + V_{NG} \\ V_{TG} &= V_{TN} + V_{NG} \end{aligned}$$

در نتیجه جهت یکسان نمودن مراجع بر لزوم زمین کردن نوترال ترانسفورماتور واحد تاکید می شود و جهت حفاظت ترانس از اضافه جریانهای ناشی از اتصال کوتاه تک فاز به زمین که از طریق مدار ارت نوترال وارد ترانس میشود رله های E.F. و R.E.F مطرح شده در ادامه مطلب پیشنهاد میشود.

۶-۳-۳-۲- محاسبه جریان اتصال کوتاه در اتصالی تکفاز به زمین

۶-۳-۳-۱- مدلسازی ژنراتورها و ترانسفورماتورهای نیروگاه لوشان هنگامیکه در باس بار 230KV پست این

نیروگاه اتصالی تکفاز به زمین رخ دهد.



شکل (۶-۸) شبکه توالی مثبت و منفی و صفر واحدهای نیروگاه لوشان هنگامیکه در باس بار ۲۳۰ کیلوولت پست اتصالی تکفاز به زمین رخ دهد

۶-۳-۳-۲- محاسبه جریانهای اتصال کوتاه در اتصالی تکفاز به زمین

$Z_{GS}=14.33 \times 100/50=9.55\%$	Z_{GS} امپدانس ژنراتور واحد بخار
$Z_{trs}=12 \times 100/140=8.57\%$	Z_{trs} امپدانس ترانس واحد بخار
$Z_{Gg}=28.33 \times 100/160=17.7\%$	Z_{Gg} امپدانس ژنراتور واحد گازی
$Z_{trg}=12.4 \times 100/150=8.26\%$	Z_{trg} امپدانس ترانس واحد گازی
$Z_{otrs}=0.85 \times 12 \times 100/140=7.28\%$	Z_{otrs} امپدانس صفر ترانس واحد بخار
$Z_{otrg}=0.85 \times 12.4 \times 100/150=7.026\%$	Z_{otrg} امپدانس صفر ترانس واحد گازی
$Z_{th+}+Z_{th-}=2.92\%$	Z_{th} امپدانس تونن شبکه از دیدشین ۲۳۰ کیلوولت
$Z_{tho}=3.23\%$	Z_{oth} امپدانس صفر تونن شبکه از دیدشین ۲۳۰ کیلوولت پست

ضمناً مقادیر عددی Z_{th} از دیدگاه پست ۲۳۰ کیلوولت در دفتر فنی شبکه محاسبه گردیده است.

$$Z_{pu} = 5.2895\%$$

$$I_{pu} = 1/Z_{pu} = 1/5.2895 = 18.9\%$$

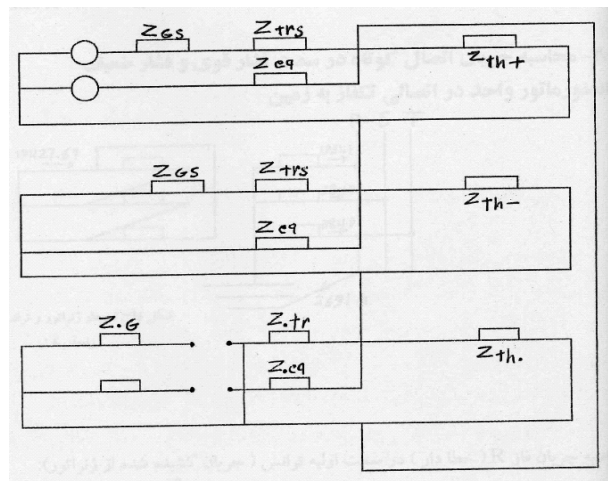
$$I_{bas} = S_b / \sqrt{3} \times V_b = 100000 / \sqrt{3} \times 230 = 251.02A$$

$$I_{real} = I_{pu} \times I_{bas} = 18.9 \times 251.02 = 4744.278A$$

$$I_{otrs} = 3.573 \times 251 = 897A$$

در صورتیکه فاز I به زمین متصل شود

$I_f = I_r = 3 \times I_o = 3 \times 897 = 2691.001A$	
14.33	امپدانس ژنراتور واحد بخار
150 MVA	قدرت نامی ژنراتور واحد بخار
12	امپدانس درصد ترانس واحد بخار
140 MVA	قدرت نامی ترانس واحد بخار
28.33	امپدانس ژنراتور واحد گازی
$2 \times 80 MVA$	قدرت نامی ژنراتور واحدهای گازی
12.4	امپدانس درصد ترانس واحد گازی
150MVA	قدرت نامی ترانس واحد گازی



شکل (۶-۹) نمودار ساده شده شکل (۶-۸)

$$230 \text{ KV SIDE Steam Unif: } \begin{cases} I_+ = 512.08 \\ I_- = 512.08 \\ I_0 = 897 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} I_r \\ I_s \\ I_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_0 \\ I_+ \\ I_- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot j \begin{bmatrix} -897 \\ -j1921.16 \\ -j384.92 \\ -j384.92 \end{bmatrix}$$

-512.08

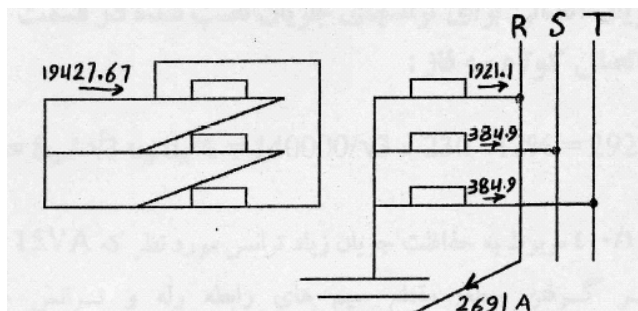
-512.08

$$I_r = -j1921.16A$$

$$I_s = 384.92A$$

$$I_t = 384.92A$$

۳-۳-۳-۳-۶- محاسبه جریان اتصال کوتاه در سمت فشار قوی و فشار ضعیف ترانسفورماتور واحد در
اتصال تکفاز به زمین



شکل (۱۰-۶): نمودار ژنراتور و ترانسفورماتور واحد بخار

محاسبه جریان فاز R (خطادار) در سمت اولیه ترانس (جریان کشیده شده از ژنراتور):

$$I'_{R+} = K(0.866 + j0.5)I''_{r+}$$

$$I'_{R-} = K(0.866 - j0.5)I''_{R-}$$

$$K = V_2 / V_1$$

$$I'_{R+} = 230 / 10.5(0.866 + j0.5) \times 512.08$$

$$I'_{R+} = 11216.74 / -60$$

$$I'_{R-} = 230 / 10.5(0.866 - j0.5) \times 512.08 = 11216.57 \angle -120$$

$$I'_{R0} = 0 \rightarrow I'_R = I'_{R0} + I'_{R+} + I'_{R-} = -19427.678A$$

I'_{R+} : جریان توالی مثبت در اولیه ترانس (فاز R)

I''_{R+} : جریان توالی مثبت در ثانویه (فاز R)

I'_{R-} : جریان توالی منفی در اولیه ترانس (فاز R)

I''_{R-} : جریان توالی منفی در ثانویه ترانس (فاز R)

K = نسبت تبدیل ترانس

۳-۳-۳-۳-۶- پیشنهاد زمین کردن مستقیم نقطه صفر ترانسفورماتور و استفاده از دو رله R.E.F و
E.F جهت حفاظت

۶-۳-۳-۱- نحوه محاسبه جریان اتصالی برای ترانسهای جریان نصب شده در قسمت ۲۳۰(KV)

ترانس برای یک اتصال کوتاه سه فاز:

$$I_f = S_n / \sqrt{3} u_n u_k \% = 140000 / \sqrt{3} \times 230 \times 12\% = 2928.67 \cong 3000A$$

با استفاده از ترانس ۴۰۰/۱ مربوط به حفاظت جریان زیاد ترانس مورد نظر که 15VA توان نامی دارد و با در نظر گرفتن سطح مقطع سیم های رابط رله و ترانس جریان S=10mm و طول سیم های رابط حدود 620m (فاصله محل قرار گرفتن ترانس های جریان با ترانس اصلی حدود 250m و فاصله ترانس اصلی با محل استقرار رله های حفاظتی 60m) مقاومت سیمهای رابط برابر با اهم $R_L = 0.5$ ، تخمین زده میشود و مقاومت ثانویه ترانس ۴۰۰/۱ با جریان نامی یک آمپر حداکثر برابر با ۲ اهم ($R_S = 2$) خواهد بود، لذا حداقل ولتاژ نقطه زانو ترانس جریان بشکل زیر بدست می آید:

(مقدار مقاومت ۰/۳ اهم برای رله های حفاظتی جریان زیاد منظور میگردد $R_T = 0.3$)

$$u > I_g / N (R_s + R_L + R_T)$$

$$U > 3000 / 400 (2 + 0.5 + 0.3) = 21V$$

مربوط به ترانس جریان نقطه صفر $U > 3000 / 400 (2 + 0.5 + 0.3) = 21V$ که با توجه به شرایط ترانس جریان انتخابی نقطه زانویی بسیار بزرگتر از مقدار فوق خواهد بود (حدود ۴۰۰ ولت).

۶-۳-۳-۲- بارگذاری مورد نیاز (Burden) برای ترانس جریان خروجی ترانسفورماتور

بارگذاری حالت نرمال ترانس جریان ۴۰۰/۱ و 10P برابر است با:

$$(Burden)_{Normal} = \{ (351.5 / 400)^2 (2 + 0.5 + 0.3) \} = 2.16VA$$

لذا ترانس جریان در نظر گرفته شده با توان نامی 15VA جوابگو خواهد بود.

بارگذاری مورد نیاز و مشخصات ترانس جریان نقطه صفر ترانس

چون در شرایط نرمال جریان بسیار ناچیزی از ترانس جریان نصب شده در نقطه صفر می گذرد لذا یک عدد ترانس جریان

۴۰۰/۱ و 10P, 15VA جهت استفاده در محل نقطه صفر ترانس جوابگو خواهد بود.

۶-۳-۳-۳- تنظیم رله حفاظتی REF

رله حفاظتی مورد نیاز رله اتصال زمین REF با جریان نامی یک آمپر دارای مقاومت پایدار کننده، و با تنظیم جریان 4 ر.آمپر پیشنهاد میگردد. با توجه به اینکه کلاس 10P, CT می باشد لذا با احتساب $\pm 10\%$ خطای CT (در

مجموع ۲۰٪) تنظیم رله REF جهت اطمینان بیشتر روی $4 I_n = 0.4$ قرار می گیرد. ($I_n = 1$)

$$I_{f_{max}} = S_n / \sqrt{3} u_n u_x \% = 140000 / \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 12\% = 2928.67$$

$$I_f = 2928.67 / 400 = 7.32A$$

$$V_s = 7.32 (2 + 0.5 + 0.3) = 20.49V$$

$$V_{SA} = V_A / I_r + I_r \times R_s = 1 / 0.4 + 0.4 \times 220 = 90.5V$$

بنابراین در خطاهای خارجی چون ولتاژی که روی رله قرار می‌گیرد کمتر از ولتاژ تنظیمی است رله عمل نمی‌کند.

$V_{SA} =$ ولتاژی که عمل‌آوری رله قرار می‌گیرد.

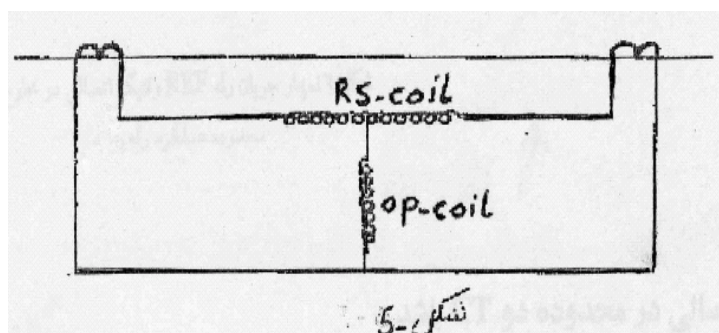
$R_s =$ مقاومت پایدار کننده (به استناد کاتالوگ رله نمونه، مقدار ۲۲۰ اهم پیشنهاد شده است)

$V_s =$ ولتاژی که در اثر ماکزیمم جریان خطای خارجی روی رله قرار می‌گیرد.

$I_r =$ جریان تنظیمی رله

۶-۳-۳-۱- نحوه عملکرد رله REF

اگر اتصالی در خارج از محدوده عملکرد رله باشد و جریان اتصال کوتاه بقدری زیاد باشد که باعث به اشباع رفتن ترانسفورماتورهای جریان شود بدلیل یکسان نبودن ساختمان ترانسهای جریان تفاوت خروجی آنها زیاد شده و باعث عملکرد رله های دیفرانسیل میشود. جهت رفع این اشکال در رله های از نوع REF که در واقع یک رله دیفرانسیل زمین می باشد از دو کوپل نگهدارنده (RSC) و کوپل عمل کننده OPC استفاده می شود.



شکل (۱۱-۶)

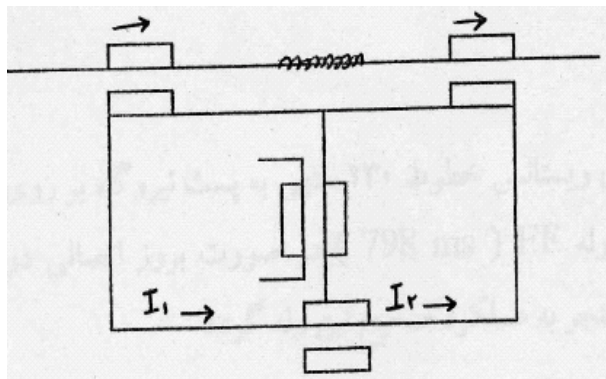


جریانی که از کویل RS می گذرد متناسب با جریان خطا زیادتر می شود و وقتی که ترانسهای جریان به اشباع می روند هر چه اختلاف بین دو جریان بیشتر شود نیروی سیم پیچ نگهدارنده هم بیشتر می شود و نمی گذارد رله وقتی که خطا خارج از محدوده است عمل کند. اگر اتصالی خارج از محدوده باشد از کویل RS جریان i_1+i_2 و از سیم پیچ عمل کننده (OP) جریان i_1-i_2 عبور می کند.

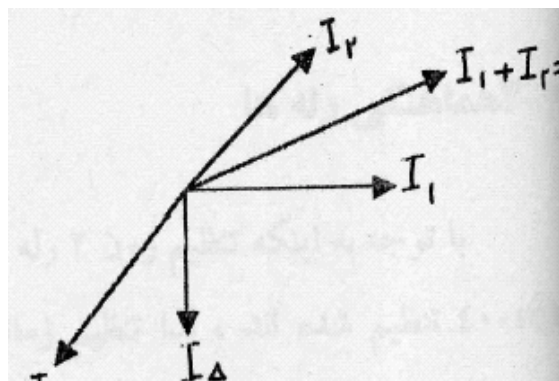
۶-۳-۳-۳-۳-۲- شرط عملکرد رله

$$\Delta I = (i_1 - i_2) > K (i_1 + i_2 / 2)$$

اگر اتصالی در خارج از محدوده دو CT باشد:



شکل (۱۲-۶): نمودار جریان رله REF وقتی که اتصالی در خارج از محدوده عملکرد رله باشد.

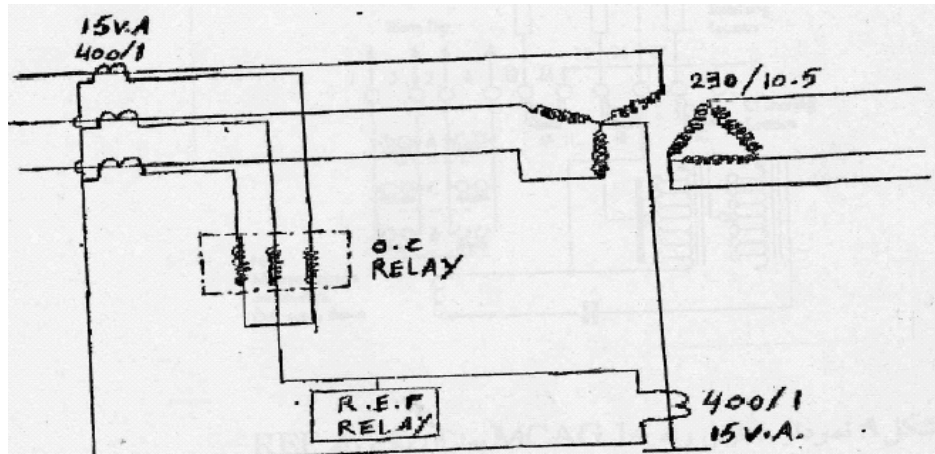


چون $I_H > I_\Delta$ ، رله عمل نمی کند.

اگر اتصالی در محدوده دو CT باشد:



با توجه به اینکه تنظیم زون ۲ رله های دیستانس خطوط ۲۳۰ منتهی به پست نیروگاه بر روی 400ms تنظیم شده اند، لذا تنظیم زمانی رله EF (798ms) در صورت بروز اتصالی در محدوده تعیین شده برای رله REF میتواند منجر به عملکرد صحیح این رله گردد.



شکل (۱۴-۶): نحوه قرارگیری رله های E.F و R.E.F در ترانسفورماتور واحد بخار

۶-۳-۴- بررسی یک اتصال کوتاه استثنایی در ژنراتور (در هنگام باز بودن سکسیونر زمین)

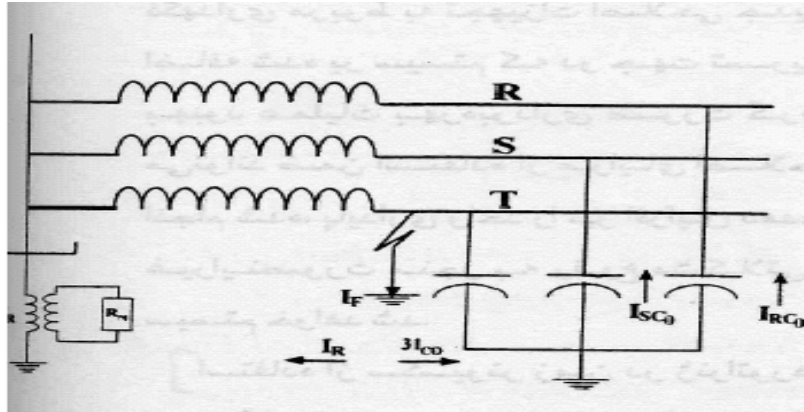
۶-۳-۴-۱- حداکثر مقدار قابل قبول مقاومت زمین کننده

در حالتی که ژنراتور از طریق ترانسفورماتور توزیع، زمین شده است، حداکثر مقدار قابل قبول مقاومت در مدار ثانویه این ترانس را می‌خواهیم بدست آوریم. جهت جلوگیری از ایجاد ولتاژهای گذرا به هنگام وقوع یک اتصال زمین قوسی (این عمل با تخلیه بار در مدار خازنی انجام می‌گیرد) مقدار مولفه اهمی جریان اتصال زمین در ژنراتور نباید کمتر از جریان پس ماند خازنی باشد، که در اینصورت با توجه به شکل شماره ۶-۱۵ جریان عبوری از مقاومت R_N (مقاومت اهمی زمین کننده نقطه صفر ژنراتور) باید بیشتر از جریان عبوری از خازن فازهای اتصال زمین نشده (فازهای S,R) باشد.

این جریان خازنی به قرار ذیل محاسبه میگردد:

(۱)

$$\text{جریان خازنی} = |I_{RC_0} + I_{SC_0}| = \left| \frac{E_{LL}}{X_{CO}} + \frac{E_{LL120}}{X_{CO}} \right| = \sqrt{3} \frac{E_{LL}}{X_{CO}} = \frac{3E_{L_G}}{X_{CO}} = 3I_{CO}$$



شکل (۶-۱۵) مسیرهای عبور جریان خازنی و جریان اهمی اتصال زمین

در نتیجه خواهیم داشت

(۲)

$$I_R > 3I_{CO}$$

که I_R و $3I_{CO}$ بترتیب برابر می باشند با

(۳)

$$I_R = \frac{E_{LG}}{N^2 R_N}$$

(۴)

$$3I_{CO} = \frac{E_{LG}}{\frac{X_{CO}}{3}}$$

لذا حداکثر مقدار مقاومت قابل قبول برابر خواهد بود با:

$$R_N < \frac{X_{CO}}{3}$$

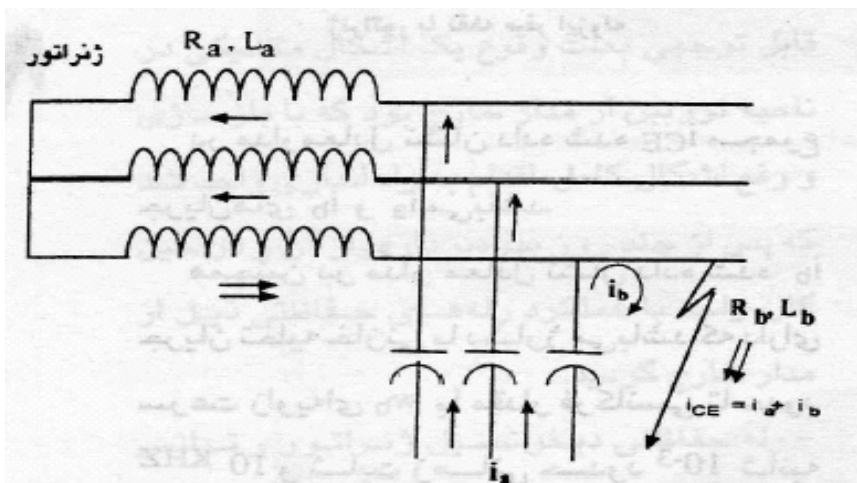
و یا

$$R_N < \frac{1}{3} \frac{10^6}{2\pi F C_{ph} N^2} \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، N نسبت تبدیل ترانسفورماتور زمین، C_{ph} ظرفیت خازنی هر فاز نسبت به زمین و F فرکانس سیستم می باشد. قابل توجه است که در صورت بازبودن مسیر نقطه صفر ژنراتور به زمین، شرط فوق برقرار نمی باشد و ولتاژهای گذرا در هنگام اتصال زمین هر یک از فازها بوجود خواهند آمد.

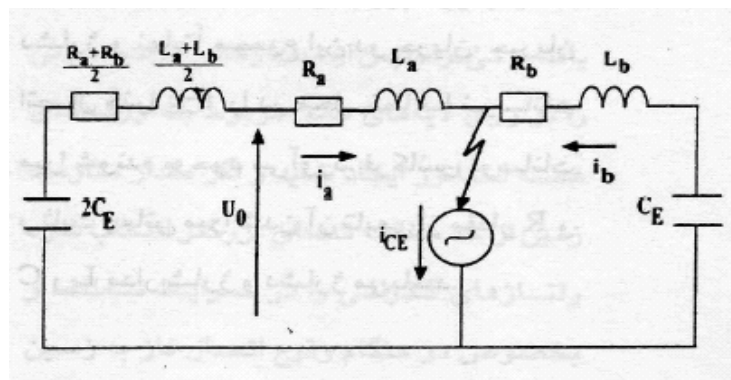
۶-۳-۴-۲- حالت‌های گذرا در ژنراتورهای با نقطه صفر ایزوله:

هنگام وقوع یک اتصال زمین در یک ژنراتور سه فاز زمین نشده، ظرفیت خازنی نسبت به زمین در فاز اتصال کوتاه شده به مقدار صفر کاهش می یابد، در حالیکه ظرفیت خازنی نسبت به زمین فازهای سالم افزایش خواهد یافت (زیرا ظرفیت خازنی فازهای سالم بعلت اینکه ولتاژ آنها تا $\sqrt{3}$ برابر قابل افزایش است مجدداً شارژ اضافه می شوند که باید از طرف سیم پیچی ژنراتور تامین گردند)، این پروسه دشارژ و اضافه شارژ در خازن فازهای سیستم، باعث ایجاد جریان گذرای شارژ و جریان گذرای دشارژ و نهایتاً مجموع این دو جریان، جریان اتصال گذرا I_{CE} را در محل خطا با نوسانات میرا شونده بوجود می آورد. فرکانس نوسانات و ثابت زمانی میراشدن آن تابعی از مقدار R و C و L مدار شارژ و دشارژ می باشد.



شکل (۶-۱۶) - مسیر جریانهای شارژ و دشارژ هنگام وقوع اتصال فاز به زمین ژنراتور با نقطه صفر ایزوله

در شکل (۶-۱۶) R_a, L_a بترتیب مقاومت و اندوکتانس مربوط به هر فاز ژنراتور و R_b و L_b مقاومت و اندوکتانس مربوط به محل مسیر اتصال زمین می باشند. مدار معادل جریانها و ولتاژهای گذرای شکل فوق در شکل (۶-۱۷) نشان داده شده است.



شکل (۶-۱۷) - مدار معادل جریانها و ولتاژهای گذرا در یک ژنراتور با نقطه صفر ایزوله در مدار معادل نشان داده شده I_{CE} مجموع جریانهای I_a, I_b می باشد.

همچنین در مدار معادل نشان داده شده \dot{I}_b جریان تخلیه خازنی یا دشارژ می باشد که دارای سرعت زاویه ای ω_b با مقدار فرکانسی تا حدود 10KHZ و ثابت زمانی حدود 10^{-3} ثانیه می باشد. \dot{i}_a نیز جریان شارژ خازنهای زمین فازهای سالم از طریق امپدانس منبع است که دارای سرعت زاویه ای ω_b با مقدار فرکانسی تا حدود 1 KHZ و ثابت زمانی حدود 10^{-2} ثانیه می باشد. نوسانات این جریان ها با فرکانسهای مربوطه تا شارژ کامل فازهای سالم وجود داشته و پس از آن نوسانات جریان با فرکانس نامی شبکه (۵۰هرتز) در قالب جریان اتصالی پایدار ادامه خواهد یافت. و نهایتاً:

(۶)

$$i_a = -I_a \{ \cos(\omega t + a) + e^{-\frac{t}{T_a}} \left[\frac{\omega_a}{\omega} \sin(a) \sin(\omega_a t) - \cos(a) \cos(\omega_a t) \right] \}$$

(۷)

$$i_b = -I_b \{ \cos(\omega t + a) + e^{-\frac{t}{T_b}} \left[\frac{\omega_b}{\omega} \sin(a) \sin(\omega_b t) - \cos(a) \cos(\omega_b t) \right] \}$$

که در روابط (۶) و (۷) پارامترهای $T_a, T_b, a, \omega_b, \omega_a$ و بترتیب عبارتند از:

(۸)

$$\omega a = \frac{1}{\sqrt{C_E(3L_a + L_b)}}$$

$$\beta \omega b = \frac{1}{\sqrt{C_E L_b}}$$

زاویه منبع ولتاژ در لحظه وقوع اتصالی است.

$$a = \beta + \frac{\pi}{2}$$

$$T_a = \frac{3L_a + L_b}{3R_a + R_b}$$

$$T_b = \frac{L_b}{R_b}$$

وقوع جریانهای گذرای i_a, i_b موجب بوجود آمدن ولتاژهای گذرا میگردد بطوریکه در فازهای سالم ژنراتور مقدار ولتاژ هر فاز نسبت به زمین به میزان ولتاژ گذرای U_0 (ولتاژ جابجایی نقطه صفر) افزایش خواهد یافت.

ولتاژ گذرای U_0 را میتوان با استفاده از روابط (۶)، (۷)، (۸) یاد شده و مدار معادل شکل (۱۷-۶) بدست آورد و بر اساس اینکه اندوکتانس مدار شارژ L_a به مراتب بزرگتر از اندوکتانس دشارژ L_b می باشد. آنگاه :

(۹)

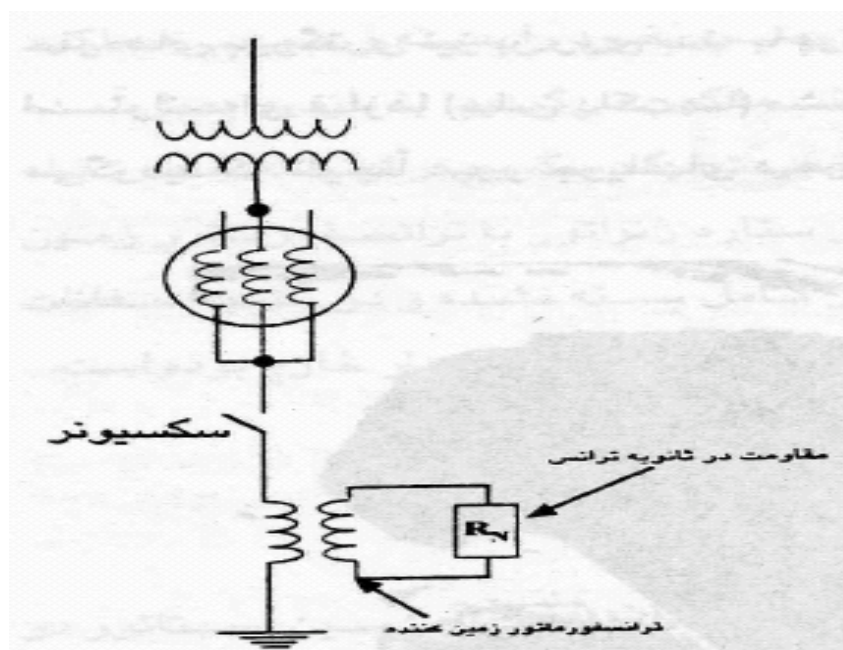
$$U_0 = E \left[\cos(\omega t + \beta) + \frac{2}{3} \sin(a) \cos(\omega_a t) e^{-\frac{t}{T_a}} + \frac{2}{3} \left[\frac{\omega}{\omega_a} \right] \cos(a) \sin(\omega_a t) e^{-\frac{t}{T_a}} \right]$$

نکته مهم این است که وقوع قوس های مجدد در نقطه اتصالی میتواند، مقدار ولتاژهای گذرا را حتی به $3.5U_{ph}$ نیز برساند که با فرکانس نوسانات ω_a در سایر فازهای سالم سیستم مشکل ساز خواهد بود.

۶-۳-۴-۳- گزارش یک حادثه در خروجی های ژنراتور نیروگاه ری:

نقطه صفر ژنراتور واحدهای میتسوبیشی نیروگاه ری از طریق یک ترانسفورماتور با نصب مقاومت در ثانویه زمین گردیده است دو سر مقاومت مذکور نیز به رله حفاظتی اتصال زمین استاتور متصل گردیده و وظیفه تشخیص وقوع اتصال زمین در سیم پیچی ژنراتور فقط بعهده این رله می باشد. بطوریکه هیچکدام از سایر رله های حفاظتی ژنراتور قادر به تشخیص اتصال زمین نمی باشند.

همانطور که در شکل (۶-۱۸) مشخص است ارتباط بین نقطه صفر ستاره ژنراتور با ترانسفورماتور زمین کننده توسط یک سکسیونر انجام شده است که بیشتر به منظور تسریع در انجام یکسری از تستهای الکتریکی ژنراتور در هنگام خروجیهای کوتاه مدت واحد می باشد از قبیل تست میگرو تست P.I و...



شکل ۶-۱۸- سیستم زمین نمودن نقطه صفر ژنراتور میتسوبیشی نیروگاه ری با استفاده از سکسیونر

یکی از سه واحد میتسوبیشی طی مدت زمان قابل توجهی بعلت وقوع یک اشکال مکانیکی در ناحیه توربین از مدار خارج بود که با بازسازی و رفع اشکال کامل، اقدام به راه اندازی واحد شد که پس از چند روز بهره برداری از آن و در حین کار، واحد با عملکرد رله های حفاظتی ذیل از مدار خارج گردید.

- رله حفاظتی دیفرانسیل ژنراتور و ترانس (Overall Differential):

- رله حفاظتی جریان زیاد با بازدارنده ولتاژ (Voltage Restrained Over Current):

پس از بازدید بعمل آمده از ژنراتور، مشخص شد که در محل هادیها خروجی از ژنراتور (باس بارها)، یک اتصال کوتاه سه فاز از طریق بدنه بوجود آمده است، بطوریکه در محل اتصالی فازها به بدنه حفره های بزرگی بر روی هادیهای هر فاز (باس بارها) در اثر ذوب شدگی آلومینیوم آن و همچنین در مقابل آن حفره های بزرگتری نیز بر

روی بدنه یا پوشش استوانه ای فازها (باس داکت ها) مشاهده می گردید که نتیجتاً عبور جریانهای همراه با تخلیه الکتریکی مابین هر سه فاز از طریق بدنه و در نهایت وقوع یک اتصال کوتاه سه فاز را نشان میداد.

۶-۳-۴- تحلیل حادثه:

پس از بررسیهای بعمل آمده مشخص گردید که وقوع اتصالی مابین هادیها (باس بارها) از طریق پوشش های استوانه ای مربوطه (باس داکت ها که متصل به زمین نیز می باشند) در اثر آلودگی مفره های نگهدارنده باس بارها و وجود رطوبت کامل و آب داخل باس داکت ها می باشد. بطوریکه ابتدا با خزش ولتاژ فاز S به زمین از روی مفره های اتکائی مربوطه که آلوده به گرد و غبار و رطوبت بالا بودند، جریانهای شارژ و دشارژ الکتریکی مابین فاز S و زمین بوقوع پیوسته که علاوه بر پتانسیل دار نمودن زمین، اضافه ولتاژهای گذرای U_0 را با توجه به رابطه (۹) که در بخش قبلی بحث شد در دو فاز دیگر (T,R) بوجود آورده است که این اضافه ولتاژهای گذرا موجب ایجاد شدت میدان های الکتریکی بالا بخصوص در نقاط تیز این دو فاز شده (محل وقوع اتصال کوتاه سه فاز دقیقاً بر روی نقاط تیز در محل جوشکاری های خم باس بارها و باس داکت ها بوده است) که باعث عبور جریانهایی با فرکانس بالا از خازن یونیزه شده مابین نقاط تیز باس بارها و باس داکتها بطور مستمر گردیده و نهایتاً وقوع اتصال کوتاه سه فاز را بدنبال داشته است.

اولین سوالی که پس از بررسی حادثه به ذهن می رسید، عدم عملکرد رله حفاظتی اتصال زمین استاتور در مراحل اولیه شارژ و دشارژ هادی فاز از طریق مفره نگهدارنده به زمین بود که قاعدتاً می بایست از طریق ترانسفورماتور زمین مسیر خود را بسته و موجب عملکرد حفاظت مذکور می گردید، با بازدید بعمل آمده مشخص شد که سکسیونر ارتباط دهنده نقطه صفر ستاره ژنراتور با ترانسفورماتور زمین بطور کامل بسته نشده و در نتیجه حفاظت اتصال زمین استاتور از مدار خارج بوده است.

۶-۳-۵- نتیجه:

رله حفاظت اتصال زمین استاتور در ژنراتورهای نیروگاهی، بطور انحصاری حفاظت اتصال زمین را در سیم پیچهای ژنراتور و همچنین باس بارهای متصل به آن و اولیه ترانس قدرت واحد(که دارای آرایش مثلث است) بعهده دارد و در صورت عدم عملکرد صحیح آن در شرایط وقوع اتصالی یک فاز با زمین، هیچکدام دیگر از رله های حفاظتی نمی توانند پوشش لازم را برای رله مذکور فراهم نمایند، و لذا ضرورت دارد که ضمن اطمینان از عملکرد صحیح و اعمال تنظیمات مناسب به رله، مدارات قدرت آن نیز شامل ترانس نقطه صفر، مقاومت نصب شده در ثانویه، مسیرهای ارتباطی از نقطه صفر ژنراتور به زمین، سکسیونر زمین و... تحت بازدیدهای برنامه ریزی شده قرار گیرد. اگر بجای این اتصالی که در باس داکت خروجی ژنراتور مورد بررسی قرار گرفت، اتصال مشابهی در محل سیم پیچی ژنراتور و در داخل هسته رخ میداد. خسارت حادثه به چه میزان بود؟

فصل ۷

حفاظت بار زیاد

حرارت زیادتر از حد مجاز ژنراتور، باعث شکننده شدن ایزولاسیون و عایق بندی سیم پیچ های ژنراتور میگردد. این حرارت زیادی بر اثر بار زیاد و همچنین بر اثر نقص در سیستم خنک کن ژنراتور میتواند ایجاد گردد. جهت حفاظت ژنراتور در مقابل حرارت زیادتر از حد مجاز، از دو روش استفاده میگردد روش R.T.D و روش رله اضافه بار (Over Load) ، که با توجه به نیاز و حساسیت کار میتوان از هر دو روش نیز توأمأً برای ژنراتورهای بزرگ استفاده نمود.

۷-۱- روش R.T.D

برای اندازه گیری دمای مختلف سیم پیچ ها و هسته ژنراتور میتوان از نشان دهنده های درجه حرارت از نوع مقاومتی بنام R.T.D (Resistance temperature detectors) استفاده نمود.

اصول کار این دما سنجها بر این اساس است که تغییرات مقاومت الکتریکی هادیهای فلزی، در اثر تغییرات دمای آنها بصورت خطی میباشد. در ژنراتورها اکثراً از نوع R.T.D نواری استفاده میشود که جهت اندازه گیری دمای هسته و سیم پیچ های استاتور اغلب در کف شیارها و یا در لابلاهای سیم بندی قرار میگیرند، ضخامت این R.T.D ها کم و طول و عرض آنها بستگی به شکل و ابعاد شیار ماشین دارد.

با اینکه سعی میکنند R.T.D ها در نقاطی که بیشترین دما را دارند و به سیم بندی نزدیکتر هستند نصب کنند، همیشه دمائی که توسط R.T.D استخراج میشود کمتر از دمای واقعی هادیهای سیم بندی ژنراتور میباشد. این اختلاف دما در ژنراتورهای بزرگ بیشتر میشود، بزرگی و کوچکی مقدار این خطا و اختلاف بین دمای واقعی هادیها و دمائی که R.T.D ها نشان میدهند بستگی به عواملی از قبیل ضخامت عایق بندی، نوع سیال خنک کننده، شکل شیارها و جریانی که از سیم بندی می گذرد و همچنین به فشار سیال خنک کننده دارد. البته از این نوع R.T.D ها جهت اندازه گیری دمای سیال خنک کننده ژنراتور در خروجی مسیر مربوطه نیز استفاده میگردد.

۷-۲- روش رله اضافه بار

زیاد شدن جریان در ژنراتور تا $\frac{1}{3}$ برابر جریان نامی را رله های جریان زیاد و یا رله های امپدانس نمیتوانند تشخیص بدهند. و لذا یک نوع رله جریانی سه فاز معروف به رله اضافه بار برای حفاظت ژنراتورهای بزرگ در نظر گرفته میشود. مشخصه عملکرد این رله بطور زیاد معکوس زمانی بوده و برای تنظیمی برابر با ۱ تا $\frac{1}{1}$ جریان نامی، ماکزیمم زمان عملکرد را میتواند داشته باشد (حتی بیشتر از ۳۰۰ ثانیه) که با زیادتر شدن جریان، زمان عملکرد رله نیز کاهش خواهد یافت.

۳-۷- رابطه بین جریان ورودی به رله، جریان تنظیم رله و زمان عملکرد آن

هر ماشین الکتریکی یک دستگاه تبدیل انرژی است و در ژنراتور نیز قدرت مکانیکی به قدرت الکتریکی تبدیل میگردد. در هنگام تبدیل انرژی، قدری انرژی تلف میگردد که این انرژی تلف شده در ژنراتور بصورت انرژی حرارتی خواهد بود که در نتیجه قسمتهای مختلف ماشین گرم شده و درجه حرارت شان بالاتر از درجه حرارت محیط خواهد شد.

این تلفات اصولاً در قسمتهای آهنی که حامل شار مغناطیسی بوده و هادیها که حامل جریانند تولید میشوند و باعث افزایش درجه حرارت آهن و مس تا بالای درجه حرارت محیط میگرددند.

اگر T_{max} را افزایش درجه حرارت نهایی ماشین و T_R را افزایش درجه حرارت نهایی با کار مداوم که میتوان آنرا افزایش حد اکثر مجاز فرض نمود، در نظر بگیریم آنگاه معادله افزایش درجه حرارت نسبت به زمان را برای اینکه عایق ماشین در بالاتر از درجه معینی کار نکند، بصورت زیر میتوان نوشت (τ ثابت زمانی حرارتی ماشین میباشد).

$$T_R = T_{max} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \rightarrow \frac{T_R}{T_{max}} = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

اگر افزایش درجه حرارت را متناسب با توان دوم جریان عبوری از سیم پیچ های ژنراتور در نظر بگیریم به طوریکه I_R جریانی باشد که تولید درجه حرارت T_R نموده و I_{max} نیز تولید T_{max} را بنماید آنگاه

$$\frac{I_R^2}{I_{max}^2} = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \rightarrow t = \tau \log \frac{1}{1 - (\frac{I_R}{I_{max}})^2}$$

در معادله فوق I_R متناسب با جریان تنظیمی رله و I_{max} جریان عبوری از رله خواهد بود و t زمان عملکرد رله است. عموماً جریان تنظیمی رله بر روی ۱/۱ برابر جریان نامی تنظیم میگردد.



یادآوری مطالب تئوریک حفاظت مولفه منفی:

اگر ژنراتور با بار نامتقارن مواجه گردد، جریان‌های بار نامتقارن را در ژنراتور میتوان به مولفه‌های مثبت، منفی و صفر تجزیه نمود. مجموعه این مولفه‌های متعادل به شرح زیرند:

الف) مولفه‌های ترتیب مثبت:

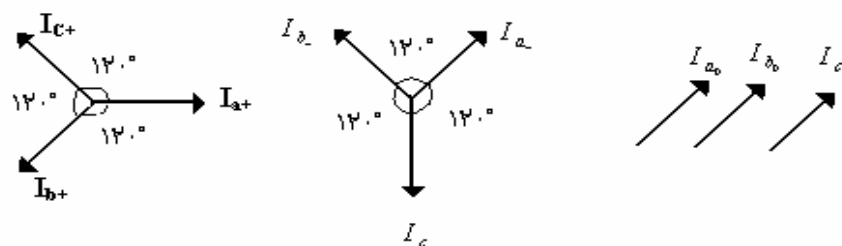
شامل سه بردار با دامنه یکسان و اختلاف فاز ۱۲۰ درجه و دارای همان چرخش فاز سیستم اصلی (به عنوان مثال) و مشابه جریان بار متعادل ایجاد میدانی با سرعت سنکرون و در جهت دوران روتور می‌نماید. abc توالی فاز مثبت

ب) مولفه‌های ترتیب منفی:

شامل سه بردار با دامنه‌های یکسان و اختلاف فاز ۱۲۰ درجه و با چرخش‌های فازی مخالف با مولفه‌های ترتیب ایجاد میدانی با سرعت سنکرون ولی در جهت مخالف با دوران روتور acb مثبت (به عنوان مثال توالی فاز منفی) نموده و لذا جریان‌هایی با دو برابر فرکانس سیستم را در روتور ژنراتور القاء می‌نماید.

ج) مولفه‌های ترتیب صفر:

شامل سه بردار هم دامنه بدون اختلاف فاز بین یکدیگر، که این مولفه صفر جریان هیچگونه عکس‌العمل آرمیچری را ایجاد نمی‌نماید.



شکل (۸-۱): مولفه‌های سیستم‌های توالی مثبت، منفی و صفر

خطاهای سیستم اغلب از نوع نامتقارن می‌باشد و از آنجائیکه این خطاها باعث عبور جریان نامتقارن در سیستم می‌شوند، روش مولفه‌های نامتقارن برای محاسبات جریان و ولتاژ نقاط مختلف سیستم در خلال خطا، بسیار مفید است.

مولفه‌های صفر، مثبت و منفی جریان با معادلات زیر بیان می‌گردند:

$$I_0 = (I_a + I_b + I_c) \text{ مولفه صفر جریان}$$

$$I_1(+) = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c) \text{ مولفه مثبت جریان} \quad \text{و یا} \quad \text{رابطه‌های (۸-۱)}$$

$$I_2(-) = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c) \text{ مولفه منفی جریان} \quad \text{و یا}$$

جریان‌های سه فاز ژنراتور هستند. I_a ، I_b و I_c

نشانهگر اپراتوری است که با اعمال آن به هر بردار با حفظ دامنه به اندازه ۱۲۰ درجه در خلاف جهت a عدد عقربه‌های ساعت دوران کند این اپراتور عبارتست از عدد ۱ با زاویه ۱۲۰ درجه که بصورت مختلط عبارتست از:

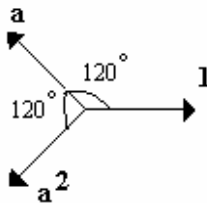
رابطه (۸-۲)

$$a = 1 \angle 120^\circ = e^{j120}$$

اگر این اپراتور دو بار متوالی به یک بردار اعمال گردد آنرا به اندازه 240° درجه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت گردش خواهد داد.

رابطه (۸-۳)

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = e^{j240}$$



a^2 و a شکل (۸-۲): نمایش بردارهای a ،

در انتهای بحث مقدمه به عوامل ایجاد جریان‌های نامتقارن در شبکه قدرت بشرح زیر، پرداخته می‌شود:
 ۱- اتصال کوتاه نامتقارن (در خطوط انتقال طویل، دامنه جریان مولفه منفی در این حالت بیشترین مقدار است).

۲- هادیهای باز در شبکه (عملکرد غلط یکی یا بیشتر از قطبهای کلید قدرت بهنگام کلیدزنی و یا قطع یکی از فازها، مصداق این مورداند)

۳- شبکه قدرت نامتقارن (عدم ترانسپوز بودن خطوط انتقال نیرو)

۴- بارهای نامتعادل

صدمات ناشی از میدان مولفه منفی جریان (حاصل از عدم تقارن بار) بر ژنراتور:

در صورتیکه بار الکتریکی تقارن خود را از دست بدهد، جریان ژنراتور به سه مولفه مثبت، منفی و صفر قابل تجزیه است. اثر مولفه مثبت همانند بار متعادل است و مسئله‌ای بوجود نمی‌آورد. مولفه صفر نیز میدان گردان پدید نمی‌آورد. مولفه منفی جریان میدانی در خلاف جهت گردش روتور پدید می‌آورد این میدان نسبت به روتور با دو برابر سرعت سنکرون گردش می‌کند و به همین جهت جریان‌هایی با دو برابر فرکانس سیستم در سطح روتور، حلقه انتهایی نگهدارنده روتور، گوه‌ها و شیار روتور در درجات کمتر در سیم‌پیچ‌های میدان (روتور) القاء می‌نماید و باعث تلفات اضافی در روتور می‌شود. تلفات اضافی ناشی از جریان مولفه منفی استاتور، ابتدا در سطح روتور نمایان می‌شود که باعث برافروخته شدن سطح روتور و افزایش شدید درجه حرارت هسته روتور، و خرابی ایزولاسیون سیم‌پیچی روتور در یک زمان بسیار کوتاه می‌گردد، سپس در گوه‌های شیار^۱ تاثیر گذاشته که اگر مقدار آن زیاد باشد این گوه‌ها را از جای خود کنده و در طول شیار در جهت محوری حرکت داده تا جایی که به حلقه‌های نگهدارنده انتهایی^۲ برخورد کرده و باعث خرد شدن آنها شوند (لازم بذکر است که حلقه‌های نگهدارنده مذکور دارای قیمت بالا و بشکل ارزی تامین می‌شود).

جریان‌های مولفه منفی در دو دسته کلی زیر تقسیم می‌توان نمود:

الف - جریان نامتقارن کوتاه مدت

ب - جریان نامتقارن بلند مدت

جریان نامتقارن کوتاه مدت نظیر اتصال کوتاه یک فاز به زمین است که بعد از مدت کوتاهی ممکن است قطع گردد.

جریان نامتقارن بلندمدت نظیر بارهای نامتقارن هستند که ممکن است برای مدت طولانی ادامه داشته باشد.

این دو پدیده باعث افزایش درجه حرارت و گشتاور نوسانی ضربه‌ای^۳ در محور روتور و هسته استاتور می‌گردند که اثرات حرارتی پدیده کوتاه مدت را در طراحی ژنراتورها به عنوان مبنای در قدرت مشخصه مواد و در شدت تلفات قسمت‌های محیطی روتور قرر می‌دهند.

^۱ - Slot wedges

^۲ - Retaining Ring

^۳ - Pulsating Torques

تحلیل رفتار ژنراتور سنکرون در قبال مولفه منفی جریان:

توزیع جریان مولفه منفی در سطح روتور همانند توزیع جریان در روتور موتورهای قفس سنجایی می‌باشد که این جریان‌ها در طول (محور) روتور جاری شده و در انتها در محیط دایره‌ای، مشابه تعداد قطب‌های استاتور، بسته می‌شوند.

دانسیتته جریان سطح روتور ژنراتور، J_R ، در برهه زمانی ایجاد جریان مولفه منفی استاتور، از رابطه زیر، که توسط کارخانه‌های سازنده پیشنهاد شده است، قابل محاسبه می‌باشد:

$$J_R = \left(\frac{N_P \times F_{AR}}{\sqrt{2D_4}} \right) \times I_2 \quad \text{رابطه (۱-۱۰)}$$

J_R : دانسیته جریان سطح روتور بر حسب جریان موثر بر اینچ

N_P : تعداد قطب

F_{AR} : راکتانس آرمیچر بر حسب پریونیت

D_4 : قطر روتور

I_2 : جریان مولفه منفی استاتور

همانطور که گفته شد ژنراتورها با دو نوع نامتقارنی مواجه هستند یکی جریان‌های ناشی از اتصال کوتاه‌های نامتقارن خارجی مانند اتصال فاز به زمین، فاز به فاز و هر دو فاز با هم و زمین و دیگری جریان‌های بار نامتقارن. در شرایط اتصالی نامتقارن خارجی (خارج از ژنراتور) جریان‌های نامتقارن زیاد بوده و زمان بسیار کوتاه می‌باشد. در صورتیکه برای جریان‌های بار نامتقارن، جریان‌ها معمولاً کمتر از جریان بار نامی بوده و نامتقارنی خیلی کم و زمان بقای این پدیده، زیاد می‌باشد بنابراین یک نوع اختلاف در حفاظت هر کدام از این شرایط وجود خواهد داشت.

۱۰-۱- تحلیل رفتار ژنراتور در قبال خطای نامتقارن (خارجی):

در بررسی مسائل گرم کردن گذرا، یک استاندارد عملی اینست که از اثرات حرارت منتقل شده به طرف محیط خنک کننده صرف نظر گردد و در زمان بسیار کوتاه وقوع خطا (تا پاک شدن آن) با اینکه مقداری حرارت به طرف گاز خنک کننده جاری می‌شود قابل اغماض فرض شده است.

اثرات هدایت حرارت از طریق قسمت‌های فلزی نقش مهمی را در این مسئله بوجود می‌آورد. بعضی فلزات مانند آلومینیوم و مس می‌توانند مقادیر زیادی از حرارت را دورتر از نقاط گرم موضعی منتقل کنند در حالیکه فولادهای غیر مغناطیسی مانند عایق‌های حرارتی عمل می‌کنند. بعنوان مثال در نظر بگیرید اثرات گذرا بر روی ترکیب‌های مختلفی از گوه‌های شیار سیم‌پیچی میراکننده، محاسبه‌ای را برای تعیین توزیع نامی جریان می‌توان انجام داد.

در یک شیار نمونه حاوی گوه‌های آلومینیومی و سیم‌پیچی میراکننده مسی تقریباً کل جریان عبوری از یک گام شیار معین از گوه‌ها عبور خواهد کرد. البته باستثناء مسیرهای رابط بین گوه‌های مجاور، تجزیه و تحلیل انتقال حرارت گذرا نشان می‌دهد که براساس کل حجم گوه‌ها و سیم‌پیچ‌های میراکننده، حرارت تولید شده جذب می‌گردد.

برعکس، با استفاده از گوه‌های فولادی (غیرمغناطیسی) و یک سیم‌پیچ میراکننده مسی، جریان تقریباً به طور مساوی بین گوه‌ها و سیم‌پیچ میراکننده تقسیم می‌شود.

تجزیه و تحلیل انتقال حرارت در این مجموعه نشان می‌دهد که گوه‌های فولادی (غیر مغناطیسی) مانند عایق‌های حرارتی عمل کرده و این امر ناشی از پائین بودن ضریب هدایت حرارتی آنها می‌باشد. بنابراین آنها تقریباً حرارتی را از سیم‌پیچ‌های میراکننده جذب نمی‌کنند. در نتیجه سیم‌پیچ‌های میراکننده با سرعت زیادی گرم می‌شوند که سرعت آن تقریباً برابر است با دو برابر سرعت در حالت استفاده از گوه‌های آلومینیومی و یک سیم‌پیچ میراکننده مسی. این

وضعیت در انتهای گوه‌ها، جایی که اغلب جریان باید به سیم پیچ‌های میراکننده منتقل شود حادث است و تولید حرارت در این مکان بیشتر است.

اثر عایقی فولادی (غیر مغناطیس) مورد مهمی را در طراحی حلقه‌های نگهدارنده انتهایی و سیم پیچ‌های میراکننده تشکیل می‌دهد. نتایج آزمایش نشان داده است که افزایش درجه حرارت در محل مشترک حلقه‌های نگهدارنده انتهایی و سیم‌پیچ میراکننده، مقدار بالایی دارد.

با درک این حقیقت که درجه حرارت زیاد در این نقطه مربوط می‌شود به تولید حرارت و مقاومت اتصال و هر دو پدیده در سطح حلقه‌های نگهدارنده انتهایی، اتفاق می‌افتد، به یک نتیجه مهم می‌توان دست یافت. ابتدا مقایسه اطلاعات به ما اجازه می‌دهد که متوسط درجه حرارت حلقه‌های نگهدارنده انتهایی را محاسبه کنیم و براساس پدیده گذرا، متوسط درجه حرارت به مقدار خیلی زیاد از درجه حرارت سطح حلقه‌های نگهدارنده کمتر خواهد شد چون انبساط حلقه‌های نگهدارنده انتهایی فقط تابعی از درجه حرارت متوسط است، این محاسبات نشان می‌دهد که از دست رفتن سلامت حلقه‌های نگهدارنده انتهایی به عنوان یک عامل، بیشتر از محدودیت‌های دیگر ظاهر می‌شود که محدودیت‌های دیگر شامل اضافه ولتاژ و فساد تدریجی ماده تشکیل دهنده آن می‌باشد.

یک عامل مهم دیگر که می‌بایستی به اطلاعات جمع شده از طریق آزمایش اضافه شود عبارتست از اثر مولفه DC جریان استاتور در جاری شدن جریان با فرکانس نامی روی سطح روتور نشان داده شده است که ثابت‌های زمانی چنین جریان‌هایی بسیار کوتاه است، اما مقادیر اولیه برای حالت جابجایی (آفست) کامل بسیار زیاد است. با اینکه ضریب $\sqrt{2}$ بیشتر برای کم کردن اثر مولفه با فرکانس نامی بوسیله حساب کردن ضریب نفوذ^۴ می‌باشد.

استانداردهای جدید پیشنهادی لازم می‌داند که ژنراتور می‌بایستی اثرات حرارتی خطاهای نامتعادل را در ترمینال‌های خود تحمل نماید، این اثرات شامل مولفه‌های DC القاء شده نیز می‌باشند.

بعلت پیچیدگی مسائل مربوط به انتقال حرارت، کارخانه‌های سازنده ژنراتور جهت پی بردن به اثرات ناشی از حرارت مؤلفه منفی مبادرت به آزمایش‌های گسترده‌ای کرده‌اند، برای هر یک از ماشین‌های آزمایش شده، سعی کرده‌اند که در طراحی، قدرت تحمل ژنراتورها را در برابر جریان‌های ناشی از مولفه منفی بهبود بخشند. عواملی مانند حلقه‌های اتصال کوتاه در انتهای روتورها، مواد مختلفی که در ساخت گوه‌های شیار بکار برده می‌شوند. تغییراتی در طراحی سیم پیچ‌های میراکننده در شیارهای سیم پیچ و حلقه‌های نگهدارنده انتهایی و اثرات میراکننده روی قطب مورد ارزیابی قرار گرفته است و هنگامیکه بهبودهایی بدست می‌آید این روش‌ها را در طراحی بهینه ماشین منظور می‌دارند.

در شرایط اتصال نامتقارن، گرم شدن کوتاه مدت ژنراتور مورد توجه می‌باشد، زیرا در این حالت تلف گرمائی ناچیز بوده و گرمای ایجاد شده کلا در ظرفیت حرارتی روتور ذخیره خواهد شد.

۱-۱-۱- ظرفیت حرارتی ماشین:

با عبور جریان الکتریکی از هادیها مقداری حرارت در آنها بوجود می‌آید که این حرارت با مجذور جریان، مقدار مقاومت هادی همچنین با زمان استمرار این جریان در هادی رابطه مستقیم دارد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$W = I^2 R t \quad \text{ژول} \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

بطور عادی در هنگام بهره‌برداری از ژنراتورها این حرارت بوجود می‌آید، البته با طراحیها مناسبی که روی ژنراتورها بعمل می‌آید حرارت بوجود آمده برای حالت عادی کار ماشین را ایتیمم می‌کنند ولی متاسفانه شرایطی در سیستم بوجود می‌آید که دامنه جریان عبوری از ماشین را بمراتب بالاتر از حد تحمل حرارتی ماشین برده که علاوه بر آنکه تلفات اضافی بوجود می‌آورد در برخی موارد باعث آسیب جدی ماشین می‌گردد. یکی از این موارد بوجود آمدن جریان‌های مؤلفه منفی در سیستم است. تلفات اضافی بوجود آمده در روتور به مقدار جریان مولفه یا درصد نامتعادلی بستگی دارد و با $I_2^2.t$ متناسب است. این حاصل عبارت، ظرفیت حرارتی ماشین (روتور) نامیده شده که برای هر ماشین مقدار ثابتی است.

⁴ - By accounting for depth of Penetration

رابطه (۳-۱۰)

$$K = \int_0^T i_2^2(t) dt = I_2^2 T$$

در معادله فوق $i_2(t)$ مولفه منفی جریان بصورت تابعی از زمان و K یک مقدار ثابت است که با ظرفیت حرارتی روتور ژنراتور متناسب بوده و برای ژنراتورهای مختلف دارای مقادیر متفاوتی می‌باشد و بصورت یک معیار برای هر ژنراتور در نظر گرفته می‌شود.

T ، در معادله فوق، مدت زمانی است که ژنراتور می‌تواند با بار نامتقارن بکار خود ادامه دهد بدون اینکه درجه حرارتش از مقدار مجاز فراتر رود و I_2 مولفه منفی جریان بر حسب پریونیت می‌باشد و این رابطه فقط در بارهائیکه درصد نامتعادلی زیاد باشد صادق است. بیان نمودن جریان مولفه منفی بصورت تابعی از زمان $i_2(t)$ به سادگی مقدور نمی‌باشد و بستگی به شرایط سیستم، محل‌های خطا و در مدار و یا خارج مدار بودن ولتاژ رگولاتور (AVR) دارد، در صورتیکه I_2 ممکن است بصورت تقریبی بدست بیاید. مقدار جریان مولفه منفی معادل می‌تواند نزدیک به مقداری باشد که از معادله زیر بدست می‌آید:

$$I_2 = I_{2s} + 0/368(I_{2f} - I_{2s}) \quad \text{رابطه (۴-۱۰)}$$

در رابطه فوق I_{2f} جریان مولفه منفی گذرا و I_{2s} جریان مولفه منفی تداوم یافته اتصالی می‌باشد. مقدار I_{2f} جاری شده در ژنراتور را زمانی می‌توان بدست آورد که جهت محاسبه اتصال فاز به فاز خارجی (خارج از ژنراتور) از راکتانس گذرا برای تمام منابع استفاده شود. همچنین مقدار I_{2s} جاری شده در ژنراتور را نیز زمانی می‌توان بدست آورد که جهت محاسبه اتصال فاز به فاز خارج از ژنراتور از راکتانس سنکرون برای تمام منابع قدرت استفاده شود (بارهای موازی نیز در نظر گرفته می‌شود).

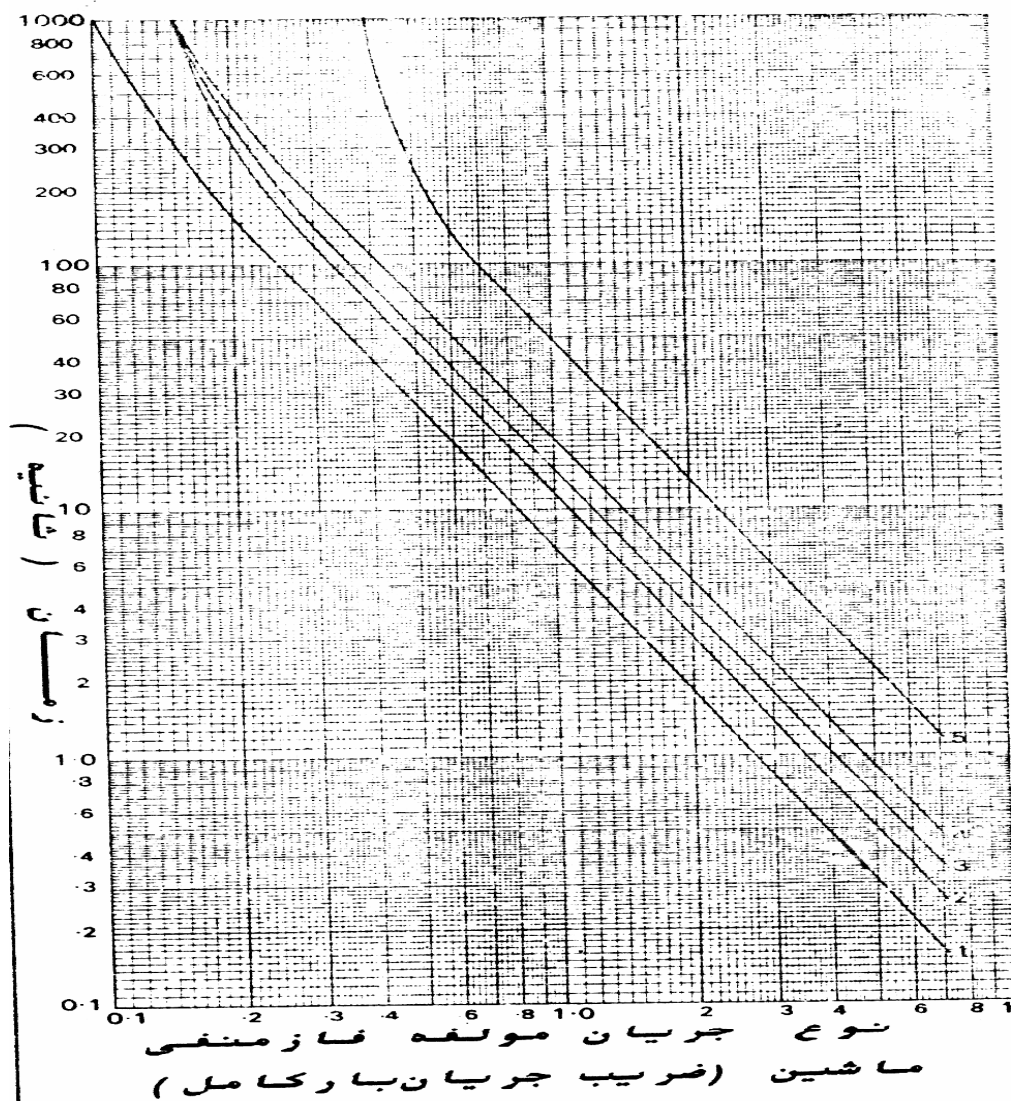
هنگامیکه ژنراتور مجهز به تنظیم کننده ولتاژ (AVR) باشد، در هنگام اتصالی خارجی، تحریک آن به سقف خودش می‌رسد. (وقت کافی برای این عمل وجود دارد) و معادله (۳-۱۰) نشان می‌دهد که در این صورت I_2 نزدیک خواهد بود به جریان مولفه منفی جاری شده برای یک اتصالی فاز به فاز خارجی که بر مبنای استفاده از راکتانس سنکرون برای تمام منابع قدرت، ولتاژ باس بی‌نهایت برابر با یک پریونیت و ولتاژ داخلی ژنراتور که از سقف تحریک و حذف کلیه بارها نتیجه شده، محاسبه می‌شود.

با در نظر نگرفتن منحنی‌های اشباع ژنراتور، ولتاژ داخل ژنراتور برای سقف تحریک ممکن است معادل با $3/5$ پریونیت در نظر گرفته شود البته این فرض قدری زیاد بوده بطوریکه مقدار واقعی را می‌توان بین 3 تا $3/5$ پریونیت در نظر گرفت. با توجه به گذرا بودن I_{2f} و تاخیری که در عمل رله بعلت دلایلی که بعداً ذکر می‌شود، وجود دارد، برای محاسبه $K = I_2^2 t$ منظور از I_2 را می‌توان همان جریان I_{2s} دانست (بعد از سپری شدن حالت گذرا I_{2f} برابر با I_{2s} می‌گردد و با توجه به معادله (۳-۱۰) نتیجه خواهد شد $I_2 = I_{2s}$).

مقدار نامی جریان ترتیبی منفی قابل تحمل در ژنراتورهای قطب برجسته که معمولاً در نیروگاههای آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند عموماً بسیار بزرگتر از ژنراتورهای روتور استوانه‌ای است. بدیهی است این مقدار بستگی مستقیم به نوع سیستم تهویه ماشین‌ها دارد که در عین حال به راندمان سیم‌پیچ میدان وابسته خواهد شد. در این مورد استاندارد ANSI C50-13 پیشنهادهایی داده است که در ضمیمه [۱-۱] آورده می‌شود.

در شکل (۱-۱۰) نمونه‌ای از منحنی‌های قابلیت تحمل ماشین برای جریان مؤلفه منفی و استانداردهای مربوطه آورده شده است که ژنراتورها با سیستم تهویه مختلف را نشان می‌دهد.

در شرایط اتصالی سیستم، گرم شدن کوتاه مدت ژنراتور مورد توجه قرار می‌گیرد در این مورد تلف گرمایی ناچیز بوده و گرمای ایجاد شده تماماً در ظرفیت حرارتی روتور ذخیره می‌گردد.



نوع ماشین	نوع تهویه اخترک کننده	شماره منحنی	دائمی I_{22}^2 % F.L.C.	$I_{22}^2 t$ مقدار
توربو آلترنا تور	مستقیم هیدروژن 30 lb / sq"	1	10	7
توربو آلترنا تور	معمولی هیدروژن 30 lb / sq"	2	15	12
توربو آلترنا تور	معمولی هیدروژن 15 lb / sq"	3	15	15
توربو آلترنا تور	معمولی هوای هیدروژن 0.5 lb / sq"	4	15	20
ماشین نوع قطب برجسته	معمولی هوا	5	40	60

شکل ۱-۱۰: نمونه‌ای از منحنی‌های قابلیت تحمل ماشین الکتریکی برای جریان مولفه منفی (ژنراتورها با سیستم تهویه مختلف)

۲-۱۰- تحلیل رفتار ژنراتور در قبال بار نامتقارن :

جریان‌های بار نامتقارن کمتر از جریان بار نامی بوده و تولید گرمای آنها به جریان ناتهی‌دالی بار بستگی دارد و لذا برای هر ژنراتور، یک مقدار نامی جریان بار نامتقارن با عنوان جریان مولفه منفی پیوسته می‌توان نسبت داد، که در زمان طولانی ژنراتور می‌تواند آنرا تحمل نماید. حدوداً این مقدار ۵٪ تا ۱۵٪ مولفه مثبت جریان نامی ژنراتور می‌تواند باشد و با I_{2c} نشان داده می‌شود.

این جریان مولفه منفی پیوسته (I_{2c}) در ژنراتور ایجاد تلف گرمایی می‌نماید. برای گرمای ایجاد شده در زمانی بیش از چندین ثانیه باید تلف گرمایی نیز در نظر گرفته شود از ترکیب مقادیر نامی گرمای ایجاد شده بطور پیوسته و در زمان کوتاه، مشخصه حرارتی کل را به صورت زیر نمایش می‌دهند:

رابطه (۵-۱۰)

$$M = \frac{I_2}{I_{2R}} = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-(I_{2R}^2 t) / K}}}$$

که در آن I_{2R} مقدار نامی جریان ترتیبی منفی بطور پیوسته بر حسب پریونیت می‌باشد. قابل توجه است که برای روش‌های خنک‌کنندگی موثرتر در ژنراتور مقدار نامه کمتری از مولفه منفی را می‌توان به ژنراتور اعمال نمود. بطور مثال توربو ژنراتوری که با هوا خنک می‌گردد I_{2c} برابر با ۱۵٪، برای توربو ژنراتوری که بصورت موثرتری با هیدروژن خنک می‌شود I_{2c} برابر با ۱۰٪ و برای ژنراتورهای بیشتر از ۸۰۰ MVA که از سیستم خنک‌کن بسیار موثری از هیدروژن برخوردار می‌باشد فقط ۵٪ است.

علاقمندان جهت اطلاع از میزان قدرت تحمل جریان نامتعادل در ژنراتورها بصورت دائمی [استاندارد ANSI C50-13] به ضمیمه [۱-۱] مراجعه نمایند.

رابطه (۳-۱۰) فقط در بارهاییکه درصد ناتهی‌دالی زیاد باشد صادق است و در بارهای کم نامتعادل (درصد نامتعادلی کم) K به میزان خنک‌کنندگی بستگی دارد. درصد نامتعادلی بار از رابطه (۶-۱۰) بدست می‌آید.

رابطه (۶-۱۰)

$$S \% = (I_2 / I_n) \times 100$$

که در آن I_n جریان نامی ماشین و I_2 جریان مولفه منفی می‌باشد.



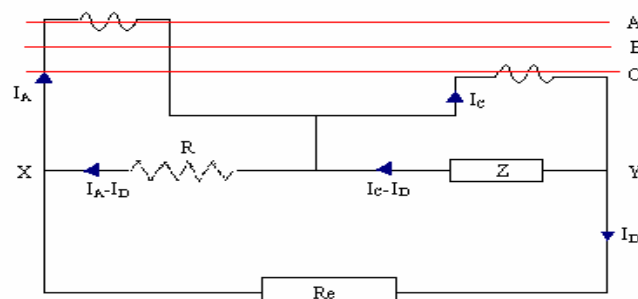
فیلترهای مولفه منفی :

برای حفاظت ژنراتور در قبال خطرات ناشی از عدم تقارن بار یا خطاهای نامتقارن سیستم که موجب پدید آمدن جریان مولفه منفی می‌شود، از رله مولفه منفی استفاده می‌گردد این رله‌ها عموماً از نوع جریان زیاد می‌باشند. بدیهی است آشکار کردن مولفه منفی جریان با بکار بردن فیلتر مولفه منفی صورت می‌گیرد که در حقیقت این قسمت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است لذا تاکنون سعی شده است فیلترهایی ساخته شود که علاوه بر دقت در امر آشکار ساختن جریان مولفه منفی از عبور جریان‌های مولفه ترتیبی مثبت و صفر جلوگیری بعمل آورد که با رشد تکنولوژی این فیلترها نیز تکامل یافته و به حد مطلوبی رسیده است و از نوع الکترومکانیکی به رله‌های الکترومغناطیسی و الکترواستاتیکی که از روش‌های الکترونیکی در آنها استفاده شده است و در حال حاضر رله‌های میکروپروسسوری در طرح‌های نیروگاهی دست یافته‌اند.

از نظر الکتریکی این فیلترها، در دو نوع ولتاژی (فیلتر مولفه منفی ولتاژ) و جریانی (فیلتر مولفه منفی - جریان) ساخته شده‌اند برای فیلتر نمودن مولفه منفی، مدارهای متعددی وجود دارد که بطور نمونه مدار مذکور در ادامه آورده می‌شود:

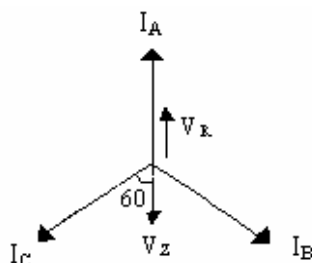
۱۱-۱- مدار اول فیلتر مولفه منفی :

در شکل (۱۱-۱) توسط یک فیلتر، مقدار مولفه منفی حاصله از رله گذشته و باعث عملکرد آن می‌شود. مدار این فیلتر تشکیل شده است. از دو C.T. (ترانسفورماتور جریان) که یکی از C.T.ها بر روی فاز A نصب گردیده و مقاومت R را تغذیه می‌نماید و C.T. دیگر بر روی فاز C نصب گردیده و امپدانس Z که مقدار عددی آن برابر با مقاومت R و ضریب قدرت آن ۰/۵ می‌باشد. را تغذیه می‌نماید. در این حالت افت ولتاژ در شاخه شامل امپدانس Z از جریان همان شاخه به اندازه ۶۰ درجه جلو می‌افتد.

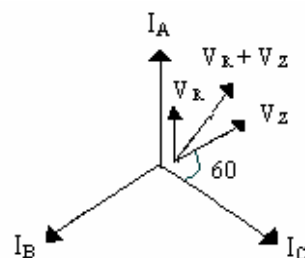


شکل (۱۱-۱) : مدار اول فیلتر مولفه منفی

جهت بررسی ساده برداری شکل (۱۱-۱)، از جریان عبوری رله (I_D) صرف‌نظر می‌گردد اما در هنگام بررسی نقش رله در مدار، I_D در نظر گرفته خواهد شد.



شکل (۱۱-۲) : مولفه مثبت مدار اول



شکل (۱۱-۳) : مولفه منفی مدار اول

با توجه به شکل (۱۱-۲)، در جریان‌های مولفه مثبت، ولتاژهای فاز A و C در خلاف جهت هم بوده و مجموعشان صفر می‌گردد.

در جریان‌های مولفه منفی، طبق شکل (۱۱-۳)، بین نقاط X و Y ولتاژ $V_R + V_Z$ وجود می‌آید و این امر نشان می‌دهد که رله نصب شده بین نقاط Y, X فقط به مولفه منفی پاسخ می‌گوید.

۱۱-۱-۱- تاثیر مقاومت داخلی رله در مدار فیلتر اول :

با توجه به شکل (۱۱-۱) و در نظر گرفتن جریان I_D و مقاومت رله (R_e) می‌توان نوشت:

$$\text{رابطه (۱۱-۱)} \quad V_{xy} = (I_A - I_D)R + (I_C - I_D)Z = I_D.R_e$$

با توجه به روابط (۱۱-۲):

$$\text{رابطه (۱۱-۲)} \quad I_A = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_C = aI_{a1} + a^2I_{a2} + I_{a0}$$

و جایگزینی آنها در رابطه (۱۱-۱)، چنین حاصل می‌شود:

$$\text{(۱۱-۳)} \quad (I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} - I_D)R + (aI_{a1} + a^2I_{a2} + I_{a0} - I_D)Z = I_D.R_e$$

$$I_{a0}(R + Z) + I_{a1}(R + aZ) + I_{a2}(R + a^2Z) = I_D(R_e + Z + R)$$

با توجه به اینکه اکثر ترانسفورماتور قدرت ژنراتورها به صورت $Y - \Delta$ می‌باشند، مولفه صفر جریان موجود در ناتعادلی، بطرف فشار ضعیف ترانس قدرت (طرف ژنراتور) نمی‌تواند منتقل گردد. زیرا اتصال مثلث طرف فشار ضعیف ترانسفورماتور، مسیر بسته‌ای برای جریان مولفه صفر وجود می‌آورد که این جریان مولفه صفر از اتصال مثلث خارج نمی‌شود.

حتی اگر نامتقارنی بر اثر اتصال فاز به زمین و در فاصله بین ژنراتور و ترانسفورماتور وجود آید، بعلت اینکه اکثر ژنراتورها از طریق امیدانس بزرگی زمین می‌شوند. این مولفه صفر بسیار ناچیز و قابل صرفنظر کردن است. لذا در محاسبات می‌توان $I_{a0} \approx 0$ در نظر گرفت.

همچنین با توجه به اینکه مقدار امیدانس Z برابر با R و با ضریب قدرت ۰/۵ می‌باشد، نتیجه می‌شود:

$$\text{(۱۱-۴)}$$

$$R + aZ = R + aR \angle 60 = R + R \angle 180 = 0$$

با قرار دادن مقدار (۱۱-۴) در رابطه (۱۱-۲) و نکته فوق‌الذکر، رابطه (۱۱-۳) چنین ساده می‌گردد:

$$I_{a2}(R + a^2Z) = I_D(R_e + Z + R)$$

و از آنجا

$$\text{(۱۱-۵)}$$

$$I_D = \frac{R + a^2Z}{R_e + Z + R} I_{a2}$$

و با توجه به اینکه $Z = R \angle 60$ می‌باشد، رابطه (۱۱-۶) چنین می‌شود:

$$\text{(۱۱-۶)}$$

$$I_D = \frac{R + R \angle 300}{R_e + R \angle 60 + R} I_{a2}$$

با فرض مقدار (اهم) $R = 5$ و با استفاده از رابطه (۱۱-۶) در دو حالت $R_e = 0.5$ و تقریباً صفر بترتیب I_D برابر $(0/95 \angle -58/42) I_{a2}$ و $(1 \angle -60) I_{a2}$ می‌شود.

بنابراین نتیجه می‌شود که مقاومت رله بر مقدار جریان مولفه منفی عبوری از رله تاثیر می‌گذارد.

۱۱-۲- فیلتر هسته آهنی مولفه منفی (مدار دوم) :

با استفاده از رابطه منفی جریان در رابطه (۸-۱) و جایگزینی مقدار a و a^2 چنین حاصل می‌گردد.

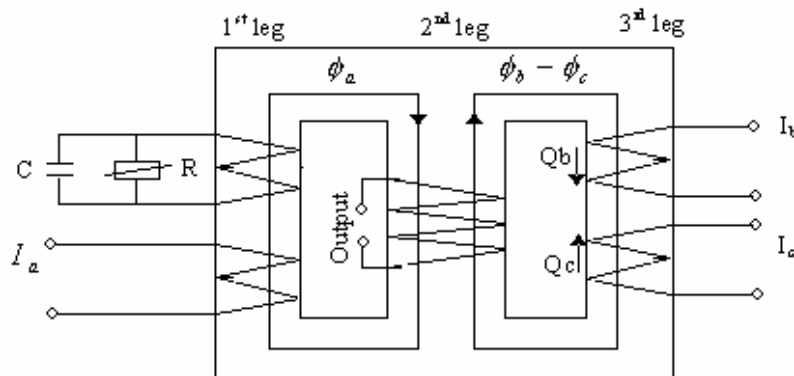
$$\begin{cases} I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c) \\ a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \end{cases} \Rightarrow I_2 = \frac{1}{2} \left[(I_a - I_o) - j\frac{1}{\sqrt{3}}(I_b - I_c) \right] \quad (11-7)$$

با توجه به استدلال در بخش (11-1)، I_o در طرف ژنراتور تقریباً صفر است، رابطه (11-7) چنین ساده می شود:

$$I_2 = \left[\frac{1}{2} I_a - j\frac{1}{\sqrt{3}}(I_b - I_c) \right] \quad (11-8)$$

جهت تحقق عملی رابطه (11-8) از روش زیر استفاده می گردد:

یک هسته آهنی که دارای سه بازو بوده و یکی از بازوهای آن دارای فاصله هوایی می باشد در شکل (11-4) مشخص شده است. بر روی بازوی اول کوپل مربوط به جریان فاز a (I_a) پیچیده شده و بر روی همان بازو کوپل دیگری که متصل به مقاومت R و خازن C بوده، قرار می گیرد. در این بازو، شاری ایجاد می شود که از جریان I_a به اندازه 90° درجه عقب است. این شار باعث زیاد بودن رلوکتانس مغناطیسی بازوی سوم (داشتن فاصله هوایی) از بازوی وسط عبور خواهد نمود. دو کوپل نیز بر روی بازوی سوم که دارای فاصله هوایی می باشد پیچیده شده اند بطوریکه جریان های فاز b (I_b) و فاز c (I_c) در جهت مخالف هم به این بازو اعمال می گردند. بنابراین، این بازو هم تولید شار مغناطیسی هم فاز با $I_b - I_c$ خواهد نمود که قسمت اعظم این شار باعث اینک در بازوی اول، یک کوپل متصل شده به یک مقاومت کم وجود دارد، از بازوی وسط هسته عبور خواهد نمود.



شکل (11-4): فیلتر هسته آهنی مولفه منفی

در نتیجه شارهای مغناطیسی مربوط به I_a و $I_b - I_c$ از بازوی وسط عبور کرده و ولتاژی متناسب با مجموع این شارها، در کوپل پیچیده شده بر روی بازوی وسط هسته القاء خواهد نمود.

با توجه به شکل (11-4) شار ϕ_a به اندازه 90° درجه از جریان I_a عقب می باشد (توسط مقاومت R و خازن C ، کاملاً قابل تنظیم است) همچنین شارهای ϕ_b و ϕ_c با جریان های I_b و I_c همگاز بوده ولی اندازه این شارها، ناشی از اثر فاصله هوایی واقع در بازوی سوم هسته خواهد بود. بطوریکه با در نظر گرفتن $|I_a| = |I_b| = |I_c|$ این فاصله هوایی سبب می گردد که رابطه بین اندازه شارهای مغناطیسی ϕ_b و ϕ_c با شار ϕ_a بصورت

$$\phi_a : \phi_b : \phi_c = \sqrt{3} : 1 : 1 \text{ بدست می آید. یعنی اندازه شار } \phi_b \text{ و } \phi_c \text{، برابر } \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ برابر شار } \phi_a \text{ می باشد، واضح}$$

است که با تولید این روابط بین شارهای مغناطیسی در هسته، می‌توان به معادله (۸-۱۱) جریان مولفه منفی دسترسی پیدا نمود.

۱۱-۳- فیلتر الکترونیکی مولفه منفی جریان (و رله مذکور)

در این رله ابتدا هرگونه جریان ترتیبی صفر توسط ترانسفورماتورهای کمکی از گروه ستاره-مثلث، که در خود رله قرار دارد، حذف می‌گردند. این ترانسفورماتورها در سیم‌پیچ اولیه خود دارای متغیری بوده تا محدوده تنظیمی مطابق با مقادیر نامی جریان ترتیبی منفی ژنراتور معمولی ایجاد شود.

جریان‌های ثانویه ترانسفورماتور کمکی به شبکه‌ای تغذیه شده که در این حالت شامل امپدانس‌های خازنی و مقاومتی بوده و تغییر فاز ۶۰ درجه‌ای یکی از بردارهای جریان در آن ایجاد گردد، با اتصال شبکه ترتیبی با مدار شکل دهنده‌ای که شامل مقاومت‌ها، دیودهای زنر بوده و به صورت پتانسیومتر غیر خطی عمل کرده و طوری طراحی گشته که رابطه قانونی مجذوری را ایجاد نماید و یک خروجی متناسب با مجذور جریان ترتیبی منفی بدست آید.

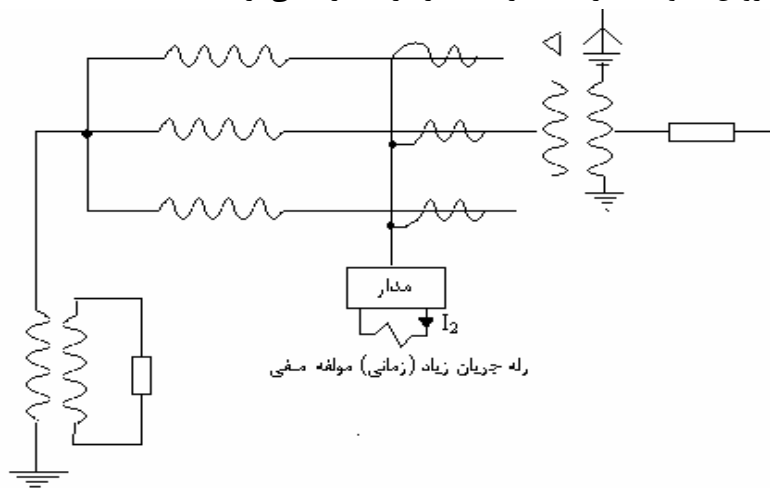
این روند با انتگرال‌گیری و مدارهای حساس به دامنه دنبال شده و در مرحله آخر سیگنال ایجاد شده یک رله آرمیچری لولائی را بکار انداخته تا اتصالات مربوطه فرمان قطع را بوجود آورند.

در رله میکروپروسسوری نیز با طراحی مدارات مربوطه و پروسسوری‌های مورد نیاز، با فیلتر نمودن مولفه منفی، به رابطه قانون مجذوری تحقق می‌بخشد.



حفاظت مولفه منفی ژنراتور و مشخصه آن :

رله مولفه منفی در قبال شرایط عدم تعادل خارجی (بار یا اتصال کوتاه) که امکان آسیب به ماشین الکتریکی باشد، از ژنراتور حفاظت می‌کند. جهت تحقق این امر، خروجی فیلتر مولفه منفی را می‌توان به یک رله جریان زیاد با مشخصه زمانی معکوس اعمال کرد (شکل ۱-۱۲) که مشخصه زمان جریان آن به صورت $K = I_2^2 \times t$ باشد در این حالت می‌توان مشخصه رله را طوری تنظیم کرد که با مشخصه حرارتی هر ماشینی بخوبی هماهنگ شود. جهت تنظیم رله‌های مولفه منفی با توجه به مشخصات حرارتی ژنراتور و مشخصات رله، روش‌های مختلفی ارائه گردیده است که این روش‌ها توسط کارخانه سازنده، همراه رله‌ها ارائه می‌گردند.



رله جریان زیاد (زمانی) مولفه منفی

شکل (۱-۱۲) : حفاظت مولفه منفی (جریان) ژنراتور

در شکل (۱۲-۲)، مشخصه رله و ظرفیت حرارتی ماشین الکتریکی مشخص شده است. در این شکل، مشخصه رله، مشخصه حرارتی ژنراتور را در یک پریونیت جریان مولفه منفی قطع نموده است، ولی در مقادیر زیاد جریان مولفه منفی، مشخصه رله اساساً بصورت پارالل و یک مقدار جزئی کمتر از مشخصه ژنراتور در نظر گرفته شده است. این روش یک حاشیه اطمینان مناسب را بین دو مشخصه بوجود آورده است. در شکل (۱۲-۲)، مشخصه رله برای دو ژنراتور با k های مجاز ۳۰ و ۹۰ نشان داده شده است که تنظیم صفحه زمان نما^۵ (T.D. = TIME DIAL) برای این ثابت‌ها (ظرفیت حرارتی ماشین)، بترتیب ۴ و ۱۱ می‌باشد. حفاظت مشابه برای دیگر ماشین‌های الکتریکی با ثابت‌های مختلف بوسیله تنظیم T.D. بدست می‌آید.

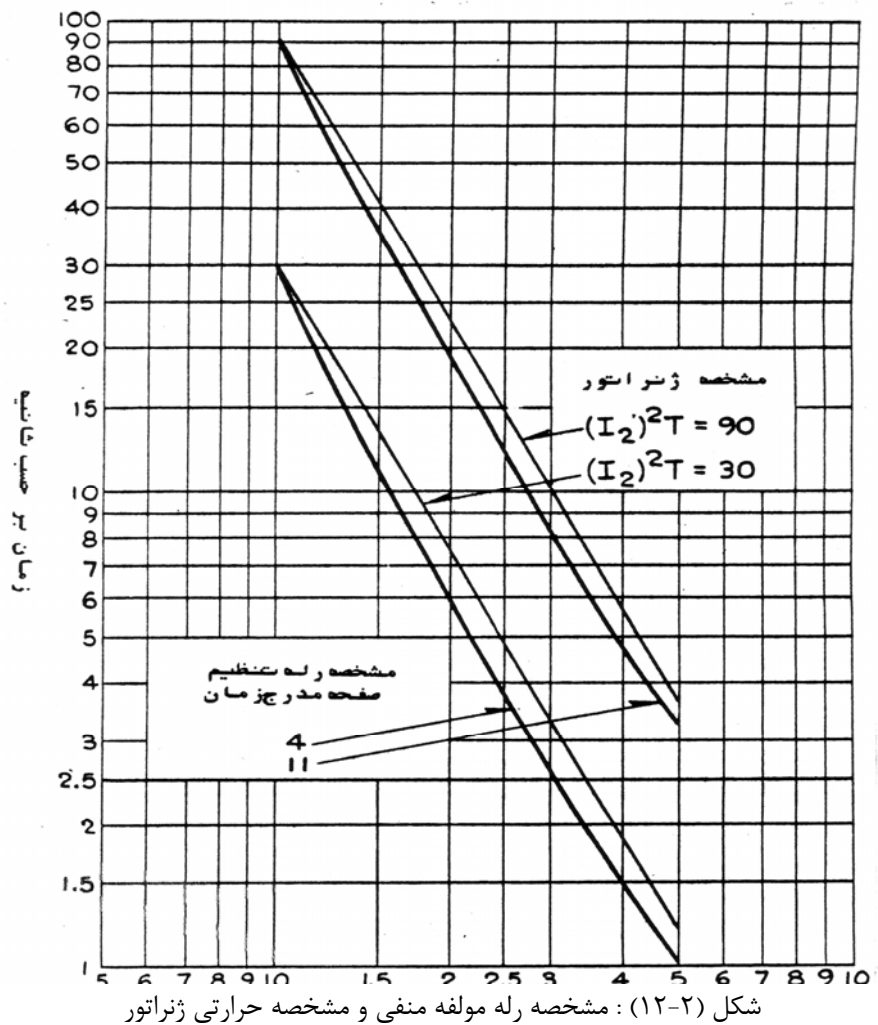
از آنجائیکه منبع ناتعادلی در سیستم (قدرت) قرار داشته و بر تمام ژنراتورهای نزدیک محل ناتعادلی تاثیر می‌گذارد قبل از برطرف شدن چنین شرایطی، تا مادامیکه ژنراتور در معرض خطر آسیب‌دیدگی قرار نگرفته باشد، نباید آنرا از شبکه جدا نمود. بنابراین حفاظت ناتعادلی بار باید دارای مشخصه تاخیر حتی‌الامکان نزدیک به مشخصه حرارتی ماشین باشد تا حتی‌المقدور قبل از لزوم خاموشی کامل، به پرسنل بهره‌بردار فرصت داده شود تا محل عیب را پیدا کرده و درصدد رفع آن برآیند. اگر در ابتدای ناتعادلی بار افراد بهره‌بردار با اعلام خبر مطلع نشوند جهت برطرف کردن این عدم تعادل از چنین زمان تاخیری متاسفانه نمی‌توان سود جست.

بنابراین حفاظت مورد بحث باید دارای جنبه اعلام خبری (هشدار) بوده که در تنظیمی برابر اندکی کوچکتر از عنصر فرمان قطع عمل کند و برای اینکه از اعلام خبر غیر ضروری برای آن دسته از اتصالاتی‌های سیستم که به روش معمول سریعاً برطرف می‌شوند، جلوگیری بعمل آید یک تاخیر زمان نیز باید برای آن در نظر گرفته شود.

بطور معمول، حفاظت جداگانه‌ای بعنوان پشتیبان رله جریان زیاد (زمانی) مولفه منفی ژنراتور بکار نمی‌رود چون در برخی کاربردها، این رله خودش وظیفه پشتیبانی را بعهده دارد. همچنین رله‌های اتصال زمین و جریان زیاد ژنراتور و

^۵ - صفحه‌ای است که بر حسب زمان مدرج شده و محدوده حرکت عقربه رله، بر روی این صفحه قابل تنظیم است (در رله‌های الکترومکانیکی)

سیستم انتقال و رله گذاری سیستم قدرت، درجاتی از حفاظت پشتیبان جریان نامتعادل ژنراتور را فراهم می‌آورد. خطاهای فاز به فاز در ترمینال ژنراتور و یادر سیم‌پیچ‌های استاتور در داخل ژنراتور، توسط باز شدن کلید اصلی ژنراتور نمی‌تواند پاک شود. این خطا توسط حفاظت جریان گردنده تشخیص داده می‌شود و رله مولفه منفی بعنوان پشتیبان عمل می‌کند.



منطق قطع (تریپ) ژنراتور توسط رله مولفه منفی:

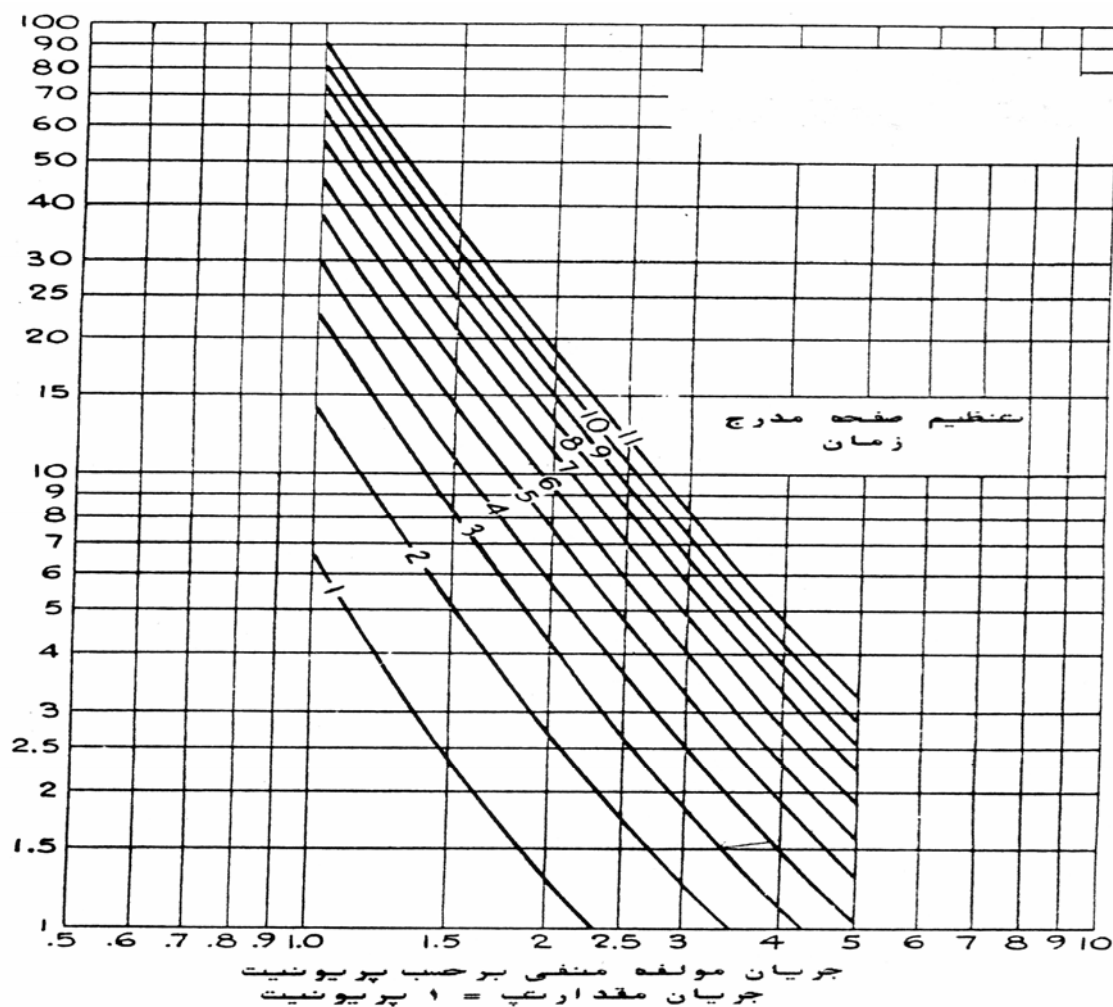
رله مولفه منفی، فرمان قطع به کلید اصلی ژنراتور را صادر می‌کند. اگر دستگاههای کمکی ماشین الکتریکی اجازه دهند، این نوع قطع کردن ارجحیت دارد که تحت این شرایط کارها انجام گیرند. با استفاده از این روش می‌توان سنکرون کردن مجدد واحد را بعد از رفع شرایط عدم تعادل مجدداً برقرار ساخت. اگر دستگاههای کمکی ماشین الکتریکی اجازه ندهند که ماشین با نحوه قطع فوق عمل کند در اینصورت رله مولفه منفی می‌بایستی محرک اولیه ماشین الکتریکی (توربین) را نیز همراه با تحریک ژنراتور قطع کند.

فصل ۱۴

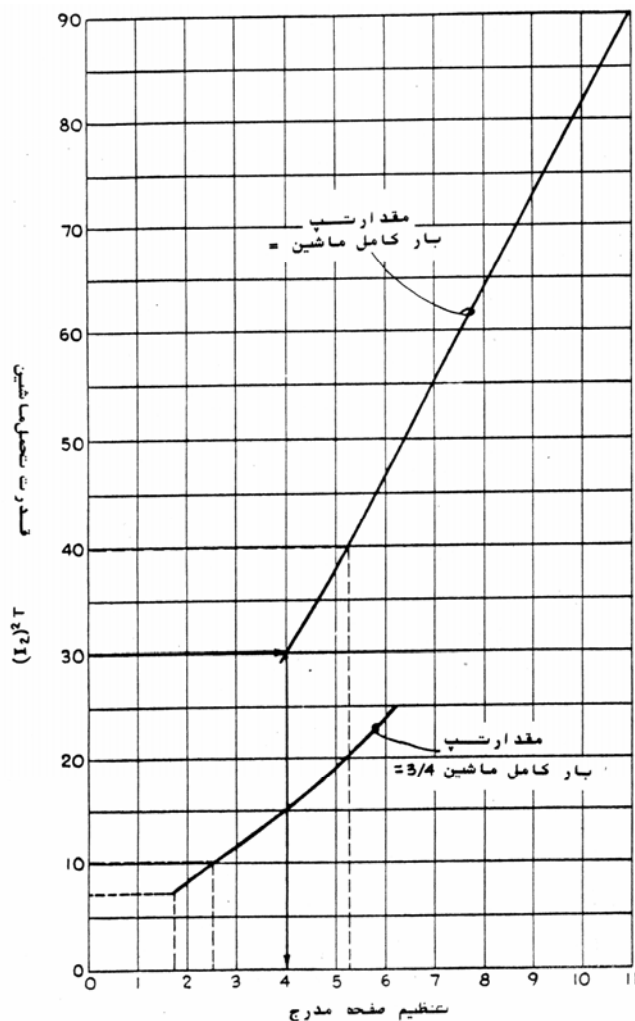
نحوه تنظیم رله مولفه منفی ژنراتور :

در شکل (۱۴-۱)، مشخصه رله با T.D. های مختلف، با توجه به زمان و مقدار جریان مولفه منفی بر حسب پریونیت نشان داده شده است.

سازنده رله برای حساسیت بهتر، برای مقادیر ثابت K (ظرفیت حرارتی ژنراتور) بین ۳۰ تا ۹۰، جهت تنظیم رله از جریان بار کامل ماشین الکتریکی استفاده نموده و برای K های پائین تر از ۲۵، از تنظیم تپ (TAP) رله معادل با $\frac{3}{4}$ جریان بار کامل استفاده کرده است، که در شکل (۱۴-۲) مشخص می‌باشد.



شکل (۱۴-۱): مشخصه نمونه رله مولفه منفی با T.D. های مختلف



شکل (۲-۱۴) : مشخصه حرارتی ژنراتور براساس تنظیم زمانی رله

به بیانی دیگر، این سازنده جهت ژنراتورهای با قدرت تولیدی بالا (که بصورت موثرتری خنک می‌گردند) تنظیم $\frac{3}{4}$ جریان بار کامل را مورد نظر داشته و برای ژنراتورهای با قدرت تولیدی کمتر، تنظیم جریان بار کامل را توصیه می‌نماید. با توجه به شکل (۲-۱۴)، مربوط به منحنی بار کامل و $\frac{3}{4}$ بار کامل، تنظیم صفحه زمان نما (TIME DIAL) مطلوب بدست می‌آید.

با بیان دو مثال کاربرد منحنی‌های فوق و نحوه تنظیم رله مولفه منفی در بار کامل و $\frac{3}{4}$ بار کامل مشخص می‌گردد:

مثال یک - با استفاده از جریان بار کامل :

در یک توربو ژنراتور ۳۵MVA، ۱۱Kv، دارای ترانس جریان $\frac{3000}{5}$ ، مقدار $I_2^2 t = 30$ می‌باشد. در

این حالت جریان مولفه منفی بر حسب پریونیت جریان استاتور در KVA نامی بیان می‌گردد.

$$I = \frac{35000}{11 \times \sqrt{3}} = 1837 \quad \text{جریان بار کامل (آمپر)}$$

$$\frac{1837 \times 5}{3000} = 3/06 \quad \text{جریان بر حسب آمپر در ثانویه ترانسفورماتور جریان}$$

که میتوان جریان ۳ آمپر در نظر گرفت (که معادل یک پریونیت است).

با توجه به $I_2^2 t = 30$ و شکل (۱۴-۲) مقدار (TIME DIAL) T.D. برابر با ۴ انتخاب می‌گردد، با مراجعه به شکل

(۱۲-۲) و در نظر داشتن $T.D. = 4$ مشاهده می‌گردد که زمان عملکرد رله برای یک جریان مولفه منفی به مقدار ۴/۵

(۱/۵) پریونیت، برابر با ۱۱ ثانیه می‌باشد.

در صورتیکه زمان عملکرد رله برای یک جریان مولفه منفی ۹ آمپری (۳ پریونیت)، برابر با ۲/۵ ثانیه خواهد گردید.

مثال دو - با استفاده از $\frac{3}{4}$ جریان بار کامل :

یک توربوژنراتور ۷۶۰ MVA، ۲۰ Kv با ترانسفورماتور جریان $\frac{25000}{5}$ دارای $I_2^2 t = 10$ می‌باشد، جهت تنظیم رله مولفه منفی آن به قرار زیر عمل می‌گردد:

ابتدا با توجه به منحنی پائینی شکل (۱۲-۲) [منحنی $\frac{3}{4}$ بار کامل] مقدار T.D. برای $I_2^2 t = 10$ برابر با ۲/۵ بدست می‌آید.

$$\frac{760000}{\sqrt{3} \times 20} = 21939 \quad \text{جریان بار کامل (آمپر)}$$

جریان بار کامل بر حسب آمپر در ثانویه ترانسفورماتور جریان

$$\frac{21939 \times 5}{25000} = 4/39$$

با در نظر گرفتن $\frac{3}{4}$ جریان بار کامل خواهیم داشت :

$$\frac{3}{4} \times 4/39 = 3/29$$

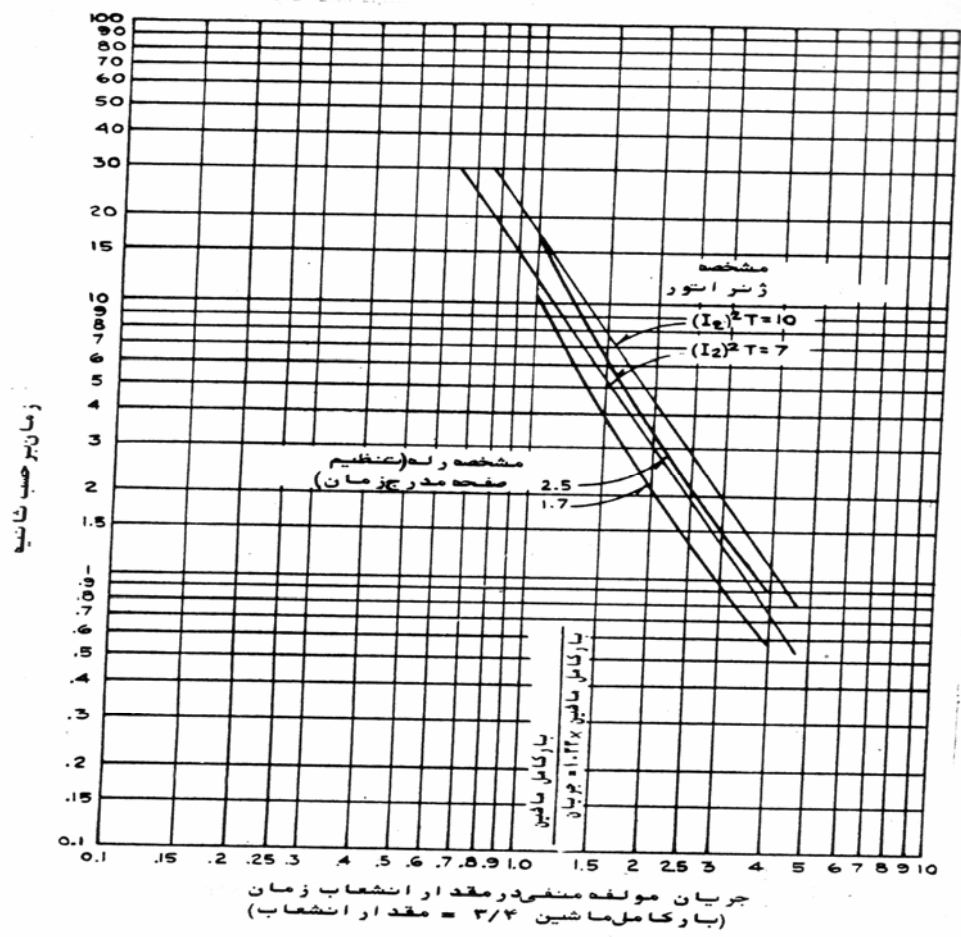
حال می‌توان رله را برای ۳/۲۹ آمپر یا مقداری کمتر از آن تنظیم نمود (با توجه به اینکه بر روی رله مولفه منفی چه تنظیمی نزدیک به ۳/۲۹ آمپر می‌باشد)، فرض می‌گردد رله بر روی ۳/۲۵ آمپر تنظیم شود. با توجه به منحنی مشخصه رله شکل

(۱۴-۳) که تنظیم هر پریونیت آن معادل با $\frac{3}{4}$ بار کامل در نظر گرفته شده است: در ۳/۲۵ آمپر، زمان عملکرد رله با توجه به $T.D. = 2/5$ ، برابر با ۱۶ ثانیه بدست می‌آید.

در صورتیکه زمان عملکرد برای جریانی به اندازه ۳ برابر جریان تنظیم شده ($3 \times 3/25 = 9/25$) برابر با ۱/۵ ثانیه بدست خواهد آمد.

۱۴-۱ - تنظیم بخش هشدار رله مولفه منفی ژنراتور:

برخی رله‌ها دارای واحدهای حساس هشدار (آلارم) می‌باشند که هشدار لازم به بهره‌بردار سیستم قدرت جهت افزایش عدم تقارن بار بدهد تا تمهیدات لازم جهت تعادل بار بنماید. واحد هشدار رله‌ها دارای مقدار فعال شدن (پیک آپ) جریان مولفه منفی مابین ۰/۰۳ تا ۰/۲ پریونیت می‌باشد. با توجه به استاندارد مجاز مولفه منفی در هر شبکه، مقدار پیک آپ بخش هشدار رله را می‌توان تعیین نمود. در برخی از انواع رله‌های استاتیکی مولفه منفی، وسیله اندازه‌گیری جهت تشخیص سطح مولفه منفی ماشین الکتریکی تعبیه شده است.



شکل (۳-۱۴): مشخصه رله مولفه منفی ژنراتور براساس پریونیت جریان معادل با $\frac{3}{4}$ بار کامل ژنراتور



مطالعه موردی :

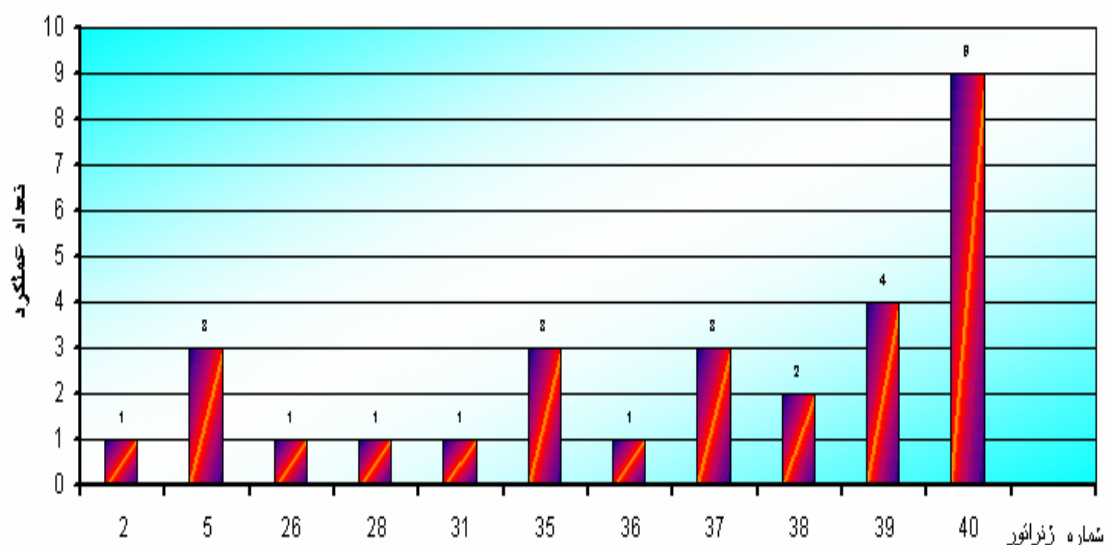
جهت آشنایی خوانندگان با عملکرد این حفاظت، تحقیقی در یکی از نیروگاههای کشور (نیروگاه گازی ری) بعمل آورده شد و این عملکرد از ابتدای راهاندازی این نیروگاه (۱۳۵۶) تا پایان سال ۱۳۷۱ با استفاده از وقایع ثبت شده در دفاتر شیفت بهره‌برداری و اطلاعات کارشناسان و تکنسین‌های نیروگاه، بررسی شد. نتایج بدست آمده حاکی از ۲۹ بار عملکرد رله مولفه منفی در طی این مدت بوده که متعلق به یازده ژنراتور از چهل ژنراتور موجود در این نیروگاه می‌باشد.

۱۵-۱- تعداد عملکرد رله مولفه منفی نیروگاه گازی ری

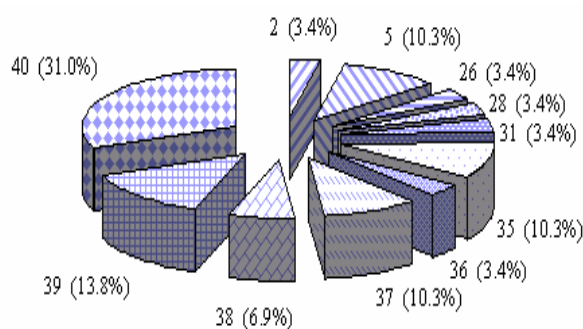
تعداد عملکرد رله مولفه منفی ۱۱ ژنراتور را در نمودار (۱-۱۵) به تفکیک مشاهده می‌کنید. این آمار مربوط به دوره زمانی انتخاب شده ۱۵ سال یعنی از ابتدای بهره‌برداری نیروگاه تا آخر سال ۱۳۷۱ می‌باشد. همانطوریکه ملاحظه می‌شود، بیشترین عملکرد را واحدهای آ ا گ به خود اختصاص داده‌اند.

با مراجعه به نمودار (۲-۱۵) که به صورت درصدی، عملکرد رله واحدها را بیان می‌کند ملاحظه می‌شود که تنها واحد شماره ۴۰ (آ ا گ) ۳۱٪ از کل عملکرد را داشته است. اگر در مجموع حساب کنیم ۶ واحد آ ا گ (از واحدهای شماره ۳۵ الی ۴۰ این نیروگاه) در طی مدت ۱۵ سال کارکرد نیروگاه گازی ری، ۷۵/۹٪ از کل عملکردهای رله مولفه منفی ژنراتور را داشته‌اند (به نمودار (۳-۱۵) و (۴-۱۵) مراجعه شود).

نمودار (۵-۱۵) عملکرد رله مولفه منفی واحدها را در سالهای مختلف نشان می‌دهد و نمودار (۶-۱۵) درصد عملکرد این رله‌ها را در سال‌های متفاوت بیان می‌کند.

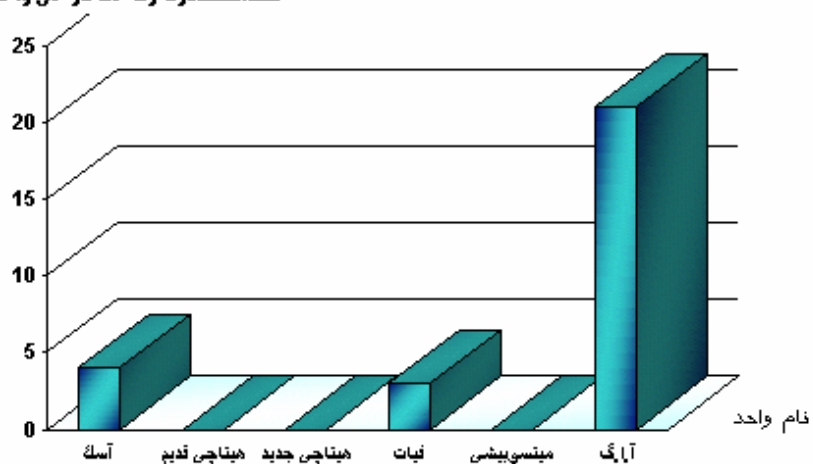


نمودار (۱-۱۵): تعداد عملکرد هر کدام از رله‌های مولفه منفی ژنراتورها

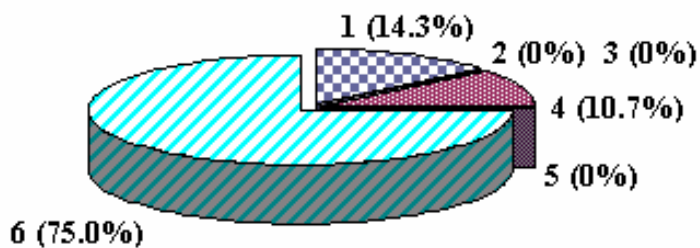


نمودار (۲-۱۵) : درصد عملکرد رله های مولفه منفی ژنراتور ها

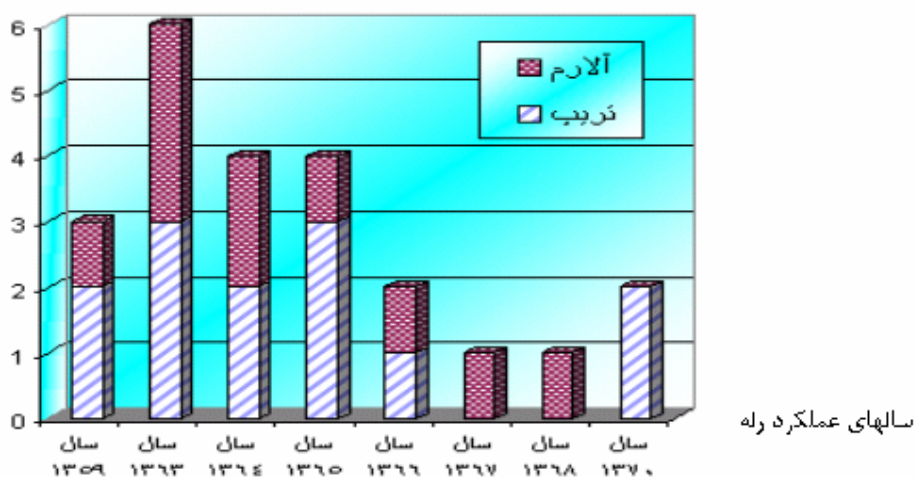
تعداد عملکرد رله ها در کل واحدها



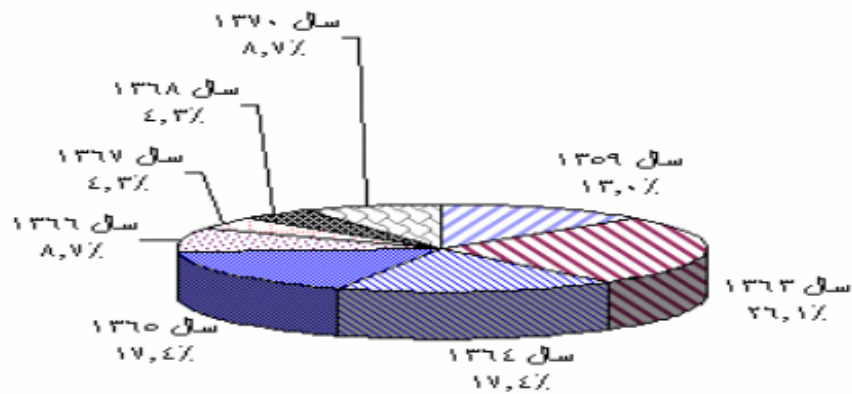
نمودار (۳-۱۵) : تعداد عملکرد مولفه منفی هر گروه واحدهای نیروگاه ری



نمودار (۴-۱۵) : درصد عملکرد رله مولفه منفی هر گروه واحدهای نیروگاه ری



نمودار (۵-۱۵) : تعداد عملکرد رله مولفه منفی نیروگاه بر حسب سال



نمودار (۶-۱۵) : درصد عملکرد رله مولفه منفی نیروگاه بر حسب سال

فصل ۱۶

پرسش و آزمون

- ۱- ویژگی های سیستم حفاظتی چیست؟
- ۲- وظیفه حفاظت اصلی و پشتیبان چیست؟
- ۳- کارکردهای مختلف حفاظت پشتیبان را نام ببرید.
- ۴- ظرفیت کنتاکت رله، معادل با چیست؟
- ۵- جریان اتصال کوتاه ژنراتور، در کدامیک از حالات بار صد در صد- بدون بار- و کم بار بیشترین مقدار است؟
- ۶- جریان اتصال کوتاه گذرا در ژنراتورها، در چه مدتی از بین می‌رود؟
- ۷- نقش سیستم رگولاتور ولتاژ ژنراتور در هنگام اتصال کوتاه، را تبیین نمایید.
- ۸- تخریب عایق سیم پیچ مولدهای سنکرون به چه عواملی مربوط می‌گردد؟
- ۹- قابلیت اطمینان سیم پیچ ژنراتور به چه عواملی مرتبط است؟
- ۱۰- در طراحی ماشین الکتریکی، به چه عاملی در پیشانی کلاف ژنراتور توجه میشود؟
- ۱۱- پدیده tape migration در سیستم عایق بندی کلاف ژنراتور را توضیح دهید.
- ۱۲- چه عواملی، در حد تحمل حرارتی ترانسفورماتور مهم هستند؟
- ۱۳- در آسیبهای مکانیکی وارده به ترانسفورماتور، چه نیروهایی را توجه باید کرد؟
- ۱۴- اهداف ایجاد سیستم زمین حفاظتی در نیروگاه و پست، چیست؟
- ۱۵- مزایا و معایب زمین کردن نوترال ژنراتور از طریق مقاومت اهمی را بیان نمایید.
- ۱۶- به ترتیب در رله های جریان زیاد، جهت دار جریان زیاد، و دیفرانسیل ، به چه خطاهای ترانس جریان (بعنوان اطلاعات ورودی به رله) باید توجه کرد؟

۱۷- اصول کلی کار یک ترانسفورماتور جریان نوری را شرح دهید.

۱۸- مزایای رله میکروپروسسوری (ریز پردازنده) چیست؟

رله های دیفرانسیلی

- ۱- جهت پایداری رله تفاضلی از چه روشهایی استفاده میشود؟
- ۲- $\%g$ و $\%v$ را در تنظیم رله با یاس درصدی دیفرانسیل توضیح دهید.
- ۳- عواملی که باعث عملکرد غلط رله دیفرانسیل میگردند، چیست؟
- ۴- خطاهای معمول در ژنراتورها کدامند؟
- ۵- اگر نقطه صفر ژنراتور از طریق یک مقاومت زمین شده باشد، آیا میتوان تمامی سیم پیچ آنرا در مقابل اتصال زمین محافظت نمود؟
- ۶- سه ردیف از بیشترین درصد فراوانی عملکرد رله های تفاضلی در نیروگاه ری را نام ببرید.
- ۷- رله تفاضلی ژنراتور، منجر به چگونه تریبی باید بگردد؟
- ۸- مدار شماتیک رله های تفاضلی ترانسفورماتور نوع YY را رسم کنید.
- ۹- انواع طرح رله بندی دیفرانسیل ژنراتور و ترانسفورماتور موجود در نیروگاه ری را بیان نمائید.
- ۱۰- خطاها و حفاظتهای معمول شینه های نیروگاهی کدامند و هر کدام را چگونه باید حفاظت نمود؟

رله های جریان زیاد

- ۱- تفاوت فیزیکی عملکرد رله جریان زیاد با کنترل ولتاژ، با رله جریان زیاد با کویل بازدارنده ولتاژ در چیست؟
- ۲- اصول کار رله جریان زیاد از نوع الکترومکانیکی را بیان نمائید.
- ۳- برای حفاظت موتورهای الکتریکی، از رله جریان زیاد با چه نوع منحنی مشخصه استفاده میگردد؟
- ۴- فاصله زمانی لازم برای هماهنگی رله های جریان زیاد اصلی و پشتیبان چه مقدار است؟ و این زمان به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۵- پدیده نوسان قدرت، باعث عملکرد رله جریان زیاد نیروگاه میگردد، به انواع اشکال آن پردازید.
- ۶- آیا طراح حفاظت، برای حفاظت مناسب موتورهای الکتریکی، شناخت صرف از مشخصات موتور الکتریکی داشته باشد، کافی است؟ توضیح دهید.
- ۷- حفاظت اصلی و پشتیبان ترانسفورماتورها چیست؟
- ۸- سه دسته فراوانی بیشین از علل عملکرد رله جریان زیاد در نیروگاه ری، چه مواردی بوده است؟

رله اتصال زمین

- ۱- عوامل ایجاد اتصال زمین در روتورژنراتور چیست؟

- ۲- روش تزریق جریان مستقیم در تشخیص اتصال زمین روتور را بیان نمائید.
- ۳- معایب استفاده از روش رله پتانسیومتری در تشخیص اتصال زمین روتور چیست و چگونه میتوان برای رفع آن اقدام نمود؟
- ۴- مقدار مقاومت نصب شده در ثانویه ترانس توزیع، در روش زمین کردن ژنراتور از طریق ترانس، برابر یا کوچکتر از چه مقدار باید باشد؟
- ۵- چرا رله های اتصال زمین معمول و قدیمی استاتور ژنراتور، نمی توانستند صد در صد سیم پیچ ژنراتور را حفاظت کنند؟
- ۶- سه طرح حفاظت اتصال زمین صد در صد سیم پیچی استاتور ژنراتور را نام ببرید.
- ۷- جریان عملکرد رله اتصال زمین، چه نسبتی با مینیمم جریان اتصال کوتاه خط مجاور رله را دارد؟
- ۸- علت اصلی عملکرد رله اتصال زمین ژنراتورهای نیروگاه ری چیست؟
- ۹- خروجی حفاظت روتورژنراتور، چه فرمانی باید باشد؟
- ۱۰- منطق قطع حفاظت استاتور از اتصال کوتاه فاز به زمین چیست؟
- ۱۱- سه دسته، بیشترین علل عملکرد رله اتصال زمین ترانسفورماتورهای نیروگاه ری را نام ببرید.
- ۱۲- آرایش معمول طرح رله اتصال زمین برای خطوط داخل نیروگاه کدامست؟

رله مولفه منفی

- ۱- میدان الکتریکی حاصله از مولفه های مثبت و منفی جریان در ژنراتور، چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟
- ۲- مولفه صفر جریان در حالت عدم تعادل بار ژنراتور، چه مشکلی ایجاد می کند؟
- ۳- عوامل ایجاد جریان های نامتقارن در شبکه برق چیست؟
- ۴- صدمات ناشی از مولفه منفی جریان بر ژنراتور را توضیح دهید.
- ۵- در تحلیل صدمات ناشی از مولفه منفی جریان بر ژنراتور، جریان های نامتقارن به چه دسته هایی تقسیم شده؟ و اختلاف این پدیده ها با یکدیگر را بیان نمائید.
- ۶- تفاوت گوه های آلومینیومی با گوه های فولادی (غیر مغناطیسی) در ژنراتورها از نظر انتقال حرارت چیست؟
- ۷- علت از دست رفتن سلامت حلقه های نگهدارنده انتهایی روتور ژنراتور در پدیده خطای نامتقارن از چه بابت است؟
- ۸- کارخانه های سازنده ماشین الکتریکی، در طراحی ژنراتورها، قدرت تحمل ژنراتور را در برابر جریان های ناشی از مولفه منفی را چگونه بهبود می بخشند؟
- ۹- ظرفیت حرارتی ماشین الکتریکی را تعریف نمائید.
- ژنراتورها بهنگام بروز خطای نامتقارن، چه تاثیری دارد؟ (AVR) ۱۰- حضور تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ
- ۱۱- میزان تحمل جریان مولفه منفی در قبال بار نامتقارن (در زمان طولانی) در چه محدوده ای است؟
- ۱۲- بهبود روش های خنک کنندگی ژنراتورها با میزان ظرفیت حرارتی آنها چه نسبتی دارند؟

۱۳- غیر از مدارهای مورد طرح در این کتاب راجع به فیلترهای مولفه منفی، مداری را طراحی و تشریح نمایید.

۱۴- مشخصه رله مولفه منفی در کدام طرف مشخصه حرارتی ژنراتور (در محور جریان-زمان) باید قرار گیرد؟ با شکل نشان دهید.

۱۵- رله مولفه منفی ژنراتور دارای چه المان‌های اصلی می‌باشد؟

۱۶- رله مولفه ژنراتور، حفاظت اصلی و یا پشتیبان است؟

۱۷- بهنگام بروز خطای نامتقارن، رله مولفه منفی به چه بخش‌هایی جهت قطع فرمان می‌دهد؟

۱۸- در کاتالوگ سازنده یک رله مولفه منفی توضیحات زیر نوشته شده است:

توضیحات :

ضریب K_1 است. $K_1 = 1$ ضریب زمان عملکرد هنگامیکه K_1 زمان عملکرد رله بر حسب ثانیه برابر است با تنظیم زمان این رله بوده که توسط سازنده مقدار زیر با موقعیت کلید مربوطه، قابل تغییر است:

$$t_r = K_1 \times [(K_1 = 1)]$$

$$K_1 = 1, 1/1, 1/2, 1/32, 1/45, 1/6, 1/8, 2/2, 2/7, 3/3, 3/9, 4/8, 5/7, 6/7, 8/2, 10$$

زمان عملکرد

المان آلام این رله دارای محدوده زمان ۴ الی ۶ ثانیه است.

جریان تنظیم رله مولفه منفی بوسیله ۵ پله انتخاب می‌شود که عبارتند از :

I_{2S}	٪۷/۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	٪۳۰
K_3	۱	۱/۷۸	۴	۷/۱	۱۶
$I_2^2.t$	۱ تا ۱۰	۱/۷۸ تا ۱۷/۸	۴ تا ۴۰	۷/۱ تا ۷۱	۱۶ تا ۱۶۰
	$= 1 \times K_1$	$= 1/78 \times K_1$	$= 4 \times K_1$	$= 7/1 \times K_1$	$= 16 \times K_1$

که I_{2S} برابر تنظیم جریان مولفه فاز منفی (درصد حد تحمل جریان مولفه منفی ژنراتور)، I_2 برابر جریان مولفه منفی (ضریب جریان مولفه منفی رله)، t برابر زمان عملکرد رله بر حسب ثانیه.

جهت تنظیم رله باید به سه ضریب K و K_1 و K_3 توجه کرد که K برابر است با حد تحمل جریان دائمی ژنراتور

$(K = I_2^2.t)$ ، K_3 برابر است با ضریب ثابت رله که با توجه به انتخاب I_{2S} جریان تنظیمی رله بدست می‌آید و

K_1 از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K_1 = \frac{K}{K_3}$$

حال با فرض ژنراتوری با مشخصات زیر :

٪۱۰ = جریان مولفه منفی قابل تحمل ژنراتور

$K = 7/5$ ظرفیت حرارتی ژنراتور

و داشتن مشخصه زمان - جریان این رله در شکل (۱۳-۱)، تنظیم ستینگ رله برای K_1 ، زمان تحمل ماشین در برابر جریان مولفه منفی و زمان عملکرد رله را مشخص کنید (جریان نامی ژنراتور در ثانویه ترانسفورماتور جریان ۵ آمپر است).

۱۹- رله موضوع مسئله قبل (با توجه به توضیحات) را برای ژنراتوری با ظرفیت حرارتی ۳۰ در نظر بگیرید. و مقادیر K_1 ، زمان تحمل ماشین در برابر جریان مولفه منفی و زمان عملکرد رله را بدست آورید.



ضمیمه یک

علائم اختصاری و اعداد نشان دهنده وسایل حفاظتی

در نقشه های حفاظت الکتریکی و کتب حفاظت، با علائم اختصاری و اعداد نشان دهنده ای مواجه می شوید که سعی شده موارد عام مصطلح در حیطه موضوع این کتاب را مطابق با استاندارد آمریکایی، در این ضمیمه آورده شود تا راهنمایی برای پیگیری نقشه ها و اطلاعات دقیق تر از کتابهای مربوطه باشد.

A- AMERICAN STANDARD DEVICE FUNCTION NUMBERS:

- 26. Apparatus Thermal Device
- 46. Reverse-Phase or Phase-Balance Current Relay
- 50. Instantaneous Over current or Rate-of-Rise Relay
- 51. A-C Time Over current Relay
- 52. A-C Circuit Breaker
- 64. Ground Protective Relay
- 67. A-C Directional Over current Relay
- 76. D-C over current Relay
- 87. Differential Protective Relay

B-DIAGRAM ABBREVIATIONS:

AC	ALTERNATING CURRENT
ACB	AIR CIRCUIT BREAKER
AMP	AMPERE
AUTO	TR AUTO- TRANSFORMER
AUX	AUXILIARY
BCT	BUSHING CURRENT TRANSFORMER
BKR	BREAKER
CB	CIRCUIT BREAKER
CC	CLOSING COIL
CT	CURRENT TRANSFORMER
DEV	DEVICE
DIAG	DIAGRAM
DIFF	DIFFERENTIAL
E/F	EARTH FAULT
FU	FUSE
GEN	GENERATOR
GRD	GROUND
GT	GENERATOR TRANSFORMER
HV	HIGH VOLTAGE
I.D.M.T	INVERSE DEFINITE MINIMUM TIME

INST	INSTANTANEOUS; INSTRUMENT
MG	MOTOR GENERATOR
MOT	MOTOR
N	NEUTRAL
NC	NORMALLY CLOSED
NEG	NEGATIVE
NO	NORMALLY OPEN; NUMBER
OC	OVERCURRENT
OCB	OIL CIRCUIT BREAKER
PH	PHASE
PRI	PRIMARY
PSM	(RELAY) PLUG SETTING MULTIPLIER
PT	POTENTIAL TRANSFORMER
PU	PICK UP
REAC	REACTOR
REG	REGULATOR
SEC	SECONDARY
SEQ	SEQUENCE
STA	STATION; STATIONARY
SUB STA	SUBSTATION
SW	SWITCH
SWGR	SWITCHGEAR
SYM	SYMBOL
TC	TRIP COIL
TD	TESTING DEVICE; TIME DELAY
TDC	TIME DELAY CLOSING
TDO	TIME DELAY OPENING
TEMP	TEMPERATURE
TMS	(RELAY) TIME MULTIPLIER SETTING
TRANS	TRANSFORMER
UT	UNIT TRANSFORMER

مثال یک: REST E/F مخفف چه عبارتی است؟
 پاسخ: RESTRICTED EARTH FAULT

مثال دو: NEG.PH.SEQ.CURR مخفف چه عبارتی است؟
 پاسخ: NEGATIVE PHASE SEQUENCE CURRENT

مثال سه: 87GT مخفف و بیانگر چه موضوعی است؟
 پاسخ: در مجموعه کلی ژنراتور- ترانسفورماتور یک واحد نیروگاهی ، معادل :
 DIFFERENTIAL PROTECTION

MAIN

کتاب نامه (مراجع)

1-Pollard, E.I., effects of negative sequence currents on turbine-generator rotors, AIEE Tran, 72, pti, 1953, pp 404-406.

۲- پایان نامه کارشناسی علی عسگری حسین زاده ، بررسی علمی آماری عملکرد رله های جریانی نیروگاه گازی ری وپست آن ، استاد راهنما: مهندس قلم چی ، دانشکده صنعت آب و برق ، بهمن ۱۳۷۷

۳- حسین عسگریان ابیانه - مهدی طالشیان ، حفاظت ورله ها ، نشر امیرکبیر ، ۱۳۸۰

۴- راهنمای کاربرد ترانسهای اندازه گیری ، شرکت نیرو ترانس ، ۱۳۷۲

۵- همایون حایری ، حفاظت ژنراتور ، ۱۳۶۹

۶- پایان نامه کارشناسی ارشد مصطفی قلم چی ، هماهنگی انواع رله ها در شبکه های دارای دو سطح ولتاژ توسط کامپیوتر ، استاد راهنما : دکتر حسین عسگریان ابیانه ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی ، ۱۳۷۱

۷- حمید جوادی ، رله و حفاظت سیستمهای الکتریکی ، دانشکده صنعت آب و برق ، ۱۳۶۷

۸- پایان نامه کارشناسی سلیمان قربانی ، تداخل حفاظت نیروگاه با شبکه (تداخل موردی نیروگاه گازی ری با پستهای جانبی آن ، استاد راهنما: مهندس قلم چی ، دانشکده صنعت آب و برق ، ۱۳۷۱

۹- پایان نامه کارشناسی محمود سلیمانی فر ، هماهنگی عملکرد حفاظتهای ژنراتور با شبکه قدرت ، استاد راهنما : مهندس نریمان تقوی ، ۱۳۷۲

۱۰- پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان " بررسی علل تخریب عایقی مولدهای سنکرون و روشهای مقابله با آن " ، مهندس جواد عمری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی- دانشکده برق، استاد راهنما: دکتر سید محمدتقی نبوی

۱۱- مصطفی قلم چی و قربانی ، " تحلیل کارکرد حفاظت شبکه جنوب شرق تهران " ، ماهنامه تخصصی صنعت برق ، شماره ۲۸ ، شهریور ۱۳۷۷

۱۲- دفاتر شیفت بهره برداری مهندسين نیروگاه گازی ری

13- IEEE Transactions on power Apparatus and systems, "Generator Ground Fault protection using over current, over voltage, and under voltage relays", Vol.PAS.101, No.12, Dec.1982

14- IEEE C37.102-1987, "IEEE Guide for AC Generator protection"

۱۵- کاتالوگها و نقشه های مدارات حفاظتی نیروگاه گازی ری

16-A.Ivanov- Smolensk, Electrical machines, vol.3, p.238, Mir Publishers.

- 17-J.J.Arnold, “The protection of generators against negative sequence current”, International conference on development in power system protection, 11-13- March 1975, IEEE conference publication number 125,PP. 50-56
- 18-Linkinhofer, Schmitt, Winchester, “ Influence of unbalanced currents on the design and operation of large turbine generators”, IEEE, Trans.PAS, Vol PAS-92, Sep./Oct. 1973, PP1597 – 1609.
- 19-Barret, etc, “Stresses on turbo-alternators under unbalanced conditions”, CIGRE 1970, Paper 11-11
- 20-P.G. Brown, “Generator I_2^2t requirements for system faults”, IEEE, Paper T73-045-2
- 21-Neidhofer and Bose,“Negative Sequence losses in solid rotors of turbo-generators and equivalent wave resistance”, IEEE, Paper T74 302-6
- 22- BARKLE, J.E., ECT,“Protection of Generators against unbalanced currents”, AIEE-Transvaal 72,pt III, Apr 1953, PP 282-285.
- 23-GRAHAM, D.J., etc, “Generator protection with a New Static negative-sequence Relay”, IEEE, PAS-94, No 4, Jul-Aug 1975, PP 1208-1213
- 24-MORRIS, W.C. and GOFF, L.E., “ A Negative phase sequence over current Relay for Generator Protection”, AIEE Trans, 72, pt III, 1953, pp 615-618.
- 25-BARKLE, J.E. and VON ROESCHLAUB, F.” Application of Relays for Unbalanced Faults on Generators, AIEE Trans, 72, PT III, 1953, pp 277-281
- 26-LAWRENCE, R.F., and FERGUSON, R.W., “ Generator Negative-Sequence currents for line – to – line faults, AIEE Trans, 72,pt III, 1953, pp 9-16.

27-BERDY, J. and BROWN, P.G., Protection of synchronous generators during unbalanced system conditions, Georgia Institute of Technology Relay conference, 1975.

۲۸- مصطفی قلم‌چی، مرتضی فارسی، "بررسی علمی عملکرد رله‌های مولفه منفی نیروگاه گازی ری"

مجموعه مقالات دهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ۱۷-۱۵ آبان ۱۳۷۴، ص ۳۰۲-۲۹۱

۲۹- پایان نامه کارشناسی مرتضی فارسی، "بررسی علمی-آماری رله‌های مولفه منفی نیروگاه

گازی ری" استاد راهنما - مصطفی قلم‌چی، دانشکده صنعت آب و برق، آبان ماه ۱۳۷۲

30-Secretariat Edison Electrical Institute," American National Standard Requirements for Cylindrical- Rotor Synchronous Generators", ANSI C50.13-1977.

31-Group of the IEEE Power System relaying Committee, "A Survey of generators Back-up Protection Practices", IEEE Trans. On Power Delivery. Vol.5, No.2, April 1990, pp.575.

۳۲- علی اصغر کبیر، "انتخاب ترانسهای جریان با توجه به رفتار گذرای شبکه ها"، اولین کنفرانس

سراسری برق، دانشگاه مازندران، اردیبهشت ۱۳۷۰.

۳۳- مصطفی قلم‌چی، "تداخل حفاظت نیروگاه با شبکه"، اولین کنفرانس سراسری برق، دانشگاه

مازندران، اردیبهشت ۱۳۷۰.

۳۴- رجبی مشهدی، مرتضوی، جاویدی، "بازبینی و بهینه سازی سیستم های حفاظتی

نیروگاههای گازی GE-F9 با تاکید بر نقش مدترپ ترتیبی"، مجموعه مقالات (۴) هفدهمین

کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۱.

۳۵- امین معاضدی، "بررسی حفاظت اتصال زمین در باسبار اصلی مصرف داخلی نیروگاهها برای

سیستم ایزوله"، مجموعه مقالات سومین نشست حفاظت الکتريک- سمینار علمی فنی

نیروگاهی، بهمن ۱۳۷۹.

۳۶- علی اهرامی، "بررسی و تحلیل مشکلات حفاظت اتصال زمین نیروگاه لوشان"، مجموعه مقالات

سومین نشست حفاظت الکتريک - سمینار علمی فنی نیروگاهی، بهمن ۱۳۷۹.

۳۷- فامیل خدائی و صدیقه امینائی، "مبدلهای نوری جریان در سیستم های قدرت"، مجموعه

مقالات دومین نشست حفاظت الکتريکی- سمینار علمی فنی نیروگاهی، اسفند ۱۳۷۸.

۳۸- امین معاضدی، محسن جلالی موسوی، "حفاظت الکتروموتورها، اصول و مبانی، روشها و

تجهیزات"، مجموعه مقالات چهارمین نشست حفاظت الکتريکی- سمینار علمی نیروگاهی،

مرداد ۱۳۸۱.

۳۹- محمد رمضانیان، "تنظیم رله جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ در شبکه های صنعتی"،

مجموعه مقالات (اولین) نشست حفاظت الکتريکی- سمینار علمی فنی نیروگاهی، اسفند ۱۳۷۷.

- ۴۰- امین معاضدی، "تحلیل وقوع یک حادثه در نیروگاه منتظر قائم و ارائه راه حل جهت پیشگیری از حوادث مشابه"، مجموعه مقالات شانزدهمین کنفرانس بین المللی برق (تولید انرژی الکتریکی)، ۱۳۸۰.
- ۴۱- همایون حائری، "بررسی یک اتصال کوتاه استثنائی در ژنراتور، هنگام بازبودن سکسیونر زمین"، مجموعه مقالات شانزدهمین کنفرانس بین المللی برق (ماشینهای الکتریکی و پستهای فشار قوی)، ۱۳۸۰.
- ۴۲- خدیجه خداپنده، سمینار فنی- تخصصی گروه تخصصی برق- ماشین شرکت مشاور، مباحثی در طراحی سیستم زمین جهت نیروگاه و پست، هفتم آذرماه ۱۳۸۵.
- ۴۳- محمد رسول زاده، "رله اتصال زمین صددرصدی جهت حفاظت سیم پیچی استاتور"، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس شبکه سراسری برق، ۱۳۶۸.
- ۴۴- گروه مترجمین شرکت برق منطقه ای تهران، کتاب حفاظت و تجهیزات پست های فشار قوی، فصل روش های نوین در حفاظت سیستم قدرت.
- ۴۵- کارگاه آموزشی "حفاظت سیستم های قدرت توسط رله های میکروپروسسور"، مجید صنایع پسند، کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۷۸.

46- Current Transformer Standard, IEC/185.

