www.powerplantac.com

روشهای

حفاظت ژنراتور

Power Plant Academy

فصل اول

مقدمه ای بر حفاظت الکتریکی

Power Plant Academy

1-1- حفاظت الکتریکی

تأسیسات الکتریکی مانند شبکه های انتقال انرژی، ژنراتورها، ترانسفورماتورها و تجهیزات برقی دیگر در اثر نقصان عایق بندی و یا تضعیف استقامت الکتریکی، دینامیکی و مکانیکی آن در مقال ولتاژهای ضربه ای پیش بینی نشده و همچنین در اثر ازدیاد بیش از حد درجه حرارت دچار خطاهائی می شود که اغلب موجب قطع انرژی الکتریکی می گردد. این خطاهای الکتریکی ممکن است به صورت اتصال کوتاه، اتصال زمین، پارگی و قطع شدگی هادی ها و خرد شدن و شکستن عایق ها و غیره ظاهر شود.

قطعات و وسائلی که دچار چنین خطاهائی می شوند باید بلافاصله از شبکه ای که آنرا تغذیه می کند جدا شوند تا از ازدیاد و گسترش خطا و از کار افتادن بقیه قسمت های سالم شبکه جلوگیری گردد.

طراحی شبکه انتقال انرژی باید به گونه ای باشد که از یک پایداری و ثبات قابل قبولی برخوردار باشد. با توجه به اینکه قطع برق در مراکز صنعتی می تواند موجب زیان های جبران ناپذیری شود، باید تدابیری بکار برده شود که برق مصرف کننده ای که در اثر بروز عیب فنی از شبکه قطع شده است در کوتاهترین زمان ممکن مجدداً تأمین گردد.

در موقع پیش آمدن خطا در محلی از شبکه برق، وظیفه رله آنست که متجه خطا شده، آنرا ردیابی کرده، آنرا بسنجد و دستگاههای خبری را آماده و یا در صورت لزوم خود رأساً اقدام نموده و باعث قطع مدار الکتریکی شود. اگر خطا خطرناک باشد مصلحت در این است که فقط همان دستگاه با قسمتی از سیم و دستگاه معیوب شده از مدار جدا شده و قسمت های بدون عیب دیگر شبکه تا موقعی که خطائی آنها را تهدید نمی کند بدون قطع برق بکار خود ادامه دهند. این نوع حفاظت، حفاظت موضعی یا محلی و یا حفاظت سلکتیو گفته می شود.

حفاظت موضعی تنها به انتخاب صحیح وسیله حفاظتی بستگی ندارد بلکه به طرز توزیع و سیستم انتقال نیروی برق نیز بستگی دارد.

حفاظت، کاملاً موضعی و سلکتیو را می توان فقط در شبکه ای که حداقل از دو طرف تغذیه می شود و یا در شبکه حلقوی بوجود آورد. بدیهی است که هر چه شبکه وسیعتر و مفصل تر شود تعداد دستگاههای حفاظتی نیز بیشتر و عمل حفاظت موضعی مشکلتر می گردد. به عنوان مثال در موقعی که یک اتصالی در شبکه ایجاد می شود تنها آن قسمت معیوب تحت اثر نامطلوب ان قرار ندارد بلکه تمام دستگاههائی که از مولد برق تا محل اتصالی در مسیر جریان اتصاللی واقع شده است با جریان اتصالی که ممکن است در حدود چندین برابر جریان

Power Plant Academy

نامی آنها باشد در تماس بوده و چون فقط محل اتصالی شده باید از مدار قطع شود، باید دستگاههای حفاظتی که از ژنراتور تا محل اتصالی قرار دارند نسبت به هم تنظیم و هماهنگ باشند. این هماهنگی وسایل حفاظتی است که از قطع بی موقع قسمتی از شبکه جلوگیری می نماید.

بنابراین می توان نتیجه گرفت که اگر سیستم حفاظتی کاملاً صحیح طراحی و پیاده شده باشد، باید در موقع اتصالی نزدیکترین کلید به محل اتصالی عمل کند و فقط قسمت معیوب شده را از شبکه خارج نماید.

تعداد و نوع دستگاههای حفاظتی و رله ها بستگی به اهیمت دستگاه با تجهیزات شبکه ای دارد که باید حفاظت شود. مثلاً ژنراتور یک نیروگاه نسبت به یک دستگاه مصرف کننده مثلاً یک پمپ آب با وسایل ایمنی و حفاظتی بیشتری مجهز است. در ضمن برق بعضی از شبکه های الکتریکی مهم و ویژه در مراکز ضنعتی و یا معادن و بیمارستانها نبایستی به هیچوجه قطع گردد. در اینگونه موارد مدار مصرف کننده ها بایستی با دستگاههای حفاظتی ویژه ای مجهز شوند.

به لحاظ اینکه تمام دستگاههای تأسیسات برقی توسط رله حفاظت می شوند باید رله ها دارای حساسیت و دقت بیسار زیاد باشند تا بتوانند ثبات و پایداری شبکه را حفظ نموده و ضامن کار بدون وقفه شبکه باشد.

به طور کلی در یک سیستم برق رسانی بایستی به موارد زیر توجه داشت:

- بهره برداری عادی
- جلوگیری از بروز عیب الکتریکی
- محدود کردن پیامدهای بروز عیب الکتریکی

لذا استفاده از بکار گیری عایق مناسب، هماهنگ ساختن قدرت عایقی با توانائی های برق گیرها، بکارگیری از مقاومت کم اتصال به زمین، طراحی به منظورکم کردن و محدود کردن مقدار جریان اتصال کوتاه، طراحی به منظور ایستادگی در مقابل تنش های مکانیکی و حرارتی حاصل از اتصال کوتاه و پیش بینی تأخیر زمانی بر روی کلیدها برای جلوگیری از قطع بارها در هنگام افت های زودگذر ولتاژ، جزئی از مواردی است که بایستی جهت جداسازی فوری قسمت معیوب رعایت گردد.

رله گذاری حفاظتی یکی از چندین مشخصه طرح سیستم در مورد به حداقل رساندن صدمات به دستگاهها و قطع برق در هنگام بروز عیب است. بدین ترتیب واضح است که

توانایی ها و شرایط کاربرد رله های حفاظتی را باید هم زمان با سایر مشخصه ها در نظر گرفت.

Power Plant Academy

1- 2- وظیفه رله گذاری

وظیفه رله گذاری حفاظتی این است که اجزای سیستم برق رسانی معیوب را که دچار اتصالی شده ویا موجب مزاحمت برای عملکرد درست بقیه سیستم شود از مدار خارج سازد. وسایل رله گذاری در اجرای این وظیفه از کلیدهاوی کمک می گیرند که قادرند جزء معیوب را با دریافت فرمان از وسایل رله گذاری جدا کنند. کلیدهای قدرت معمولاً در جائی قرار می گیرند که بتوانند مولد، ترانسفورماتور، سین، خط انتقال و غیره را کاملاً از بقیه سیستم جدا سازند. این کلیدها باید ظرفیت کافی داشته باشند تا بتوانند بیشتر جریان اتصال کوتاه را که احتمال عبور آن از کلید هست موقتاً تحمل نموده و سپس قطع کنند.

در جاهائی که رله حفاظتی و کلیدهای قدرت از لحاظ اقتصادی موجه نباشد از فیوزها استفاده می شود. اگر چه وظیفه اصلی رله گذاری حفاظتی، کاستن پیامدهای کوتاه است ولی حالت های غیر عادی دیگری در بهره برداری روی می دهد که به کار رله های حفاظتی نیاز پیدا می شود که این موضوع به ویژه در مورد مولدها و موتورها صدق می کند.

1-3- رله های حفاظتی و ساختمان آن

رله اصولاً به دستگاهی گفته می شود که در اثر تغییر یک یا چند کمیت الکتریکی و یا فیزیکی مشخص عمل نموده و کنتاکت هایی را باز نموده و یا می بندد. اگر چه تعداد، تنوع و شکل ظاهری رله ها با همدیگر متفاوت است ولی در حقیقت عملکرد آنها به دو نوع جاذبه الکترو مغناطیسی و دیگری القاء الکترو مغناطیسی محدود می شود.

رله جاذبه الکترو مغناطیسی بر اساس کشیده شدن میله ای به درون یک سیم پیچ الکتریکی با جذب شدن جوشن به قطب های یک آهنربا کار می کند. این رله را می توان هم با کمیت های متناوب به کار انداخت و هم با کمیت های DC.

وقتی می گوییم رله ای عمل می کند منظور این است که کنتاکت های رله بر حسب مورد و اینکه چه حالتی در نظر باشد بسته یا باز می شوند. بیشتر رله ها دارای فنر تنظیم هستند به طوریکه در هنگام بی برقی کامل، وضعیت مشخصی به خود می گیرند. کنتاکتی که در این وضعیت بسته باشد به نان کنتکت بسته و آنگه بازباشد کنتکت باز خوانده می شود. وقتی رله ای به کار می افتد و کنتاکت بسته ای را باز و یا کنتاکت بازی را می بندد می گوئیم رله تحریک شده است.

فصل دوم

اصول و طرز کار رله های حفاظتی

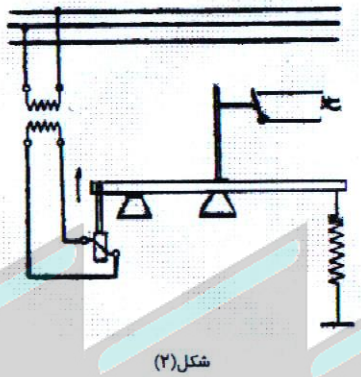
Power Plant Academy

2- 1- رله های ولت متری

در شبکه ها و مدارهای الکتریکی اغلب ممکن است افت ولتاژ و یا ازدیاد ولتاژ صورت گیرد که برای دستگاههای الکتریکی زیان آور است. بنابراین باید دستگاههای الکتریکی را در مقابل این تغییرات ولتاژ حفاظت نمود. این حفاظت بوسیله رله های افت ولتاژ و رله های ازدیاد ولتاژ تأمین می شود.

2-1-1- رله افت ولتاژ

این نوع رله که در شکل (2) نشان داده شده است شبیه رله های جریانی است و اغلب به صورت رله الکترو مغناطیسی ساخته می شود. در رله افت ولتاژ، هسته آهن رله تا موقعی که ولتاژ از حد مجاز و معینی کمتر نشده باشد بحالت جذب باقی می ماند و به محض افت ولتاژ، رها و سبب بستن کنتاکتی می شود که به مدار فرمان متصل است. این رله معمولاً به محض رسیدن به 70٪ ولتاژ نامی شروع به کار می کند.



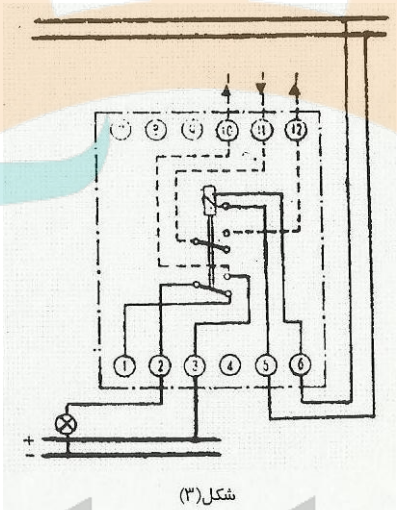
شکل(۲)

Power Plant Academy

1-1-1-2- رله افت ولتاژ برای جریان دائم

شکل (3) مدار فرمان یک رله افت ولتاژ را برای شبکه جریان دائم نشان می دهد. این رله اغلب برای بکار انداختن دستگاه آلارم (سیگنال) و یا قطع کلید در موقع افت ولتاژ شبکه از مقدار از قبل تنظیم شده، مورد استفاده قرار می گیرد.

رها شدن هسته آهن رله توسط نیروی فنر مکانیکی انجام می شود.



شکل(۳)

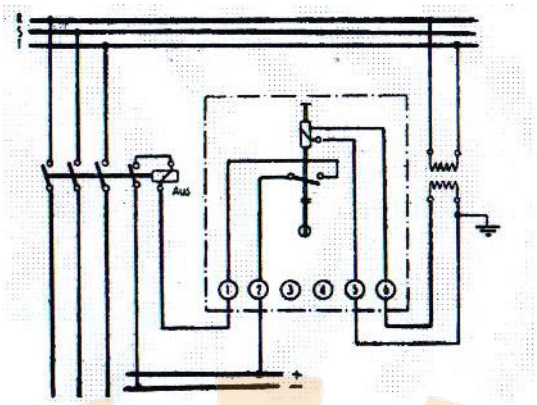
شکل(4) مداریک رله افت ولتاژ برای جریان متناوب رانشان میدهد. همانطورکه مشاهده میشود،قطع کننده توسط جریانDC ازیک مدارفرعی تغذیه میشود.

دراین مدارعمل رله توسط یک نشان دهنده نمایان میگردد و برای موقعی که به عنوان رله باتأخیریارله زمانی مورداستفاده قرارمیگیرد لازم است که به یک عضوزمانی نیز مجهز باشد.

1-1-2-2- رله افت ولتاژ برای جریان متناوب

شکل (4) مدار یک رله افت ولتاژ برای جریان متناوب را نشان می دهد. همانطور که مشاهده میشود قطع کننده توسط جریان DC از یک مدار فرعی تغذیه میشود.

در این مدار عمل رله توسط یک نشان دهنده نمایان میگردد و برای موقعی که بعنوان رله تأخیر یا رله زمانی مورد استفاده قرار میگیرد لازم است که به یک عضو زمانی نیر مجهز باشد.



شکل(٤)

2-1-2- رله ازدیاد ولتاژ

عضو سنجش این رله شبیه رله جریان زیاد است با این تفاوت که بوبین این رله بر روی ولتاژ بسته می شود. معمولاً رله ثانویه آن که ولتاژ نامی آن برابر ولتاژ نامی ترانسفورماتور ولتاژ یعنی 100v است مورد استعامل زیادی دارد.

2-2- رله دیستانس

رله دیستانس یک رله حفاظتی است که زمان قطع آن تابع مقاومت طول سیم می باشد. در اغلب اوقات باید زمان قطع رله تابع محل اتصال کوتاه نسبت به رله باشد و از این جهت باید زمان قطع رله، تابع جهت معنی از انرژی اتصال کوتاه نیز شود. همانطور که می دانیم هر چه محل اتال کوتاه از رله دورتر باشد، مقاومت ظاهری قطعه سیم بن محل اتصالی تا رله بزرگتر شده و در نتیجه مقاومت اهمی و غیر آهنی آن نیز بزرگتر می گردد . از انجا که در رشد تأسیسات برقی رابطه مستقیمی بین مقاومت و طول سیم وجود دارد لذا با استفاده از رله دیستانس به عنوان رله حفاظتی در سراسر خطوط انتقال انرژی عملاً مشکل حفاظت موضعی و سلکتیو و تنظیم جهش زمانی رله ها پی در پی نیز برطرف می گردد.

فرض کنید در نقطه ای از یک شبکه حلقوی یک جریان اتصال کوتاه ایجاد شود. در این صورت از تمام رله های دیستانس که در شبکه قرار دارد یک جریان اتصال کوتاه عبور می کند و بوبین آنها تحریک می شود. ولی فقط نزدیکترین رله به محل اتصال موفق به قطع سیم اتصالی شده از شبکه می گردد. زیرا قطعه سیم بین این دو

نقطه کوچکترین مقاومت را دارا بوده و بنابراین بیشترین جریان از ان می گذرد لذا زمان قطع این رله از همه کمتر است.

هر یک از کمیت های زیر می تواند عوامل موثر در رله دیستانس باشد:

1- مقاومت ظاهری یا امپدانس $Z = \frac{U}{I}$

2- هدایت ظاهری یا ادمیتانس $\frac{I}{U} = \frac{1}{Z}$

3- مقاومت اهمی $\frac{U\cos\varphi}{I} = Z\cos\varphi$

4- هدایت اهمی یا کندوکتانس $\frac{I\cos\varphi}{U} = \frac{1}{Z}\cos\varphi$

5- مقاومت غیر اهمی یا راکتانس $X = \frac{U.\sin\varphi}{I} = Z\sin\varphi$

6- هدایت غیر اهمی یا سوسپتانس $\frac{I\sin\varphi}{U} = \frac{1}{Z}\sin\varphi$

7- امپدانس مختلط

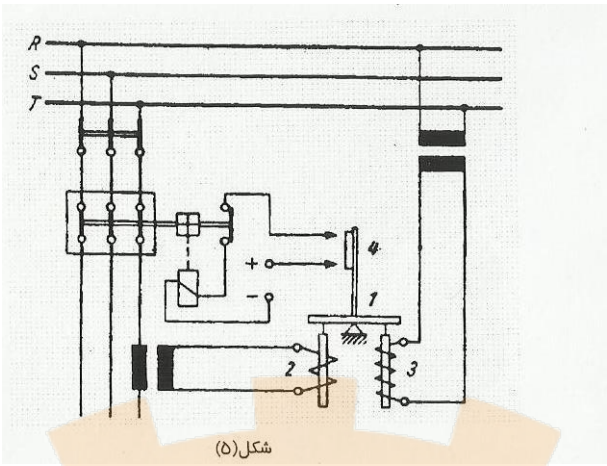
رله ای که کمیت Z را میسنجد رله امپدانس نامیده می شود و رله ای که کمیت X را می سنجد رله راکتانس نامیده می شود.

از رله دیستانس میتوان برای حفاظت هر نوع شبکه ای با هر ولتاژ الکتریکی استفاده کرد. ضمناً برای حفاظت ترانس ها و ژنراتورها نیز استفاده می گردد.

شکل (5) طرز کار رله دیستانس را نشان می دهد. از الکترو مگنت 2، جریانی که متناسب با جریان اتصال کوتاه است عبورمی کند به طوریکه به محض اینکه جریان اتصال کوتاه به مقدار معین رسید هسته داخلی آن جذب شده و کنتاکت 4 بسته میشود و در نتیجه مدار رله قطع کننده کلید اصلی بسته شده و سبب قطع کلید می گردد.

الکترومگنت 3 که بر روی ولتاژ خط بسته شده است نیروی مقاوم رله را تولید می کند و سبسب ایجاد گشتاوری در خلاف جهت گشتاور نیروی الکترومگنت 2 می شود. لذا هر چه ولتاژ بیشتر باشد نیروی مقاوم الکترومگنت 3 بیشتر می شود و در ضمن مقاومت ظاهری خط تا نقطه اتصالی نیز بیشتر می شود.

Power Plant Academy



شکل(۵)

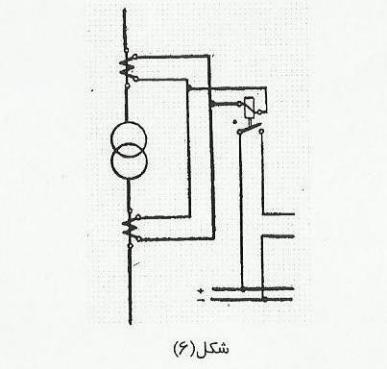
3-2- رله دیفرانسیل

برای حفاظت سیم های کوتاه، مثلاً در داخل نیروگاه و یا پشت ترانسفورماتور ها به علت کوچک بودن امپدانس ان نمی توان از رله دیستانس استفاده کرد. در این گونه مواقع بیشتر از رله دیفرانسیل استفاده می شود. این رله بر اساس مقایسه جریانها کار می کند و بدینوسیله جریان در ابتدا و انتهای وسیله ائی که باید حفاظت شود، سنجیده شده و با هم مقایسه می گردد. این تفاوت جریان در دو طرف محدوده حفاظت شده اغلب در اثر اتصال کوتاه یا اتصال زمین و غیره بوجود می آید در صورتیکه قبل از اتالی شدن مسلماً جریانهای دو طرف با هم برابر هستند. شکل (6) طرز اتصال رله دیفرانسیل را برای حفاظت یک ترانسفورماتور نشان می دهد. به طوریکه ملاحظه می شود مقایسه جریانهای قبل و بعد از ترانس توسط ترانس های جریان انجام می شود جریان ثانویه و منحنی مغناطیسی این ترانسهای جریان باید برابر باشند و طوری مخالف یکدیگر بسته شوند که در حالت عادی و نرمال، جریانهای ثانویه، همدیگر را خنثی کرده و رله بدون جریان باشد.

چنانچه در اثر یک اتصالی، این برابری جریان در دو طرف محدوده حفاظت شده از بین برود، تفاوت و یا اختلاف جریانهای دو ترانسفورماتور جریان از مدار رله عبور کرده و باعث تحریک آن می شود که مستقیم یا غیر مستقیم سبب قطع کلید شبکه می گردد.

رله دیفرانسیل فقط محدوده داخل خود را حفاظت می کند و از این جهت از آن بیشتر برای حفاظت ترانسفورماتور ها موتورهای ولتاژ قوی و شین ها استفاده می شود.

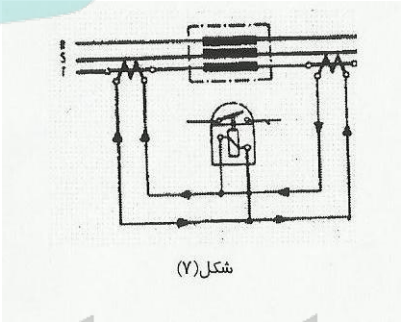
Power Plant Academy



شکل(۶)

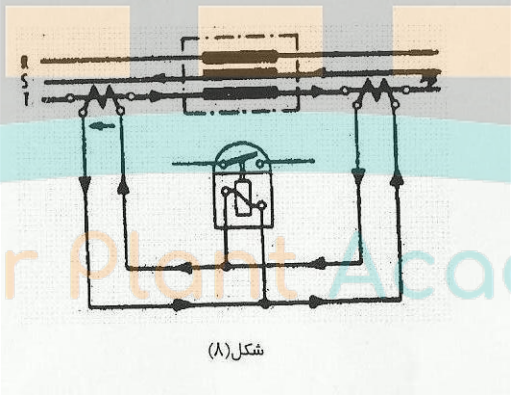
شکل های (7) تا (10) طرز کار رله دیفرانسیل و جهت جریانها را در حالت های مختلف نشان می دهند.

در شکل (7) دستگاه حفاظت شده بوسیله رله دیفرانسیل، بدون خطاست و از این جهت جریان ثانویه ترانسفورماتور در دو طرف با هم برابر است و از رله دیفرانسیل جریان نمی گذرد.



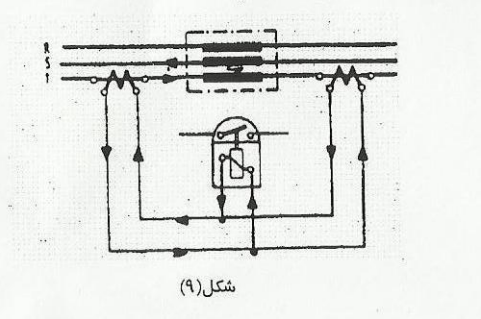
شکل(۷)

شکل (8) یک اتصال کوتاه را در خارج از محدوده حفاظت نشان می دهد.و در این حالت نیز چون جریان ثانویه هر دو ترانسفورماتور جریان با هم برابرند رله دیفرانسیل بدون جریان است. بنابراین مشاهده می شود که اتصال کوتاه خارج از محدوده حفاظت شده بر روی رله دیفرانسیل بدون اثر است.



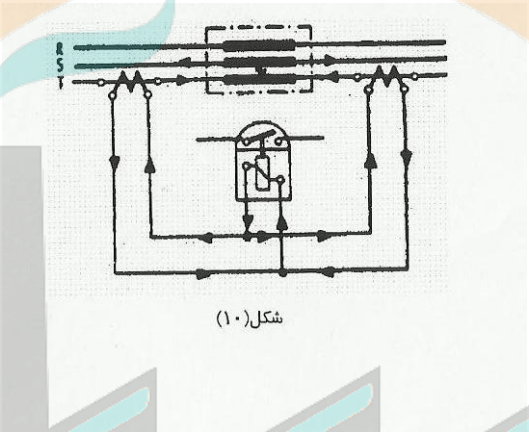
شکل(۸)

شکل (9) یک اتصال کوتاه را در داخل محدوده ای نشان می دهد که فقط از یک طرف تغذیه می شود. در اثر این اتصالی جریانهای اولیه ترانس های جریان متفاوت شده و تفاوت جریان ثانویه ترانس های جریان سبب بکار انداختن رله می شود.



شکل(۹)

شکل (10) اتصال کوتاه در داخل محدوده ای را نشان می دهد که از دو طرف تغذیه شود. در این حالت نیز معمولاً جریان دو طرف ترانسفورماتورهای جریان با هم برابر نخواهند بود و تفاوت جریان سبب قطع رله می شود.



شکل(۱۰)

Power Plant Academy

فصل سوم

شناخت اتصالی ها در ژنراتور

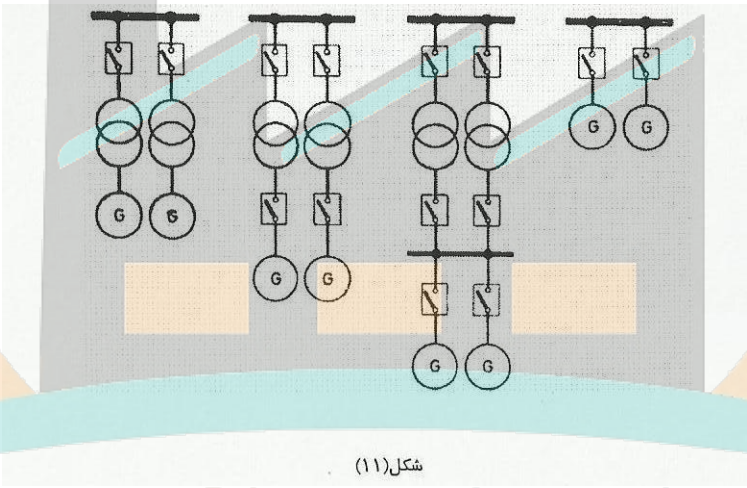
Power Plant Academy

1-3- مقدمه

ژنراتورها مهم ترین و با ارزش ترین بخش یک نیروگاه می باشد. نقص داخلی ژنراتور علاوه بر زیانی که به خود ژنراتور وارد می کند. باعث قطع قسمت بزرگی از انرژی نیروگاه نیز می گردد. در صورتیکه زیانهای وارده بر ژنراتور در اثر نداشتن وسائل حفاظتی صحیح و قطع به موقع آن ازدیاد پیدا کرده وگسترش یابد، ترمیم و تعمیر محل معیوب ممکن است مدتها طول کشیده و بهره برداری را برای مدت زیادی متوقف نماید. در نتیجه مجبوراً در تمام این مدت از ژنراتورهای دیگر بار بیشتری گرفته می شود تا کمبود برق شبکه جبران شود.

اضافه بار در ژنراتورها علاوه بر اینکه ممکن است سبب خسارت دیدن آنها شود، باعث کم شدن طول عمر و دوام آنها نیز می گردد. برای جلوگیری از اینگونه زیانها لازم است خطاهای داخلی ژنراتور را قبل از ایجاد شناخت و برطرف کرد.

دستگاههای حفاظتی ژنراتورهای با دور کم (ژنراتورهای با توربین آبی) و با دور زیاد (توربوژنراتورها) متفاوت نیستند. تنها دستگاههای حفاظتی ژنراتورها در نوع اتصال ژنراتورها به شبکه اتصال واحد و اتصال به شین می باشد. شکل (11) این اتصالات را نشان می دهد.



شکل(۱۱)

در اتصال واحد، هر ژنراتور دارای ترانسفوماتور مخصوص به خود می باشد. به طوریکه ژنراتور و ترانسفورماتور یک واحد الکتریکی را تشکیل می دهند. بنابراین این واحد، با یک حفاظت واحد نیز مجهز می شود.

اتصال واحد اصولاً در موقعی که قدرت ژنراتورها زیاد است بکار برده می شوند.

در اتصال شین، ژنراتورها دارای ترانسفورماتور مخصوص به خود نیستند بلکه انرژی ژنراتورها مستقیماً به شین منتقل می شود و سپس به کمک یک یا چند ترانسفورماتور، انرژی لازم از شین ها گرفته می شود.

Power Plant Academy

خطاهائی که در ژنراتور اتفاق می افتد یا در اثر کمبود و نقصان ایزولاسیون و عایق بندی قسمتی از سیم پیچی های ژنراتور و کابل های رابط آن است و یا بستگی به عوامل خارجی دیگر دارد. لذا می توان حفاظت ژنراتور را به دو دسته تقسیم کرد:

- حفاظت در مقابل خطاهای داخلی
- حفاظت در مقابل عوامل خارجی غیر مجاز

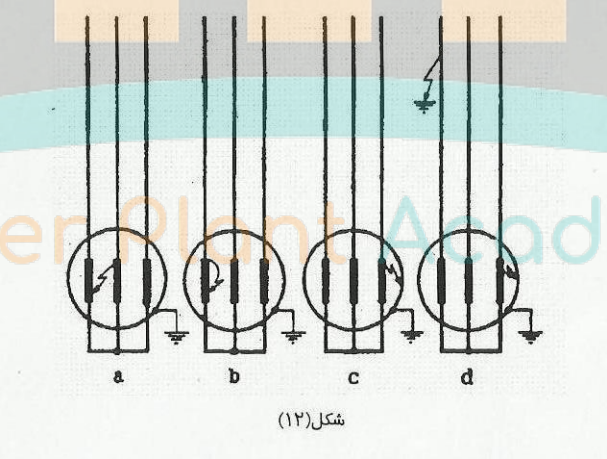
3-1-1- حفاظت در مقابل خطاهای داخلی

خطاهائی که ممکن است در داخل ژنراتور اتفاق بیفتد خود به دو دسته منطقه ای تقسیم می شوند که عبارتند از خطاهای استاتور و خطاهای رتور.

3-1-1-1- خطاهائی که در سیم پیچی استاتور پیش می آید

این خطاها که در شکل (12) نشان داده شده است شامل موارد زیر است:

- اتصال دو فاز
- اتصال حلقه
- اتصال زمین
- اتصال زمین دوبل مطابق شکل (12- d)



شکل(۱۲)

3-1-1-2- خطاهائی که در رتور پیش می آید

- اتصال به زمین

PowerPlant Academy

- اتصال حلقه یا اتصال زمین دوبل
- قطع تحریک

2-1-3- حفاظت در مقابل خطرات خارجی

عوامل خارجی که سبب خطا در داخل ژنراتور میشود نیز به دو دسته تقسیم می شوند. یکی عواملی که در شبکه برق پیش می آید و دیگری عواملی است که در قسمت گرداننده رتور ژنراتور پیش می آید و مستقیماً بر روی ژنراتور مؤثر است.

عواملی که در شبکه پیش می آید شامل موارد زیر است:

- اتصال کوتاه در شبکه (مخصوصاً در اتصال مستقیم به شین)
- بار نامتعادل
- ازدیاد ولتاژ در اثر برداشت غیر مترقبه و پیش بینی نشده قسمت بزرگی از بار ژنراتور

عواملی و خطاهائی که در وسیله گرداننده ژنراتور پیش می آید نیز شامل موارد زیر است:

- خراب شدن توربین
- قطع بخار

باید دانست که در موقع بروز خطا، تنها قطع ژنراتور از شبکه برق کافی نیست بلکه باید انرژی که سبب اتصالی شده است نیز از میان برداشته شود.

دستگاههائی که باید در موقع قطع ژنراتور بکار افتند عبارتست: دستگاه برداشت تحریک و دستگاه خاموش کننده جرقه.

حفاظت قسمت مکانیکی ژنراتور مثل دستگاه تنظیم درجه حرارت یاتاقانها و تنظیم هوای خنک کننده و غیر مربوط به حفاظت الکتریکی ژنراتور نمی باشد. گرچه اغلب عدم کار صحیح این دستگاههای نیز باعث قطع ژنراتور می شود.

حفاظت در مقابل خطاهای داخلی ژنراتور بوسیله دستگاههای حفاظتی زیر انجام می شود:

- رله دیفرانسیل برای تشخیص اتصال دو فاز مختلف در ژنراتور
- رله اتصال حلقه برای تشخیص اتصال حلقه در یک فاز ژنراتور
- رله اتصال زمین برای حفاظت ژنراتور در مقابل اتصال زمین سیم پیچی استاتور

Power Plant Academy

- رله توان متقابل برای حفاظت کلی ژنراتورهای کوچک

حفاظت در مقابل عوامل خارجی در ژنراتورها نیز بوسیله دستگاههای زیر انجام می شود:

- رله حرارتی برای حفاظت در مقابل بار زیاد
- رله جریان زیاد برای حفاظت در مقابل اتصال کوتاه
- رله ولتاژ زیاد برای حفاظت در مقابل ولتاژ زیاد غیر مجاز
- رله بار نامتعادل برای حفاظت در مقابل بار نامتعادل غیر مجاز
- رله برگشت توان برای جلوگیری از حالت موتوری شدن ژنراتور

Power Plant Academy

فصل چهارم

حفاظت ژنراتور در قبال خطاهای

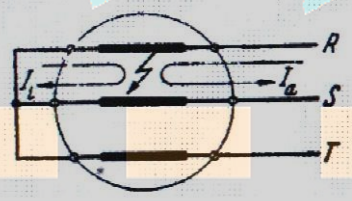
سیم پیچ استاتور

Power Plant Academy

1-4- اتصال دو فاز و رله محافظ آن

اتصال دو فاز د داخل ژنراتور در دو فازی که در یک شیار واقع شده است و یا در دو فازی که کله سیم های آن در کنار هم قرار گرفته اند، در اثر شکستن و خرد شدن عایق بندی کلافیها و یا نقایص دیگری بوجود می آید. ضمناًممکن است سیمپیچی دو فاز مختلف که در یک شیار مشترک قرار ندارند نیز هر کدام جداگانه با بدنهٔ فلزی ژنراتور (دندانه ها) اتصالی کند و در نتیجه سبب اتصال دو فاز از طریق بدنه فلزی ژنراتور گردد. از طرفی اتصال بدنه یک فاز در داخل ژنراتور و اتصال زمین فاز دیگر در شبکه (خارج از ژنراتور) مانند شکل (d-12) نیز یک اتصال دو فاز را تشکیل می دهد.

اگر اتصال دو فاز در داخل ژنراتور باشد، جریان اتصال کوتاه بین دو نقطهٔ اتصالی اولاً توسط خود ژنراتور بوجود می آید که به آن جریان اتصال کوتاه داخلی گفته می شود و ثانیاً توسط ژنراتوری که با این ژنراتور به طور موازی کار می کند از خارج وارد می شود که به آن جریان اتصال کوتاه خارجی گفته می شود. در شکل (13) این دو جریان با I_i و I_a مشخص شده است. همانطور که می دانیم در موقع کار عادی ژنراتور، جریانها در دو طرف ژنراتور یعنی در طرفی که به شبکه متصل است و در طرفی که به نقطهٔ صفر اتصال ستارهٔ سه فاز ژنراتور منتهی می شود چه از لحاظ فاز و چه از لحاظ دامنه با هم برابر می باشند. ولی در موقع اتصال دو فاز در داخل ژنراتور، این جریانها برابری خود را از دست می دهند.



شکل(۱۳)

شدت جریان اتصال کوتاه خارجی I_a بستگی به قدرت اتصال کوتاه شبک،بدون در نظر گرفتن قدرت ژنراتوری که اتصالی شده است دارد. در صورتیکه جریان اتصال کوتاه داخلی بستگی به شدت تحریک ژنراتور ومحل اتصالی آن دارد.

هر چه محل اتصالی از برن های ژنراتور به طرف نقطهٔ صفر نزدیکتر شود. این جریان اتصالی بزرگتر می شود. این موضوع که در لحظهٔ اول غیر معقول به نظر می رسد، بدلیل ان است که برای از بین بردن و خنثی کردن فلوی مغناطیسی در حالت اتصالی، همیشه به مقدار معینی آمپر دور در جهت مخالف احتیاج است. در موقعی که نقطهٔ اتصالی از برن ها به جهت نقطهٔ صفر ستاره پیش می رود. تعداد حلقه هایی که برای ایجاد این آمپر دور

Power Plant Academy

لازم است کممی شود. لذا باید جریان بالا رود.به عبارت دیگر میتوانگفت که حلقه های اتصالی شده ژنراتور مثل حلقه های یک ترانسفورماتور می ماند که در ان نسبت جریانها متناسب با عکس تعداد حلقه ها است.یعنی اگر در وسط سیمپیچی اتصالی می شود، باید جریان دو برابر شود و الی آخر.

البته فقط در نزدیکیهای نقطهٔ صفر ستاره، جریان اتصال کوتاه در اثر پراکندگی یک مرتبه خیلی کوچک خواهد شد. چنانچه دیده می شود بر عکس اتصال زمین که هر چه محل اتصالی از برن ها در جهت نقطهٔ صفر ستاره دورتر باشد جریان اتصال زمین کمتر است، در اتصال دو فاز، جریان اتصال کوتاه در موقعی که اتصالی در اطراف نقطهٔ صفر نیز باشد خیلی زیاد است.

علاوه بر جریان اتصال کوتاه زیاد که در موقع اتصال دو فاز ایجاد می شود، می توان اتصال دو فاز در داخل ژنراتور را توسط کم شدن ولتاژ نیز تشخیص داد، به طوریکه هر چه محل اتصالی به برن های ژنراتور نزدیکتر باشد، این کوچک شدن ولتاژ (شکسته شدن ولتاژ) بیشتر ظاهر می شود.

1-1-4- روشهای مختلف برای تشخیص اتصال دو فاز داخلی

روشهای مختلفی که برای تشخیص اتصال دو فاز داخلی موجود است عبارت است از:

- رلهٔ جریان زیاد زمانی که توسط ترانسفورماتور جریانی که در نقطهٔ صفر ستارهٔ ژنراتور بسته می شود تغذیه می شود.
- رلهٔ دیفرانسیل

1-1-1-4- رلهٔجریان زیاد زمانی

از آنجاکه اتصال دو فاز در داخل ژنراتور همیشه سبب عبور جریان اتصال کوتاه زیادی از نقطهٔ صفر ستارهٔ ژنراتور می شود، می توان به کمک سنجش این جریان توسط رلهٔ جریان زیاد زمانی از وقوع اتصالی آگاهی پیدا کرد . در اینحالت رلهٔ جریان زیاد زمانی بروی سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور جریانی که در نقطهٔ صفر ژنراتور بسته شده است نصب می گردد. البته این رله نمی تواند تشخیص دهد که اتصال دو فاز در داخل ژنراتور و یا در خارج ژنراتور اتفاق افتاده است و از آنجا که کلید اصلی ژنراتور نباید در اثر خطاهای خارجی بلافاصله و بی موقع قطع گردد باید زمان قطع این رله خیلی زیاد باشد. از طرف دیگر مدت زیاد اثر اتصالی در ژنراتور سبب توسعه هر چه بیشتر محل اتصالی و از بین رفتن سیمپیچی ژنراتور میشود. لذا از رلهٔجریان زیاد زمانی می توان فقط به عنوان یک وسیلهٔ حفاظتی ذخیره استفده کرد. در شکل (15) محل نصب رلهٔ جریان زیاد زمانی در طرف اتصال صفر ستارهٔ ژنراتور نشان داده شده است.

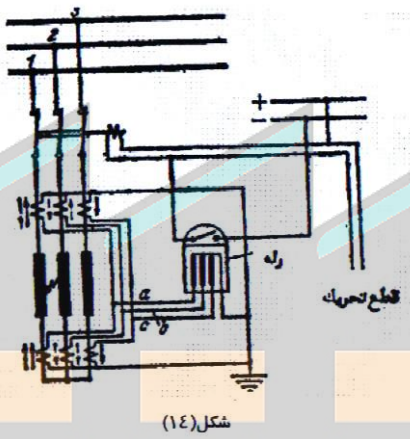
Power Plant Academy

شدت جریان کار رله باید قدری کمتر از جریان اتصال کوتاه دائمی ژنراتور در حالت تحریک بار کامل تنظیم گردد و نسبت به نوع ماشین، این مقدار اغلب برابر با 1. 2 تا 1. 6 جریان نانی ژنراتور می باشد.

2-1-1-4- رله دیفرانسیل

برای تعیین اتصال دو فاز داخلی و حفاظت ژنراتور در مقابل اثرات نامطلوب آن،رله دیفرانسیل از همه مناسبتر است. شکل (14)

چنانچه دیده می شود در روی هر فاز، در دو طرف ژنراتور یک ترانسفورماتور جریان نصب شده و سیم پیچی ثانویه این ترانسفورماتور ها به طور همنام به یکدیگر متصل شده اند و از محل اتصال ثانویه ترانسفورماتورها توسط سیم های a، b،c انشعابی برای رله دیفرانسیل گرفته شده است. در موقع کار عادی ژنراتور که جریانهای دو طرف ژنراتور باهم برابر است ولتاژ سه سر سیمی که به رله دیفرانسیل می رود صفر بوده و رله بدون جریان می باشد.



شکل(١٤)

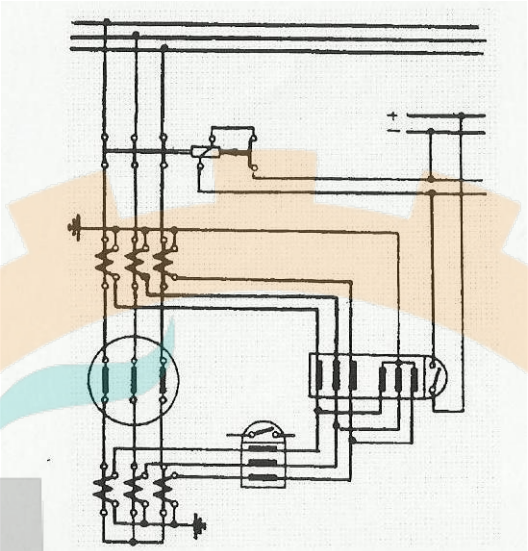
در موقع اتصال کوتاه بین دو فاز داخل ژنراتور، جریان از ترانسفورماتورهای جریان عبور کرده و چون این جریان ها از حالت عادی (تعادل و برابری) خارج شده و مازاد جریان از رله دیفرانسیل عبور می کند و رله دیفرانسیل را تحریک نموده و سبب قطع کلید ژنراتور و برداشت تحریک آن می شود.

رله دیفرانسیل را نباید خیلی دقیق تنظیم نمود زیرا دقت زیاد سبب قطع بی موقع رله می شود. لذا معمولاً رله دیفرانسیل را طوری تنظیم می کنند که اگر تفاوت جریان برابر با 10 تا 20 درصد جریان نامی شد رله عمل نماید.

در صورتیکه نخواهیم دقت و حساسیت رلهٔ دیفرانسیل را کوچک کنیم، باید از رلهٔ دیفرانسیل پایدار استفاده نمود.

Power Plant Academy

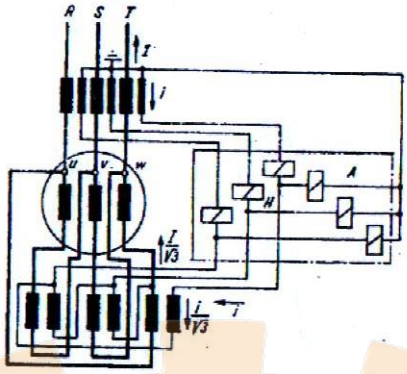
شکل (15) طرز اتصال رلهٔ دیفرانسیل پایدار را برای حفاظت ژنراتوری که مستقیماً به شین بسته شده است نشان می دهد، در این شکل از رلهٔ جریان زیاد که در طرف ستاره ژنراتور بسته شده است به عنوان ذخیرهٔ حفاظتی استفاده گردیده است.



شکل (۱۵)

برای حفاظت اتصال دو فاز ژنراتوری که در حالت خیلی استثنایی سیم پیچی استاتور آن به صورت مثلث بسته شده است.، باید سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتورهای یک طرف ژنراتور را نیز به صورت مثلث وصل کرد. زیرا همانطور که می دانیم اولاً جریان در سیمهای خروجی ژنراتور $\sqrt{3}$ برابر جریان داخلی ژنراتور می باشد و در ثانی ایندو جریان نسبت به هم 30 درجه اختلاف فاز دارند وچون ترانسفورماتورهای جریان یک طرف ژنراتور در شاخهٔ مثلث قرار می گیرد. اگر نسبت تبدیل ترانسفورماتورها $\frac{I}{\sqrt{3}}, \frac{i}{\sqrt{3}}$ باشد و طرف ثانویه آنرا به صورت اتصال مثلث ببندیم. جریانهای خروجی ترانسفورماتورهای جریان $\sqrt{3}$ برابر بزرگ خواهد شد. و در اینصورت میتوان از 6 ترانسفورماتور یا نسبت تبدیل برابر استفاده کرد. شکل (16) اتصال چنین رله ای را به طور ساده نشان می دهد. چنانچه دیده می شود در این شکل نیز ازرلهٔ دیفرانسیل پایدار استفاده شده است.

Power Plant Academy



شکل(۱۶)

در اتصال واحد ژنراتورها (ژنراتور- ترانسفورماتور – شین) می توان فقط از یک رلهٔ دیفرانسیل استفاده کرد و آنرا طوری بست که ژنراتور و ترانسفورماتور هر دو در مقابل اتصال دو فاز حفاظت شوند. در این حالت باید نسبت تبدیل ترانسفورماتور را نیز در نظر گرفت. نوع اتصال ترانسفورماتور قدرت نیز در انتخاب ترانسفورماتورهای جریان موثر می باشد.

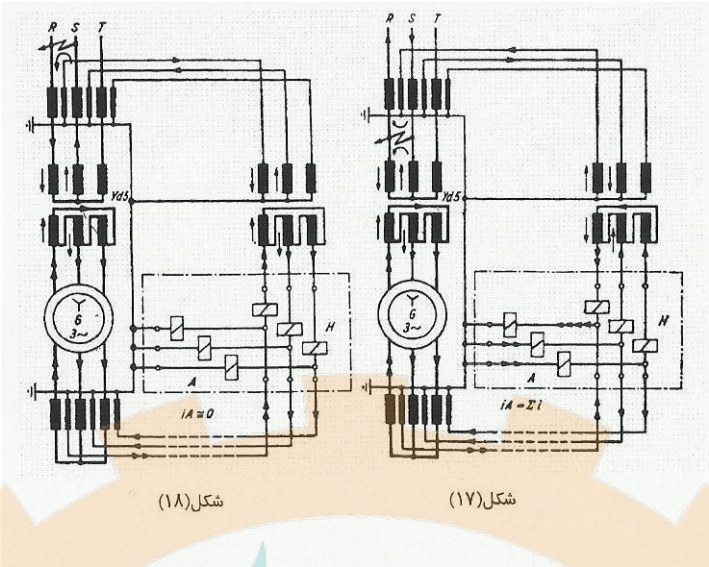
مثلاً در صورتیکه ترانسفورماتور قدرت به صورت Yd5 بسته شده باشد، باید از یک ترانسفورماتور سه فاز کمکی با اتصال Yd5 جهت هم فاز کردن جریانها نیز کمک گرفت. در ضمن این ترانسفورماتور، تفاوت جریانهایی که در اثر عدم تطبیق نسبت تبدیل ترانسفورماتور قدرت با ترانسفورماتور جریان پیش می آید را نیز برطرف می کند. در صورتیکه از ترانسفورماتور قدرت با اتصال YY0 استفاده شده باشد. ترانسفورماتور کمکی در صورتی لازم است که جریانهای ثانویه ترانسفورماتورهای جریان دو طرف شبکه بیشتر از 20٪ با هم متفاوت باشند.

شکل (17) و (18) طریقهٔ بستن رلهٔ دیفرانسیل پایدار بروی ژنراتور و ترانسفورماتوری که به صورت واحد بسته شده است نشان می دهد.

در شکل (17) اتصال دو فاز در محدودهٔ حفاظت شده اتفاق افتاده است و سیم ها، جهت جریانها و جریانی که از رلهٔ دیفرانسیل عبور می کند را نشان می دهد.

در شکل (18) اتصال دو فاز در خارج از ترانسفورماتور و محدودهٔ حفاظت شده اتفاق افتاده است و چنانچه دیده می شود رلهٔ دیفرانسیل بدون جریان است.

برای پایدار کردن رله ها چنانچه دیده می شود از بوبین نگهدارنده استفاده شده است و رلهٔ دیفرانسیل یک رلهٔ جریان متناوب است.



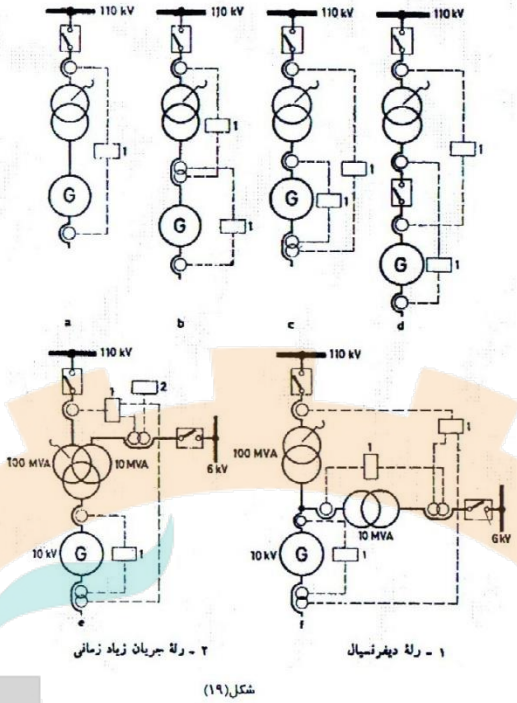
شکل(۱۷) شکل(۱۸)

چنانچه گفته شد در صورتیکه ژنراتور و ترانسفورماتور به صورت واحد بسته شده باشد، یک رلهٔ دیفرانسیل برای حفاظت هر دوی آنها کافی است ولی در اغلب اوقات استفاده از چند رلهٔ دیفرانسیل صحیح تر و مطمئن تر است.

شکل (19) انواع مختلف اتصال واحد ژنراتور و ترانسفورماتور را که به وسیلهٔ رلهٔ دیفرانسیل حفاظت شده است نشان می دهد.

اگر برای حفاظت اتصال دو فاز ژنراتوری که با ترانسفورماتور قدرت قابل تنظیم یک واحد الکتریکی را تشکیل می دهد، از رلهٔ دیفرانسیل استفاده شود (شکل 19-الف) باید حساسیت و دقت دیفرانسیل را حتی المقدور کم کرد (جریان کار 30٪ جریان نامی) زیرا با تغییر کردن نسبت تبدیل ترانسفورماتور قدرت نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان ثابت می ماند. در اینگونه مواقع بهتر است برای حفاظت ژنراتور از یک رلهٔ دیفرانسیل مجزا و مخصوص استفاده شود. شکل 19 – ب . ج و د)

Power Plant Academy



شکل(۱۹)

در این شکلها رلهٔ دفرانسیل ژنراتور خیلی حساس و رلهٔ دیفرانسیل ترانسفورماتور با حساسیت کمتر تنظیم شده است.

در ضمن می توان رلهٔ دیفرانسیل غیر حساس را طبق شکل (19-ج) طوری بست که وظیفهٔ رلهٔحفاظتی ذخیره را نیز برای ژنراتور بعهده بگیرد.

اگرمصرف داخلی کارخانه توسط سیم پیچی سوم یک ترانسفورماتور سه سیم پیچه تأمین می شود. شکل (19-ه) توان سیم پیچی سوم تقریباً 10٪ توان سیم پیچی اصلی ترانسفورماتور خواهد بود. در این حالت اگرجریان کار رله برابر 20٪ جریان نامی سیم پیچی انتخاب شود و این جریان نسبت به جریان سیم پیچی مصرف داخلی حساب شود. مشاهده می شود که جریان کار رله برابر 200٪ جریان سیم پیچی سوم خواهد شد.

لذا چنین رله ای برای خطائی که در داخل سیم پیچی سوم اتفاق می افتد کاملاً بی نتیجه و بی اثر خواهد بود و در بعضی اوقات حتی جریان اتصال کوتاه در اثر اتصال دو فاز داخل سیم پیچی مصرف داخلی نیز برای بکار انداختن رلهٔ دیفرانسیل کافی می باشد.

در این گونه مواقع بهتر است علاوه بر رلهٔ دیفرانسیل از یک رلهٔ جریان زیاد نیز برای حفاظت سیم پیچی با قدرت کم استفاده کرد. این رله در شکل با عدد 2 مشخص شده است. در صورتیکه مصرف داخلی طبق شکل (19-و) و نیز تأمین شود، حفاظت هر دو ترانسفورماتور بکمک یک رلهٔ دیفرانسیل نتیجه مطلوب نخواهد داد.

Power Plant Academy

لذا در اینحالت نیز از یک رلهٔ دیفرانسیل مجزا که دارای حساسایت رلهٔ دیفرانسیل ترانسفورماتور اصلی است، جهت حفاظت ترانس مصرف داخلی استفاده می شود.

در اشکال (19- ب، د، و) رله های دیفرانسیل طوری بسته شده اند که سیم های رابط بین ترانسفورماتور های جریان نیز حفاظت شود.

همانطور که گفته شد اتصال کوتاه در استاتور ژنراتور در مرحله های ابتدائی و اولیه سبب خراب شدن حلقه ای می شود که اتصالی شده ولی اگر این اتصالی فوراً قطع نگردد حتی سبب خراب شدن و سوزاندن اهن دندانه های استاتور نیز می گردد. از این جهت رلهٔ دیفرانسیل که برای حفاظت ژنراتور بکار برده می شود سبب قطع کلید دیژنکتور ژنراتور نیز می شود و در سیستم واحد (ژنراتور- ترانسفورماتور- شین) سبب قطع کلید ترانسفورماتور و یا اگر دو کلید موجود باشد سبب قطع کلید ژنراتور و کلید ترانسفورماتور خواهد شد . در ضمن رله دیفرانسیل در موقع عمل کردن باعث قطع مدار تحریک شده و دستگاه جرقه خاموشکن Co2 نیز بکار می اندازد.

در صورتیکه در اتصال واحد ژنراتور، از دو رلهٔ دیفرانسیل استفاده شده باشد فقط رلهٔ دیفرانسیل ژنراتور بروی دستگاه جرقع خاموش کن co2 کار می کند.

در یعضی مواقع شاید بهتر باشد که رلهٔ دیفرانسیل حتی بر روی دستگاههای ترمز کننده توربین نیز مؤثر واقع شود.

2-4- اتصال زمین و رله حفاظت آن

اتصال پیدا کردن سیم پیچی استاتور ژنراتور های ولتاژ قوی با بدنه فلزی ماشین در اثر عدم قدرت کافی عایقی سیم پیچی و یا خراب شدن عایق بوجود می آید.

در اثر این اتصالی اگر نقطهٔ صفر شبکه نسبت به زمین عایق باشد. یک جریان خازنی از زمین می گذرد که مقدار آن خیلی کم است ومعمولاً نمی تواند از چند آمپر تجاوز کند. به اینجهت چنین جریان کمی اگز مدت اثر آن نیز زیاد نباشد در محل اتصال سیم یا بدنهٔ ماشین اثرات ناگوارینخواهد داشت، و باعث خرابی اهن استاتور نمیشود.

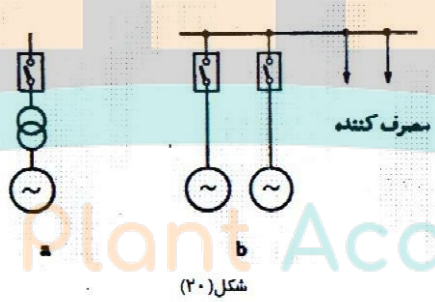
ولی جریان های بیش از 20 آمپر حتی اگر مدت اثر آن نیز کم باشد، اثر نامطلوبی روی آهن استاتور بجا خواهد گذاشت.

این نوع اتصالی بدلایل زیادی امکان پذیر است زیرا همانطور که می دانیم عبور جریان کم در روی ورقه آهن استاتور نمیتواند اثرات جدی روی استاتور بگذارد ولی این جریان، عایق سیم را در محل اتصالی خراب کرده و می سوزاند و اگرجریان اتصالی قطع نگردد سوختگی عایق در محل اتصالی به قسمت های دیگر سیم پیچی داخل همان شیار سرایت کرده و اگر سیم مجاور مربوط به همان فاز اتصالی شده باشد،اتصال حلقه و اگرمربوط به فاز دیگر باشد، اتصالی دوفاز ایجاد می نماید.

علاوه بر این، اتصال زمین یک فاز باعث بالا رفتن ولتاژ الکتریکی فاز سالم نسبت به زمین شده و این ازدیاد ولتاژ می تواند باعث اتصال بدنه دیگری در فاز دیگر شود. در نتیجه اتصال بدنه تبدیل به اتصال زمین دوبل می شود که همان اثر اتصال کوتاه در مدار را دارد.

لذا در صورت امکان چنین اتصالی حتی در قسمت های نزدیک نقطه صفر ستاره که در آن جریان اتصالی خیلی کم است ولی به دلایل فوق می تواند سبب اتصال دو فاز گردد، بایستی به محض ایجاد اتصال بدنه داخلی، ژنراتور مزبور را از مدار خارج کرده و تحریک آن را نیز سریعاً برداشت.

چنانچه می دانیم ممکن است ارتباط ژنراتور باشین به طور مستقیم و با بواسطهٔ ترانسفورماتور انجام گیرد. در اتصال واحد ژنراتور و ترانسفورماتور، مانند شکل (20-الف) ژنراتور وشبکه از نظر الکتریکی وهم مکانیکی به هم مربوطند وچون در هر یک از حالات فوق اگر اتصالی در خارج ا ژنراتور باشد جریان اتصال زمین فرق می کند، لذا در هر یک از حالات ذکر شده روش مخصوصی برای حفاظت ژنراتور در مقابل اثرات اتصال بدنه بکار برده می شود.



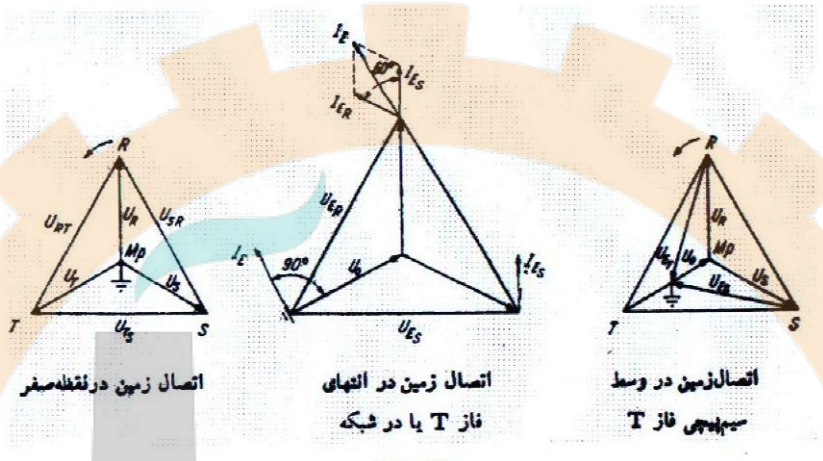
شکل(۲۰)

1-2-4- حفاظت اتصال زمین ژنراتور در اتصال واحد

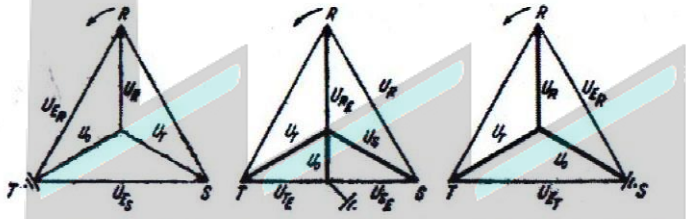
در صورتیکه ژنراتور و ترانسفورماتور با هم تشکیل یک واحد الکتریکی را بدهد، چون سیم پیچی ژنراتور با شبکه ارتباط مستقیم فلزی ندارد، شدت جریان اتصال زمین به محل اتصال شده بستگی دارد به طوریکه اگر اتصالی در طرف ولتاژ ضعیف (در طرف اولیه ترانسفورماتور و در خود ژنراتور) باشد، شدت جریان اتصال

Power Plant Academy

زمین به مراتب بیشتر از حالتی است که اتصالی در شبکه یا در طرف ولتاژ قوی ترانسفورماتور باشد. در ضمن جریان اتصال زمین ژنراتور بستگی به محل اتصالی شده در داخل ژنراتور نیز دارد و هر چه محل اتصالی شده به نقطهٔصفر ستاره نزدیکتر باشد، این جریان کمتر خواهد بود زیرا ولتاژ صفر U_0 یا ولتاژی که بین نقطهٔ صفر و زمین ایجاد می شود U_{EM} کمتر خواهد شد. شکل (21) ولتاژ صفر را برای ژنراتور با اتصال ستاره و شکل (22) با اتصال مثلث در حالت های مختلف نشان می دهد.



شکل (۲۱)



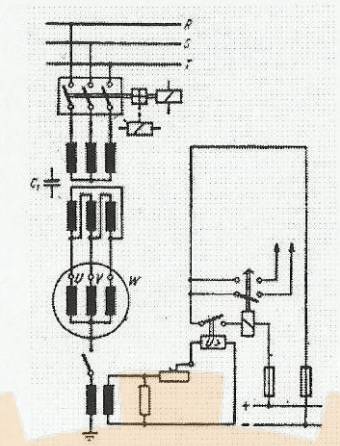
شکل (۲۲)

برای حفاظت ژنراتور در مقابل اتصال زمین روشهای متعددی به کار برده شده ومورد استعمال هر یک از آنها بستگیبه دقت حفاظت دارد.

Power Plant Academy

1-1-2-4- استفاده از رلهٔ ولتمتری برای حفاظت اتصال زمین

با اتصال زمین شدن یکی از فازها چنانچه گفته شد، U (ولتاژ صفر) مناسب با محل اتصالی شده از صفر تا $\frac{U}{\sqrt{3}}$ ولت بالا می رود. این ولتاژ را میتوان توسط ترانسفورماتور بخصوصی بنام ترانسفورماتور نقطهٔ صفر که بین نقطهٔ ستارهٔ ژنراتور وزمین بسته شده است مانند شکل (23) سنجید.



شکل (۳۳)

چنانچه دیده می شود از ترانسفورماتور صفر بوسیلهٔ یک مقاومت اهمی بار گرفته می شود. این مقاومت باید طوری انتخاب شود که جریان اتصال زمین در طرف اولیه ترانسفورماتور صفر در بدترین و نامساعدترین حالت یعنی اتصال در برن ژنراتور در موقعی که ولتاژ صفر باندازه $\frac{U}{\sqrt{3}}$ ولت بالا رفته است، از 5 آمپر تجاوز نکند.

موازی با مقاومت بار، رلهٔ ولتمتری (U>) قرار دارد. نسبت تبدیل ترانسفورماتور صفر برابر است با:

$$U_0 = \frac{U_G/\sqrt{3}}{100}$$

و یا

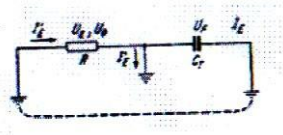
$$U_0 = \frac{U_G/\sqrt{3}}{200}$$

با در نظر گرفتن رابطهٔ فو وقتی محل اتصالی تا برن 90%حلقه های یک فاز ژنراتور را در برداشته باشد، ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور صفر از 10ولت کمتر نمی شود و به این جهت باید رلهٔ ولتمتری دارای حدود سنجش قابل تنظیم بین 8 تا 20 ولت باشد. با چنین رله ای می توان فقط 90٪ از سیم پیچی استاتورژنراتور را در مقابل اتصال زمین و خطرات بعدی آن به طور مطمئن حفاظت نمود.

اگر حساسایت و دقت رلهٔ ولتمتری طوری تنظیم شود که که رله بتواند برای ولتاژ های کمتر از 8ولت نیز عکس العمل نشان دهد، در نتیجه هر اتصال زمینی گر چه در شبکه و خارج از نیروگاه نیز بوجود آید.سبب قطع بی موقع رله می شود. زیرا به علت کاپاسیته موجود بین سیم پیچی ولتاژ قوی و ولتاژ ضعیف ترانسفورماتور، در موقع اتصال زمین شدن شبکه نیز ولتاژ کمی یا به عبارت دیگر تفاوت پتانسیلی در دو سر ترانسفورماتور نقطهٔ صفر بوجود خواهد آمد که مقدار آن تا حدود 8 ولت می رسد.

برای انتخاب صحیح مقاومت بار وقدرت ترانسفورماتور صفر محاسبات زیر باید انجام شود.

شکل (24) مدار معادل شکل (23) را نشان می دهد . مقاومت خازنی بین سیم پیچی ثانویه و اولیه ترانسفورماتور برابر است با $\frac{1}{\omega.C_T}$ و با مقاومت اهمی ترانسفورماتور صفر به طور سری قرار دارد.



شکل (۲٤)

مقاومتهای ژنراتور و ترانسفورماتور بقدری کوچک است که می توان از آن صرف نظر کرد جریان اتصال زمین که در اثر کاپاسیتهٔ کوپلاژ در موقع اتصال زمین شدن یک فاز ولتاژ قوی ترانسفورماتور از زمین عبور می کند، برابر با :

$$I_E = \frac{U_N}{\sqrt{3}}.\omega.C_T$$

U_N عبارتست از ولتاژ نامی در طرف ولتاژ قوی شبکه و در صورتی که در رابطهٔ فوق بجای U_N از U_G (ولتاژ ژنراتور) استفاده شود، خواهیم داشت:

$$I_E = \frac{U_G}{\sqrt{3}}.u_1.\omega.C_T$$

نظر باینکه مقاومت خازنی $\frac{1}{\omega.C_T}$ با مقاومت R به طور سری بسته شده است افت ولتاژی که این جریان در دو سر مقاومت سیم پیچی اولیه ترانسفورماتور ایجاد می کند برابر است با:

$$U_F = I_E.R$$

که با در نظر گرفتن حفاظت محلی وجلوگیری از قطع بی موقع رله، باید:

$$U_F < U_{O\,min}$$

باشد و یا

$$U_F = \frac{U_{O\,min}}{K}$$

که در آن K ضریب اظمینان و در حدود 1.4 تا 1.5 می باشد.

اگرولتاژ ستازهٔ ژنراتور $\frac{U_G}{\sqrt{3}}$ را برابر 100٪ فرض کنیم باید ولتاژ نقطهٔ صفر در صورتیکه خواسته باشیم a% سیم پیچی ژنراتور حفاظت شود برابر با:

Power Plant Academy

$$U_{0min} = \frac{(100-a)}{100} \cdot \frac{U_G}{\sqrt{3}}$$

باشد و به علت داشتن اطمینان بیشتر اگر :

$$U_F = \frac{U_{O\ min}}{K}$$

قرار داده شود باید مقاومت بار ترانسفور ماتور صفر نسبت به طرف اولیه ترانسفور ماتور برابر با:

$$R_1 = \frac{U_F}{I_E} = \frac{(100-a)}{K.\omega.C_T.U_1.100}$$

و در اینصورت مقاومت بار ترانسفورماتور نقطهٔ صفر در طرف ثانویه برابر با:

$R_2=R_1/U^2_1=(100-a)/k.\omega.C_T.U_1.U^2_0.100$

می شود.در این رابطه U_o ضریب تبدیل ولتاژ ترانسفورماتور قدرت است.

A عملاً 90٪ انتخاب می شود و C_T کاپاسیتهٔ ترانسفورماتور قدرت است که برای ترانسفورماتورهای قدرت زیاد که در نیروگاه ها بکار برده می شود در حدود 0.01میکروفاراد می باشد.مقدار دقیق آنرا می توان از کارخانه سازنده سوال کرد.

شدت جریان اتصال زمین در موقع اتصالی شدن یکی از سیم پیچی های استاتور ژنراتور به زمین بستگی به مقاومت بار ولتاژ دو سر ترانسفورماتور صفر دارد و از آنجا که ولتاژ صفر نیز بستگی به محل اتصالی شده دارد لذا باید برای جریان اتصال زمین یک ماکزیمم و مینیمومی در نظر گرفته شود.برای از بین بردن هرگونه اشتباهی بین جریان اتصال زمین شبکه و اتصال زمین سیم پیچی استاتور با زمین بوجود می آید با حرف I'_E نمایش می دهیم.

برای تعیین قدرت ترانسفورماتور نقطهٔ صفر باید همیشه ماکزیمم جریان و ماکزیمم ولتاژ صفر $N_O=U_G/\sqrt{3}$ در نظر گرفته شود.لذا می توان نوشت:

$N_O=U_{0max}.I'_E=U_G/\sqrt{3}.I'_E$

عملاً بایدI'_E از 5آمپر تجاوز نکند زیرا در صورتی که جریان از 5آمپر تجاوز کند جرقه در محل اتصالی دائمی می شود.در نتیجه محل اتصالی گسترش پیدا کرده و خسارت وارده جبران ناپذیر می گردد.

ترانسفورماتور نقطهٔ صفر از نوع ترانسفورماتور خشک است و ولتاژ اتصال کوتاه آن در حدود$U_K=0.04$می باشد.این ترانسفورماتور بلافاصله بین نقطهٔ صفر اتصال ستارهٔ سیم پیچی ژنراتور و زمین نصب می شود.

Power Plant Academy

در صورتی که سیم پیچی ژنراتور بطور مثلث بسته شده باشد،ولتاژ صفر توسط یک مثلث سه فاز بطور مصنوعی ایجاد می شود.

مثال:ژنراتوری با قدرت 25mw و اختلاف فاز نامی $\cos\varphi=0.8$ با ترانسفورماتوری به قدرت 31.5MVAبصورت یک واحد الکتریکی بسته شده است.ولتاژ نامی ژنراتور 10.5KVو نسبت تبدیل ترانسفورماتور 110/10KVمی باشد.برای این ژنراتور باید وسیلهٔ حفاظت اتصال زمین با حدود حفاظت 90٪ در نظر گرفته شود.مطلوبست:

الف-قدرت ترانسفورماتور نقطهٔ صفر و مقاومت بار

ب-ولتاژ خطا در موقع اتصال شبکه به زمین و تنظیم رله

حل:

$$U_1=U_2/U_1=100/10=11$$
$$U_o=U_G/\sqrt{3}.100=10500/\sqrt{3}.100=60.5$$

و مقاومت بار،در صورتی که$K=14$ و $C_T=0.01\mu F$در نظر گرفته شود و$a\%90$ =باشد برابر است با:

$$R_2=R_1/U^2_1=(100-a)/K.\omega.C_T.U_1.U^2_0.100=(100-90)/1.4*100*3140.01*10^{-6}*11*60.5^2=0.562\Omega$$

که ما آنرا 0.55 اهم انتخاب می کنیم.

و در نتیجه جریان اتصال زمین در طرف ثانویه ترانسفورماتور نقطهٔ صفر برابر می شود با:

$$I'_{Emax}=U_{omax}/R_2=100/0.55=18.2A$$
$$I'_{Emin}=U_{omin}/R_2=10/0.55=18.2A$$

و جریان در طرف اولیه برابر است با:

$$I'_{Emax}=I'_{Emax}/U_o=182/60.5=3.03A$$
$$I'_{Emin}=I'_{Emin}/U_o=18.2/60.5=0.303A$$

و چنانچه دیده می شود ماکزیمم جریان اتصال زمین کمتر از 5آمپر است و قدرت ترانسفورماتور صفر برابر است با:

$$N=U_G/\sqrt{3}.I'_{Emax}=10500/\sqrt{3}*0.303=18.4KVA$$

که ما قدرت ترانسفورماتور صفر را 20 کیلوولت آمپر انتخاب می کنیم.

در صورتیکه اتصال زمین در طرف ولتاژ قوی (شبکه) اتفاق افتد جریان اتصال زمین برابر:

$$I_E=U_N/\sqrt{3}.\omega.C_T.10^{-6}=115500/\sqrt{3}*314*0.01*10^{-6}=0.209$$

خواهدشد.در این رابطه بجای ولتاژ 110 کیلو ولت ماکزیمم ولتاژ از رابطهٔ زیر قرار داده شده است.

$$U_{Nmax}=1.05*110KV=115.5KV$$

و چون مینیموم جریان اتصال زمین در صورتیکه اتصالی در ژنراتور اتفاق افتاده باشد برابر با 0.303 آمپر می باشد.در اینصورت حفاظت بطریق صحیح عملی شده است و اتصالی در شبکه سبب قطع بیموقع ژنراتور نمی گردد.در ضمن ولتاژ صفر در موقعی که شبکه اتصال زمین شده باشد برابر است با:

$$I_E=I_E.U_o=0.209*60.5=12.7A$$
$$U_F=I_E.R_2=12.7*0.55=7V$$

و چون حداقل ولتاژ صفر در موقع اتصال زمین داخلی (اتصال زمین سیم پیچی ژنراتور)برابر با 10 ولت است.می توان رله را بروی 9 ولت تنظیم کرد.

4-2-1-2- استفاده از رلهٔ آمپریک در حفاظت اتصال زمین

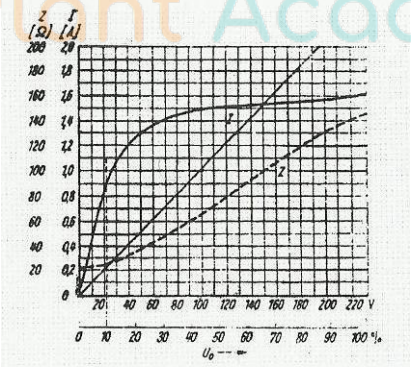
همانطور که گفته شد،هر چه محل اتصال به نقطهٔ صفر اتصال ستارهٔ سیم پیچی ژنراتور نزدیکتر شود جریان اتصال زمین کوچکتر می گردد،در صورتیکه اگر بخواهیم بکمک روش ولتمتری فوق بیش از 90٪ سیم پیچی ژنراتور را در مقابل اتصال زمین حفاظت کنیم،بعلت ثابت بودن مقاومت بار،باید رله با جریان اتصال زمین خیلی زیاد کار کند و در اینصورت قدرت ترانسفورماتور نقطهٔ صفر نیز زیاد می شود.

در مثال فوق اگر بخواهیم از 95٪ سیم پیچی حفاظت کنیم،جریان اتصال زمین و قدرت ترانسفورماتور صفر دو برابر خواهد شد.لذا برای حفاظت های بیش از 90٪ بهتر است بجای مقاومت ثابت از یک مقاومت متغیر که تغییرات آن تابعی از ولتاژ است استفاده شود.

برای مقاومت متغیر و تابع ولتاژ می توان از تعدادی مقاومت مخصوص که به صورت لامپ ساخته می شود بطور موازی استفاده کرد.

تغییرات و مشخصهٔ این مقاومت طوریست که در ولتاژ کم،جریان اتصال زمین نسبتاً زیادی عبور می کند ولی این جریان با ازدیاد تدریجی ولتاژ مانند شکل(25) خیلی کم افزایش پیدا خواهد کرد.

Power Plant Academy



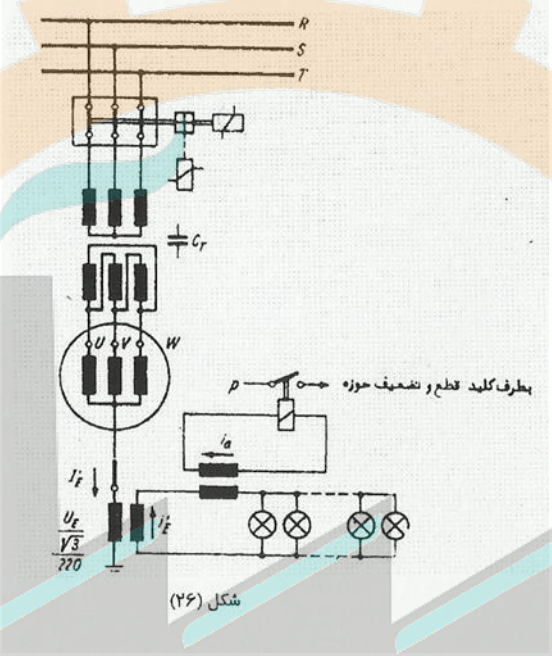
شکل (۲۵)

در این روش حفاظت،بجای رلهٔ ولتمتری از رلهٔ آمپریک استفاده می شود و آنرا بروی یک ترانسفورماتور جریان بین راه (ردوکتور)می بندند.

چون این مقاومت های متغیر FeH بصورت لامپ می باشند و برای ولتاژ 220ولت ساخته شده است،باید ترانسفورماتور صفر در اینحالت بخصوص دارای نسبت تبدیل زیر باشد:

$$U=U_G/\sqrt{3}/220V$$

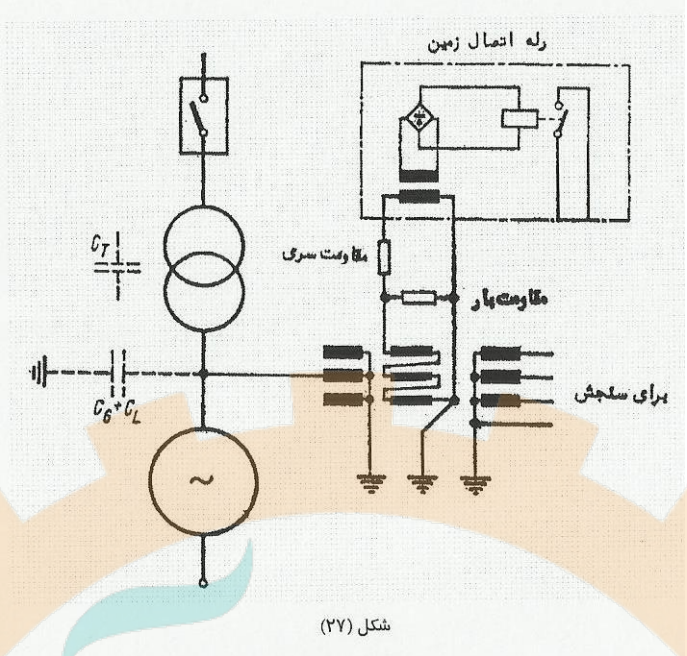
با استفاده از این روش می توان حفاظت را به 95٪ رسانید.این روش طبق شکل (26)می باشد.



4-2-1-3- رلهٔ اتصال زمین برای ژنراتوری که نقطهٔ صفر ستارهٔ آن ایزوله باشد

در اینحالت نیز چون ژنراتور و ترانسفورماتور تشکیل یک واحد را می دهند و ارتباط طرف ولتاژ قوی و ولتاژ ضعیف ترانسفورماتور توسط کاپاسیتهٔ ترانسفورماتور C_{Tr} برقرار می شود،اتصالی در ولتاژ قوی مستقیماً روی ولتاژ ضعیف مؤثر نمی باشد.از اینجهت می توان بکمک ترانسفورماتور ولتاژ با سیم پیچی ثانویه مثلث باز،ولتاژ جابجایی را که در اثر اتصال بدنه در داخل ژنراتور و یا در اثر اتصال زمین یکی از سیم های رابط بین ژنراتور و ترانسفورماتور بوجود می آید مشخص کرده و توسط یک رلهٔ ولتمتری و یا یک رلهٔ آمپریک مانند شکل(27) سنجید.

Power Plant Academy



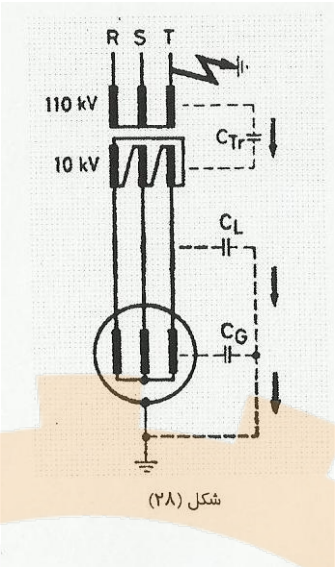
شکل (۲۷)

ولتاژ جابجایی ایجاد شده در دو سر سیم پیچی باز ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ،همانطور که گفته شد متناسب با محل اتصالی شده از صفر تا $U_G/\sqrt{3}$ تغییر می کند و حساسیت رلهٔ اتصال زمین که بروی دو سر سیم پیچی مثلث باز بسته شده است باید بقدری باشد که در اثر اتصال زمین شدن شبکه عمل نکند.

اگر اتصالی در طرف ولتاژ قوی باشد،چون ولتاژ قوی و ضعیف بطور خازنی بهم مربوطند،(کاپاسیتهٔ متقابل سیم پیچی ثانویه و اولیه ترانسفورماتورC_T) باز هم یک اختلاف پتانسیلی بین دو سر سیم پیچی باز ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ ایجاد می شود که بزرگی آن بستگی به نسبت مقاومت های خازنی C_T و کاپاسیتهٔ قسمت ولتاژ ضعیف نسبت بزمین دارد.

کاپاسیتهٔ قسمت ولتاژ ضعیف نسبت بزمین عبارتست از کاپاسیتهٔ بین سیم های رابط ژنراتور و ترانسفورماتور نسبت بزمین C_L و کاپاسیتهٔ خود ژنراتور نسبت بزمین C_G که در شکل(28) نشان داده شده است.

Power Plant Academy



شکل (۲۸)

این ولتاژ که در حقیقت ولتاژ الکتریکی مزاحم می باشد سبب می شود که نتوان رلهٔ اتصال زمین را طوری تنظیم کرد که 100٪ سیم پیچی ژنراتور در مقابل اتصال بدنه حفاظت شود.

اگر ولتاژ جابجایی در اثر اتصال زمین شدن شبکه U_M باشد.

$$U_M=U_{Tr}/\sqrt{3}$$

این ولتاژ بروی ظرفیت های C_{Tr} و C_G+C_L به نسبت عکس ظرفیت ها تقسیم می شود.در اینصورت می توان ولتاژ مزاحم U_{St} را بطریق زیر محاسبه نمود.

$$U_{St}/U_M-U_{St}=C_{Tr}/C_G+C_L$$

و یا

$$U_{St}=(U_M-U_{St})C_{Tr}/C_G+C_L$$

و

$$U_{St}/U_M.C_{Tr}/C_G+C_L+C_{Tr}$$

و چنانچه دیده می شود می توان ولتاژ مزاحم را بکمک بزرگ کردن کاپاسیتهٔ سیم رابط بین ژنراتور و ترانسفورماتور،توسط طویل انتخاب کردن کابل بمقدار قابل ملاحظه ای کوچک کرد.

با توضیحاتی که داده شد،معلوم می شود که در این روش نیز باید رلهٔ اتصال زمین دارای حساسیت خاصی باشد. در صورتیکه از رلهٔ الکترومغناطیسی بعنوان رلهٔ اتصال زمین استفاده شود می توان 80٪ سیم پیچی را حفاظت نمود.با استفاده از رلهٔ قاب گردان می توان حفاظت را تا 90٪ انجام داد ولی باید جهت یک طرفه کردن جریان طبق شکل(27) از یکسو کننده استفاده کرد.

Power Plant Academy

این تغییر حساسیت در دو دستگاه فوق همانطور که می دانیم به این جهت است که دستگاه الکترومغناطیسی متناسب با مجذور جریان و دستگاه قاب گردان متناسب با خود جریان کار می کند.

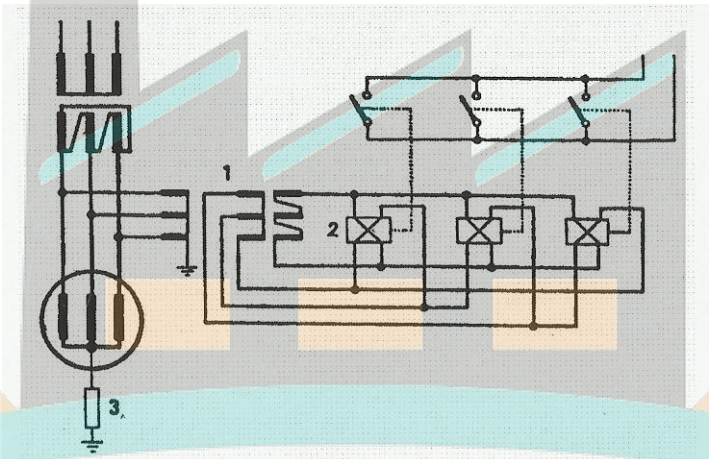
در ضمن در صورتیکه از رلهٔ الکترودینامیکی جهت حفاظت اتصال زمین استفاده شود.می توان حدود سنجش و حفاظت را تا 90٪ بالا برد.شکل(29) طرز اتصال رلهٔ الکترودینامیکی را جهت حفاظت اتصال زمین نشان می دهد.

در این شکل:

1-ترانسفورماتور ولتاژ با سیم پیچی مثلث باز

2-رلهٔ الکترودینامیکی

3-مقاومت اهمی برای کوچک کردن ولتاژ مزاحمU_{St}



شکل (۲۹)

چنانچه دیده می شود دو سیم پیچی رلهٔ الکترودینامیکی یکی بروی ولتاژ جابجا شدهٔ نقطهٔ صفر و دیگری بروی ولتاژ ثابت و معین بسته می شود.برای بالا بردن حساسیت دستگاه باید هر دو ولتاژ با هم همفاز و یا دارای اختلاف فاز جزیی باشند و چون جهت بردار جابجایی بستگی به فازی دارد که اتصال زمین شده است.لذا می توان از سه رلهٔ الکترودینامیکی استفاده کرد که یکی از سیم پیچی های آنها بطور موازی از ولتاژ جابجا شدهٔ نقطهٔ صفر از دو سر سیم پیچی مثلث باز تغذیه می شود و سیم پیچی های دیگر بترتیب از ولتاژ شبکه نیرو می گیردند.در اینصورت هر فازی مانند شکل (28) دارای رلهٔ مربوط بخود خواهد بود.

Power Plant Academy

4-2-1-4- حفاظت 100٪ اتصال زمین ژنراتور

اغلب این فکر پیش می آید که آیا باید حفاظت را طوری انجام داد که 100٪ سیم پیچی ژنراتور (تمام سیم پیچی)در مقابل اتصال بدنه حفاظت شود یا 90٪ حفاظت که بوسیله دستگاه های فوق انجام می گیرد کافی است.

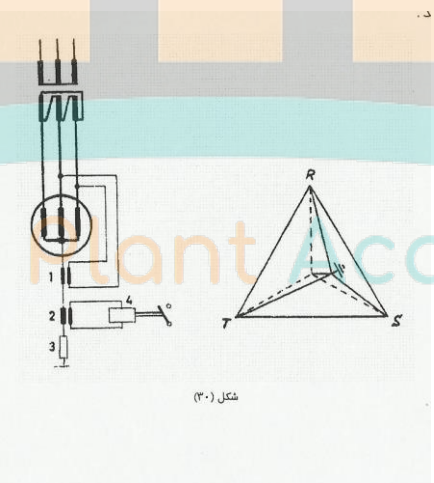
تجربه نشان داده است که امکان اتصال زمین در قسمت هایی از سیم پیچی ژنراتور که از نقطهٔ ستاره دور است خیلی زیاد و در نزدیکی های نقطه صفر به قدری کم است که می توان گفت امکان آن تقریباً وجود ندارد.

از این جهت اتصال زمین در قسمت های نزدیک اتصال ستارهٔ سیم پیچی حتی تا قسمت های 20٪ ولتاژ نیز از محالات است.این موضوع با در نظر گرفتن اینکه عایق سیم پیچی ها در تمام قسمت های سیم پیچی یکسان است کاملاً روشن به نظر می رسد.

در ضمن در صورت وقوع یک چنین اتصالی در قسمت های نزدیک نقطهٔ صفر ستاره،جریان اتصالی بقدری کم است که نمی تواند باعث خراب شدن هستهٔ آهن ژنراتور گردد.

ولی همانطور که گفته شد این جریان اغلب باعث خراب کردن عایق در محل اتصالی و سرایت آن به قسمت های دیگر می شود و ممکن است سبب اتصال دو فاز گردد.از اینجهت است که باید حتی اگر اتصالی در نزدیکی نقطهٔ صفر هم باشد،بوجود آن پی برد،آنرا سنجید و ژنراتور را از کار انداخت و رفع اتصالی کرد.

جهت حفاظت 100٪ اتصالی سیم پیچی استاتور ژنراتور با بدنه ماشین،معمولاً پتانسیل نقطه صفر ژنراتور را که به زمین وصل است مانند شکل(30) توسط یک ولتاژ خارجی تغییر می دهند.



شکل (۳۰)

Power Plant Academy

چنانچه دیده می شود ،مابین اتصال ستارۀ ژنراتور و زمین،یک ترانسفورماتور ولتاژ نصب شده است.این ترانسفورماتور که توسط ولتاژ همبستگی ژنراتور تغذیه می شود.سبب بالابردن اختلاف سطح نقطۀ صفر ستارۀ ژنراتور می شود.

ولی به محض اینکه اتصالی در داخل ژنراتور اتفاق افتد،جریان بحدی خواهد رسید که سبب بکار انداختن رلۀ جریانی که حفاظت ژنراتور بکار برده شده است می شود.معمولاً به توسط ترانسفورماتور ولتاژ اضافی می توان ولتاژ نقطۀ صفر را تا 10٪ ولتاژ نامی ژنراتور بالا برد.

همانطور که از شکل (30) ملاحظه می شود،بین اتصال ستاره ژنراتور و زمین،یک ترانس افزاینده ولتاژ نقطۀ صفر (مشخص شده با عدد1) نصب شده که باعث بالا بردن اختلاف سطح نقطۀ صفر ستاره ژنراتور می شود.ولی به محض اینکه اتصال در داخل ژنراتور اتفاق افتد،جریان بحدی می رسد که سبب بکار انداختن رله جریانی که برای حفاظت ژنراتور بکار برده شده است می شود.

معمولاً توسط ترانسفورماتور ولتاژ اضافی می توان ولتاژ نقطه صفر را تا 15 درصد ولتاژ نامی ژنراتور بالا برد.در شکل(30)ترانسفورماتور افزاینده ولتاژ نقطه صفر با عدد 1،ترانسفورماتور جریان برای تغذیه رله جریان با 2،رله جریان با4و3 برای نمایش یک مقاومت اهمی است که جهت محدود کردن جریان اتصال زمین بکار برده شده است.

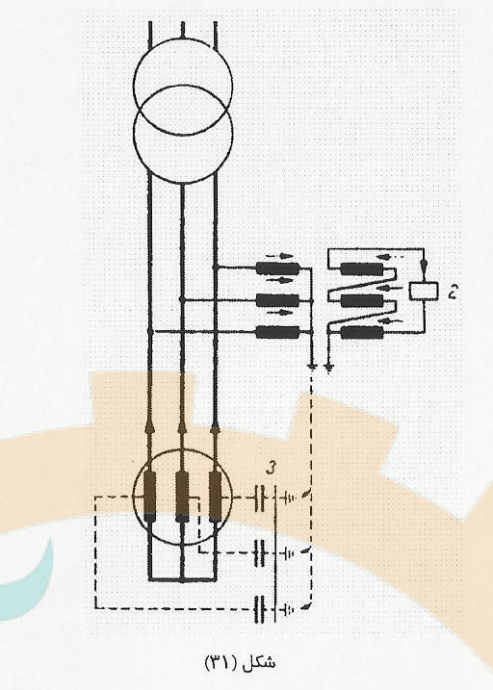
این مقاومت نیز از نوع مقاومت تابع ولتاژ می باشد تا از عبور جریان های بیش از حد و خطرناک که سبب صدمه زدن به آهن ژنراتور می شود جلوگیری شود.

این روش حفاظت به وسائل زیاد نیاز دارد و خیلی گران تمام می شود.زیمنس برای حفاظت ژنراتور در قسمت 10٪ آخر سیم پیچی ژنراتور روشی بکار می برد که از روش فوق بمراتب سهل تر و ارزانتر است.

همانطور که می دانیم هر ژنراتوری علاوه بر ولتاژ با فرکانس 50 دارای ولتاژ با فرکانس بالاتر نیز می باشد که از همه مهمتر و بزرگتر ولتاژ با فرکانس 150 سیکل یا هارمونیک ک سوم است.مقدار این ولتاژ در موقع بی باری ژنراتور،در حدود 5-2٪ ولتاژ نامی و در حالت بار نامی قدری بزرگتر است.

از این ولتاژ می توان جهت تشخیص اتصال بدنه در حوالی نقطۀ صفر سیم پیچی ژنراتور استفاده کرد.این ولتاژ را می توان در دو سر سیم پیچی ثانویه مثلث باز یک ترانسفورماتور ولتاژ مانند شکل(31) بدست آورد.

Power Plant Academy



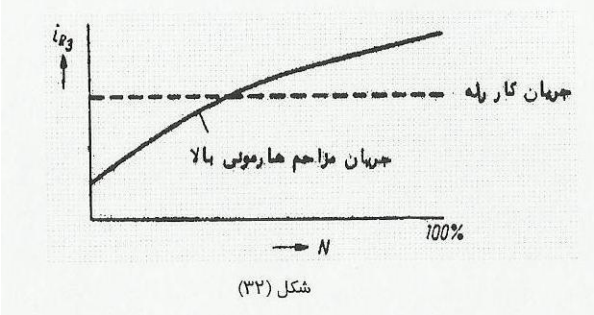
شکل (۳۱)

چنانچه شکل(31) نشان می دهد این جریان های با هارمونیک سوم از ترانسفورماتور ولتاژ می گذرند و در سیم پیچی باز ثانویه آن ایجاد یک ولتاژ با هارمونیک سوم می کند که البته از از نظر قدر مطلق خیلی کوچکتر از حالتی است که یک اتصال زمین در محل اتصال ستاره یا در حوالی آن ایجاد شود،زیرا اختلاف سطحی که در دو سر سیم پیچی باز ثانویه ترانسفورماتور ایجاد می شود بستگی به جریانی که از سیم پیچی اولیه آن می گذرد دارد.این جریان در موقعی که نقطهٔ صفر ستاره یا حوالی آن بزمین وصل شده باشد بمراتب بیشتر از حالتی است که جریان از مقاومت های خازنی بین سیم پیچ ها و زمین عبور کند.

برای سنجش ولتاژ هارمونیک سوم معمولاً از یک رلهٔ جریان زیاد استفاده می شود.بطوریکه رلهٔ جریان زیاد را با یک مقاومت اهمی در دو سر سیم پیچی مثلث باز وصل می کنند و برای اینکه فقط جریانی که در اثر ولتاژ با فرکانس 150 بوجود می آید از رله عبور کند،یک سد فرکانس بالا نیز در مدار رله اضافه می شود.

در صورتیکه ژنراتور بدون باز باشد همانطور که گفته شد ولتاژ با فرکانس 150 خیلی کوچک است ولی در موقعی که از ژنراتور بار گرفته شود ولتاژ الکتریکی هارمونیک های بالا مخصوصاً هارمونیک سوم نیز زیاد می شود تا جایی که در اغلب ماشین ها باعث بکار انداختن نابجای رلهٔ اصلی اتصال زمین می گردد.

این جواب دادن رله در مقابل ولتاژ هارمونیک های بالا را باید بوسیله ای بدون اینکه حساسیت رله کم شود از بین برود.زیرا کم شدن حساسیت رله مثل این می ماند که حفاظت آن محدود شده باشد.شکل(32) جریان هارمونیک های بالا را نسبت به بار ژنراتور و همچنین جریانی را که رله بازای آن عمل می کند نشان می دهد.



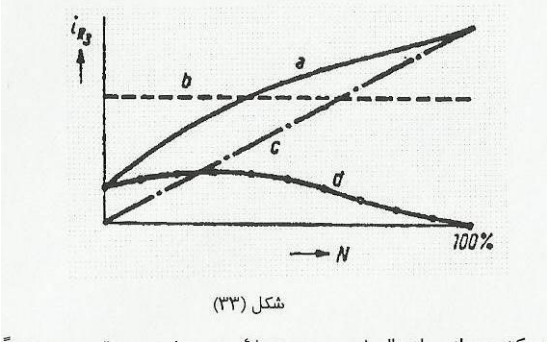
شکل (۳۲)

چنانچه دیده می شود جریان با فرکانس 150 سیکل می تواند از جریانی که جهت بکار انداختن رله لازم است خیلی بیشتر شود.

بوسیلهٔ یک دستگاه پتانسیومتری می توان این اضافه شدن جریان هارمونیک سوم بازای بارهای زیاد را تقریباً از بین برد.به این طریق که جریانی را که متناسب با جریان بار و به اندازه قدر مطلق شدت جریان هارمونیک سوم باشد و با آن 180 درجه نیز اختلاف فاز دارد،از رلهٔ اتصال زمین عبور می دهیم.این جریان اثر جریان هارمونیک سوم را در بارهای زیاد بکلی خنثی می کند.شکل(33)

از آنجا که ترقی جریان هارمونیک سوم با اضافه شدن بار خیلی زیاد است ولی ترقی جریان مزاحم بعلت ثابت بودن کاپاسیتهٔ ژنراتور در هر حال خیلی کمتر از جریان هارمونیک سوم در حالت اتصالی شدن نقطهٔ صفر،یا حوالی نقطهٔ صفر می باشد.می توان حتی جریانی را که برای از بین بردن جریان هارمونیک سوم در بارهای بالا و بدون عیب ماشین بکار می رود طوری انتخاب کرد که از جریان هارمونیک سوم نیز قدری بیشتر باشد.بطوریکه همیشه یک جریان اضافی در رله باقی بماند.در شکل (33) این جریان اضافی باقیمانده با d نشان داده شده است.a جریان هارمونیک سوم مزاحم و b جریان شروع کار رله و c جریان خنثی کننده می باشد.بدینوسیله می توان مطمئن بود که رله هیچگاه سبب قطع بیجای ژنراتور نخواهد شد.از آنچه گفته شد می توان نتیجه گرفت که کلیه اتصال زمینهایی که در 90٪ حلقه های سیم پیچی ژنراتور بوجود می آید بتوسط سنجش ولتاژ جابجایی و اتصال زمینهایی که در 10٪ حلقه های نزدیک به نقطهٔ صفر ستارهٔ سیم پیچی ژنراتور بوجود می آید.بوسیله موج هارمونیک سوم سنجیده و مشخص می شود.

Power Plant Academy



شکل (۳۳)

همان طور که می دانیم اتصال زمین در نقطهٔ صفر یا در حوالی صفر اولاً خیلی بندرت پیش می آید و در ثانی اگر اتفاق افتد تا مدتی خطرناک نمی باشد.از اینجهت بهتر است که اصولاً رلهٔ حفاظتی اتصال زمین در حوالی پتانسیل صفر را از قسمت های دیگر ژنراتور مجزا کرد.به این دلیل برای حفاظت این دو قسمت از دو دستگاه حفاظتی مجزا استفاده می شود.

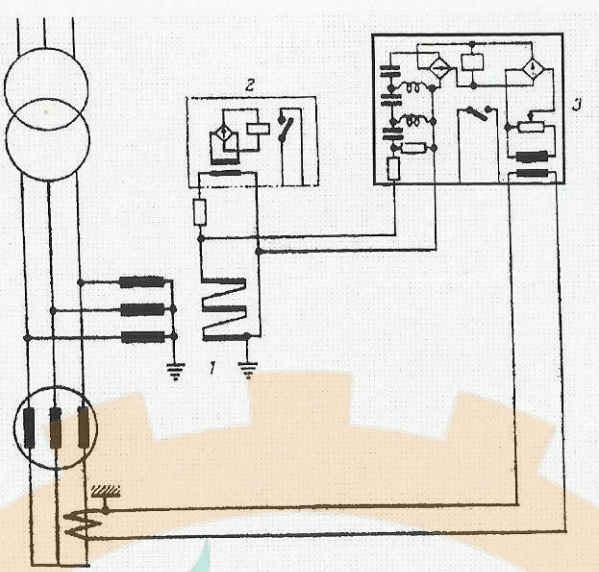
دستگاهی که حفاظت 90٪ سیم پیچی را بعهده دارد بمحض عمل کردن،ژنراتور را از مدار خارج می کند و تحریک را بر میدارد.و دستگاهی که حفاظت 10٪ سیم پیچی نزدیک به نقطهٔ صفر ستاره را بعهده دارد در موقع اتصالی بوسیله بوق و یا سیگنال ظهور اتصالی را خبر می دهد.

مخصوصاً در حالتیکه ژنراتور شبکهٔ بزرگی را تغذیه می کند.(بوسیله چندین ژنراتور)،بسیار لازم است که غفلتاً توان قابل ملاحظه ای بعلت یک اتصال زمین ناچیز قطع نگردد.

شکل(34) دستگاه حفاظت اتصال بدنهٔ ژنراتور را که شامل دو دستگاه حفاظتی مجزا یکی برای حفاظت از 0-10٪ و دیگری برای حفاظت از 10-100٪ می باشد،نشان می دهد.

در این شکل رلهٔ 2 جهت حفاظت دستگاه در قسمت ولتاژ 10٪ به بالا می باشد و رلهٔ 3 قسمت 10٪ به پایین را حفاظت می کند.چون رلهٔ 3 فقط با موج هارمونیک سوم باید کار کند،لذا بوسیله سد فرکانسی از عبور جریان های فرکانس 50 یا کمتر بداخل رله جلوگیری شده است.

Power Plant Academy



شکل (۳٤)

4-2-2- حفاظت اتصال بدنه ژنراتورهایی که مستقیماً شین را تغذیه می کند

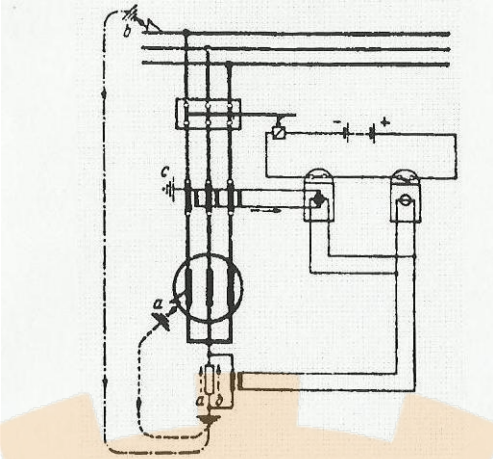
اگر ژنراتور مستقیماً روی شین کار کند،سنجش ولتاژ جابجایی نقطه صفر به تنهایی جهت تعیین اتصال بدنه در داخل ژنراتور کافی نیست زیرا ولتاژ صفر در موقعی که اتصالی در شبکه نیز اتفاق افتد به همان بزرگی است که اتصال در شین های ژنراتور اتفاق می افتد.

4-2-2-1- حفاظت ژنراتوری که نقطه صفر ستاره آن را بتوان زمین نمود

الف-استفاده از رلهٔ ولتمتری به عنوان رله قطع کننده و رله واتمتری به عنوان به عنوان رله سد کننده

در این حالت مطابق شکل(35) از یک رله ولت متری به عنوان رله قطع کننده استفاده می شود.در موقع اتصال سیم پیچی ژنراتور با بدنه ماشین،اختلاف سطحی که در دو سر ترانسفورماتور صفر تولید می شود سبب بکار انداختن رله ولت متری می شود.ولی از آنجا که اتصال زمین در شبکه نیز می تواند سبب بکار انداختن رله ولت متری می شود.لذا برای جلوگیری از قطع بی موقع ژنراتور از یک رله ولت متری نیز کمک گرفته می شود بطوریکه سیم پیچی ولتاژ رله ولت متری توسط ترانسفورماتور صفر و سیم پیچی جریان توسط برآیند جریان های سه فاز خروجی ژنراتور تغذیه می شود.

Power Plant Academy



شکل (۳۵)

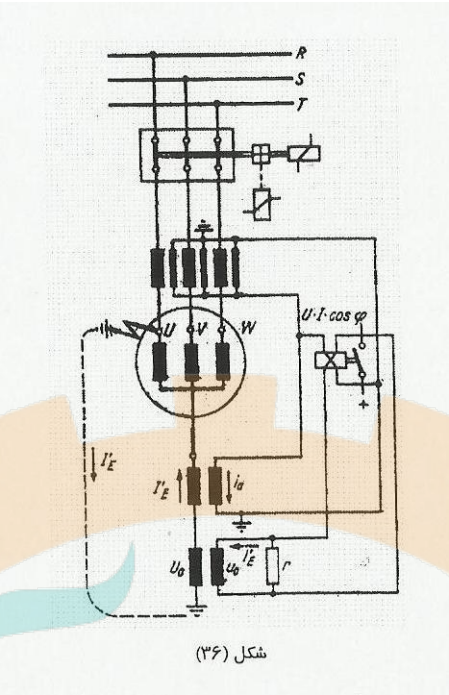
برآیند جریان ها توسط سه ترانسفورماتور جریان که در طرف ثانویه به صورت موازی بسته شده است بوجود می آید و چنانچه دیده می شود اگر اتصالی در شبکه اتفاق افتد بعلت عبور جریان از محل اتصالی به نقطه صفرژنراتور،برآیند جریان ها در دو سر سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور جریان،صفر نشده و رله ولت متری در اثر گرفتن جریان و ولتاژ عمل می کند و مدار بوبین قطع کننده کلید اصلی ژنراتور باز می شود.

مقاومتی که بین نقطه صفر ژنراتور و زمین قرار دارد برای محدود کردن جریان اتصال زمین و جلوگیری از خطرات بعدی آن بکار برده شده است.

ب-استفاده از یک رله ولت متری

چنانچه از شکل(36)دیده می شود سیم پیچی جریان رله ولت متری بروی تفاوت جریان بسته شده است و سیم پیچی ولتاژ رله توسط ترانسفورماتور نقطهٔ صفر تغذیه می شود که دارای بار اهمی r است.

Power Plant Academy



شکل (۳۶)

بار اهمی را طوری حساب می کنند که جریان اتصال زمین در موقع اتصال زمین شدن شبکه از 5آمپر تجاوز نکند.

وسایلی که جهت حفاظت ژنراتور در اینحالت بکار رفته است عبارتست از:

- ترانسفورماتور نقطهٔ صفر
- سه ترانسفورماتور جریان که در طرف خروجی سه فاز ژنراتور نصب شده و از طرف ثانویه موازی بسته شده است.
- یک ترانسفورماتور جریان کمکی که مابین نقطهٔ صفر ستارهٔ ژنراتور و ترانسفورماتور نقطهٔ صفر قرار دارد.
- یک رلهٔ الکترودینامیکی که با یک رلهٔ زمانی مجموعاً رله اتصال زمین را تشکیل می دهد.

چنانچه دیده می شود سیم پیچی جریان رلهٔ ولت متری بصورت رلهٔ دیفرانسیل مابین مدار ترانسفورماتورهای جریان بسته شده است و فقط موقعی می تواند کار کند که منتجهٔ جریان ها در دو طرف صفر نشود و چون در موقعی که اتصال زمین در شبکه باشد،منتجهٔ جریان ها در دو طرف ژنراتور صفر می شود،رله نمی تواند کار کند.البته این در صورتیست که نسبت تبدیل ترانسفورماتور سد کننده و ترانسفورماتور قطع کننده برابر باشد.اغلب بجهت اطمینان بیشتر ضریب تبدیل ترانسفورماتور جریان سد را طوری انتخاب می کنند که رابطه زیر برقرار باشد تا هیچوقت سبب قطع بی موقع رله نشود:

Power Plant Academy

$U_s/U_A=1/2$

نظر به اینکه رلهٔ ولت متری در حقیقت یک رلهٔ جهت دار است آن طوری تنظیم می کنند که نتواند با جریان سد عمل کند.در ضمن چون در اینجا از رلهٔ واتمتری استفاده شده است،باید رله حاصل ضرب $U.I.\cos\varphi$ را بسنجد.از اینجهت باید سعی کرد که جریان I'_E حتی المقدور با ولتاژ U_0 هم فاز شود.به اینجهت از مقاومت اهمی r در ترانسفورماتور نقطهٔ صفر استفاده شده است.

مقاومت بار ترانسفورماتور صفر همانطور که قبلاً نیز حساب شده برابر است با:

$$R_2=(100-a).U_o/100.U_0^2.I'_E$$

در این رابطه U_0 عبارتست از نسبت تبدیل ترانسفورماتور صفر و a عبارتست از حدود حفاظت که معمولاً 90٪ انتخاب می شود و I'_E عبارتست از جریان اتصال زمین که معمولاً نباید از 5آمپر تجاوز کند و U_0 عبارتست از ولتاژ صفر و برابر است با:

$$U_0=U_G/\sqrt{3}$$

برای اینکه جریان اتصال زمین در حالتی که اتصالی در شبکه اتفاق افتاده باشد و یا در حالتی که در نزدیکی های نقطهٔ ستاره ،زمین شده باشد با هم خیلی متفاوت نباشد،بجای مقاومت ثابتrاز یک مقاومت متغیر استفاده می شود.مثلاً آ ا گ از لامپ FeH استفاده می کند که منحنی مشخصهٔ آن طبق شکل (25) می باشد.چنانچه دیده می شود جریان این لامپ ها در ضمن تغییرات ولتاژ از 60تا220 ولت فقط از1.4تا1.6 آمپر تغییر می کند.برای اینکه جریان اتصال زمین اولیه از 5 آمپر تجاوز نکند باید تعداد معینی از این لامپ ها را با هم موازی وصل کرد.تعداد مقاومت های موازی برابر است با:

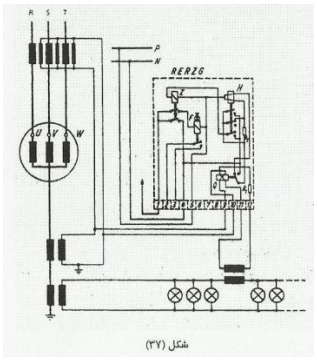
$$N=I'_{Emax}.U_0/I_n$$

در این رابطه I'_{Emax} عبارتست از جریان اتصال زمین در موقعی که اتصالی در شبکه باشد.i_n عبارتست از جریان یکی از لامپ ها در ولتاژ 220 ولت.

و $u_0=U_G/\sqrt{3}/220$عبارتستازنسبتبدیلترانسفورماتورصفر.

شکل(37)طرز اتصال چنین رله را نشان می دهد.

Power Plant Academy



شکل (۳۷)

این دستگاه تشکیل شده از یک رله واتمتری و یک رله زمانی و دو رله کمکی.

مثال:

در یک کارخانه قند نیشکر یک ژنراتور با قدرت 25 مگاوات و با $\cos\varphi=0.8$ نصب شده است.ولتاژ شبکهٔ نامی ژنراتور 6.3kv است.این ژنراتور مستقیماً شبکهٔ کارخانه را تغذیه می کند و باید دارای دستگاه حفاظت اتصال زمین در حدود 90٪ باشد.شبکهٔ6 کیلو ولت کارخانه کوچک و دارای کاپاسیتهٔ زمین کمی است.

جریان اتصال زمینی که در اثر اتصال شبکه بوجود می آید 4آمپر است.مطلوبست مشخصات ترانسفورماتورهای جریان و ترانسفورماتور نقطهٔ صفر و مقاومت بار اگر بخواهیم از رلهٔ شکل(38)استفاده نماییم.

حل:

نسبت تبدیل ترانسفورماتور نقطهٔ صفر u_0 برابر است با:

$$u_0=\frac{U_G/\sqrt{3}}{220}=16.5$$

ماکسیمم جریان اتصال زمین I'_{Emax} در موقعی که اتصالی در شبکه باشد باید از 5 آمپر تجاوز نکند در ضمن ولتاژ ماکسیمم برابر است با:

$$U_{omax}=\frac{U_G}{\sqrt{3}}=\frac{6300}{\sqrt{3}}=3640v$$

پس قدرت ترانسفورماتور صفر برابر است با:

$$N_0=U_{max}\cdot I'_{Emax}=3640*5=18200VA$$

که ما آنرا 20KVA انتخاب می کنیم.

جریان ثانویه ترانسفورماتور صفر در صورتی که اتصال زمین بلافاصله بعد از ژنراتور باشد برابر است با:

$I'_{Emax}=I'_{Emax}.u_0=5*16.5=82.5A$

از روی منحنی مشخصات شکل (25) لامپ FeH در ولتاژ 220 ولت،جریانی بشدت 1.6A می کشد،لذا تعداد لامپهای لازم برابر است با:

www.powerplantac.com

$N=I'_{Emax}.u_0/i_n=51.5$

که ما آنرا 51عدد انتخاب می کنیم.این لامپ ها بطور موازی بسته می شوند.

مشخصات ردوکتور:

حل:

نسبت تبدیل ترانسفورماتور نقطهٔ صفر U_0 برابر است با:

$$U_0 = \frac{U_0/\sqrt{3}}{220} = 16.5$$

ماکسیموم جریان اتصال زمین $I_{E\,max}$ در موقعی که اتصالی در شبکه باشد باید از 5 آمپر تجاوز نکند در ضمن ولتاژ ماکسیموم برابر است با:

$$U_{o\,max} = \frac{U_G}{\sqrt{3}} = \frac{6300}{\sqrt{3}} = 3640v$$

پس قدرت ترانسفورماتور صفر برابر است با:

$$N_\circ = U_{max}.I_{E\,max} = 3640 * 5 = 18200VA$$

که ما آنرا 20KVA انتخاب می کنیم.

جریان ثانویه ترانسفورماتور صفر در صورتی که اتصال زمین بلافاصله بعد از ژنراتور باشد برابر است با:

$$i_{E\,max} = I_{E\,max}.U_\circ = 5 * 16.5 = 82.5A$$

از روی منحنی مشخصات شکل (25) لامپ FeH در ولتاژ 220 ولت جریانی به شدت 1.6A می کشد. لذا تعداد لامپهای لازم برابر است با:

$$n = \frac{I_{E\,max}.U_0}{i_n} = 51.5$$

که ما آنرا 51 عدد انتخاب می کنیم. این لامپها به طور موازی بسته می شوند.

مشخصات ردو کتور:

نسبت تبدیل نامی ترانسفورماتور جریان طبق جدول مشخصات کارخانهٔ سازنده انتخاب می شود. مثلاً با نسبت تبدیل 20A/0.15A و قدرت 15VA و در این صورت اگر 13 لامپ FeH را بعد از ردو کتور قرار دهیم.

جریانی که از سیم پیچی اولیهٔ ردوکتور می گذرد برابر است با:

$$13 * 1.6 = 20.8$$

که با مشخصات ردو کتور مطابقت دارد (طبق مشخصات 20 آمپر).

Power Plant Academy

حال اگر مصرف سیم پیچی ولتاژ رلهٔ اتصال زمین 15VA و ولتاژ نامی آن برابر 100V باشد. جریانی که رله می کشد برابر می شود با:

$$i_R = \frac{N_R}{U_R} = \frac{15VA}{100V} = 0.15A$$

در این صورت نسبت تبدیل ردوکتور برابر خواهد شد با:

الف- نسبت تبدیل جریانها:

$$u_i = \frac{n.i_n}{i_R} = \frac{13 * 1.6}{0.15} = 138$$

به طوریکه مطابق مشخصات موجود در کاتالوگ دستگاه نسبت تبدیل ردوکتور موجود 138 می باشد.

ب- نسبت جریان به ولتاژ:

$$u_u = \frac{n.i_n}{U_R} = \frac{13 * 1.6}{100} = 0.208A/V$$

که طبق مشخصات $U_u = 0.2A/V$ می باشد.

طبق منحنی مشخصات لامپ FeH که در شکل (25) داده شده است. در موقعی که اتصال بدنه در 10٪ سیم پیچی به طرف نقطهٔ صفر ستاره باشد. $(U_0 = 22V)$، جریان لامپ برابر 0.9 آمپر است و چون ما 51 لامپ به طور موازی بسته بودیم. جریان کل در حالت مینیموم برابر است با:

$$i_{E\,min} = i_{n\,min}.n = 0.9 * 51 = 46A$$

این جریان سبب عبور جریان اولیه اتصال زمین می شود که برابر است با:

$$I_{E\,min} = \frac{i_{E\,min}}{U_0} = \frac{46}{16.5} = 2.8A$$

و چون 13 لامپ پشت سر ردوکتور بسته شده است جریان مینیموم ردوکتور برابر است با:

$$i_{1Red} = 0.9 * 13 = 11.7A$$

و جریان ثانویه ردوکتور برابر است با :

$$i_{2\,Red} = \frac{11.7}{133} = 0.088A$$

و مینیموم ولتاژ دو سر سیم پیچی ولتاژ رلهٔ اتصال زمین برابر می شود با:

Power Plant Academy

$$U_{R\,min} = \frac{i_{Red}}{U_u} = \frac{11.7A}{0.2A/V} = 59A$$

در صورتیکه قدرت کار رلهٔ 0.33 وات باشد، جریان کار رله برابر است با :

$$i_n = \frac{P_a}{U_{R\,min}} = \frac{0.33W}{59V} = 0.0056A = 5.6mA$$

این جریان را باید ترانسفورماتور جریان کمکی (ترانسفورماتور قطع کننده) بوجود آورد. برای داشتن اطمینان بیشتر به این جریان 50٪ اضافه می شود. در این صورت جریان ثانویه ترانسفورماتور جریان کمکی برابر می شود:

$$1.5 * 5.6 = 8.4mA$$

از روی لیست کارخانه ترانسفورماتور قطع کننده با نسبت تبدیل:

$$60.0.8 - 0.7 - 0.6 - 0.5 - 0.4 - 0.3A$$

انتخاب می شود و اگر رله را بر روی انشعاب 0.3 آمپر ببندیم، در این صورت نسبت تبدیل آن برابر است با:

$$u_a = \frac{60}{0.3} = 200$$

و جریان نامی ژنراتور برابر است با:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3}.U.\cos\varphi} = \frac{25 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 6.3KV \times 0.8} = 2870A$$

با داشتن این جریان می توان نسبت تبدیل ترانسفورماتور سد کننده را برابر با مقدار زیر انتخاب نمود.

$$U_s = \frac{3000}{30} = 100$$

در این صورت شرط $\frac{U_s}{U_\circ} = \frac{1}{2}$ نیز برقرار می شود.

اگر جریان $\acute{I}_{E\,min}$ برابر 2.8 امپر باشد، جریان ترانسفوماتور قطع کننده برابر است با:

$$i_{a\,min} = \frac{2.8A}{60}.0.3 = 0.014A = 14mA$$

می شود. و این جریانی است که رله را بکار خواهد انداخت.

Power Plant Academy

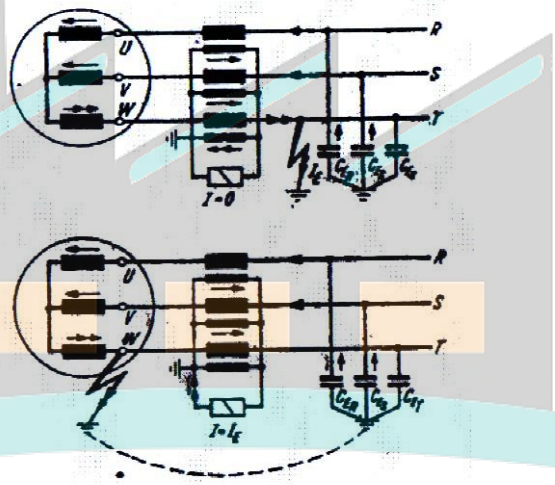
2-2-2-4- حفاظت ژنراتور با نقطهٔ صفر ستاره ایزوله

برای حفاظت ژنراتور در مقابل اتصال زمین، در صورتیکه نقطهٔ صفر ستارهٔ سیم پیچی ها زمین نشده باشد. می توان از جریان اتصال زمین برای بکار انداختن رلهٔ اتصال زمین استفاده کرد. البته بر حسب نوع شبکه (بکه روشن یا خاموش) از تمام جریان اتصال زمین و زا از باقیماندهٔ جریان اتصال زمین برای سنجش استفاده می شود. در صورتیکه باقیماندهٔ جریان اتصال زمین برای بکا انداختن زلهٔ اتصال زمین کافی نباشد. جریان اتصال زمین را به طور مصنوعی تا حد جریان شروع کار رله بالا می بریم.

در ادامه چند روش مهم جهت حفاظت ژنراتور در مقابل اتصال زمین شرح داده می شود.

الف- حفاظت توسط سنجش منتجهٔ جریانها

در صورتیکه جریان اتصال زمین برای بکار انداختن رله کافی باشد. (در شبکه روشن) جهت سنجش منتجهٔ جریانها از سه ترانسفورماتور جریان که مطابق شکل (38) سیم پیچی ثانویه آنها به طور موازی بسته شده و به یک رلهٔ جریانی متصل می شود استفاده می گردد.



شکل (۳۸)

تا موقعی که ژنراتور بدون اتصال زمین باشد و یا در صورتیکه اتصال زمین در خارج از محدودهٔ حفاظت شده (بعد از ترانسفورماتور جریان) باشد منتجهٔ جریانهای سه فاز صفر شده و رله بدون جریان می باشد.

ولی اگر اتصال زمین در ژنراتور یا در سیم رابطه بین ژنراتور و ترانسفورماتور جریان اتفاق افتد. منتجهٔ جریانهای ترانسفورماتورها صفر نشده و رلهٔ جریانی بکار می افتد. برای اینکه عمل سلکتیویته و حفاظت محلی به طور مطمئن انجام شود. باید در انتخاب و نصب ترانسفورماتورهای جریان دقتهای زیر به عمل آید.

Power Plant Academy

- در نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان شدت جریان اتصال زمین و شدت جریان نامی ژنراتور باید در نظر گرفته شود. برای اینکه رله صد در صد بدون وقفه کار کند، در ژنراتورهای با جریان نامی زیاد، جریان ثانویه ترانسفورماتور جریان را بیشتر از 5 آمپر انتخاب می کنند. برای این موضوع ترانسفورماتورهای جریان با جریان ثانویه از 5 تا 30 آمپر ساخته شده است.
- از ترانسفورماتور جریان باید به طور متعادل و برابر بار گرفت. به این جهت باید سیم های رابط بین ترانسفورماتور جریان تا رله از نظر طول و مقطع برابر و بهم تابیده باشد.
- ترانسفورماتورهای جریان باید دارای دقت زیاد و در صورت امکان دارای کلاس *0.5* باشد.
- برای اینکه مقاومت خارجی ثانویه ترانسفورماتورها زیاد نشود، باید مقطع سیم های اتصال ترانسفورماتور جریان به رله را ضخیم انتخاب کرد.
- ترانسفورماتورهای جریان مخصوص رلهٔ اتصال زمین نباید برای اندازه گیری و دستگاههای حفاظتی دیگر بکار برده شود.

مثال:

فرض کنید یک ژنرالتور با توان ظاهری *31. 3MVA* بلافاصله و مستقیم روی شبکه کار کند.

جریان اتصال زمین شبکه برابر با *65A* (شبکه روشن) ولتاژ نامی ژنراتور *10.5* کیلو ولت می باشد.

جهت حفاظت چنین ژنراتوری باید رلهٔ اتصال زمن و ترانسفورماتورهای جریان مناسبی انتخاب نمود و جریان ثانویه ترانسفورماتور جریان برای مینیموم جریان اتصال زمین (حدود حفاظت *90٪*) حساب شود.

حل:

جریان نامی ژنراتور برابر است با:

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3}.U} = \frac{31.3 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 10.5 \times 10^3} = 1730A$$

لذا ترانسفورماتور جریانی انتخاب می کنیم که نسبت تبدیل آن:

$$U_I = \frac{2000}{20} = 100$$

باشد. مینیموم جریان اتصال زمین برابر است با:

$$I_{E\,min} = 0.1 \times 65A = 6.5A$$

لذا جریان طرف ثانویه ترانسفورماتور جریان در اینحالت برابر است:

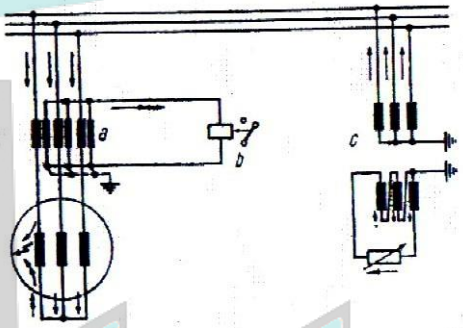
Power Plant Academy

$$i_{E\,min} = \frac{I_{E\,min}}{U} = \frac{6.5}{100} = 0.065A = 65mA$$

چنانچه دیده می شود جریان ثانویه خیلی کوچک است و رلهٔ جریان متناوب برای جریان به این کوچکی مناسب نمی باشد. زیر در این گونه مواقع باید تعداد حلقه های سیم پیچی رله خیلی زیاد باشد.

از این جهت رلهٔ آمپریک با قاب گردان برای جریانهای اتصال زمین کم بسیار مناسب می باشد.

شکل (39) رلهٔ اتصال زمین را برای شبکهٔ خاموش (جریان اتصال زمین کم) نشان می دهد. در این شکل a ترانسفورماتورهای جریان، b رلهٔ اتصال زمین و c دستگاه تولید کنندهٔ جریان اتصال زمین(سلف زمین) می باشد. چنانچه دیده می شود این سلف دارای یک سیم پیچی مثلث باز می باشد که بروی مقاومت متغیری که مقاومت آن متناسب با ولتاژ تغییر می کند بسته شده است.



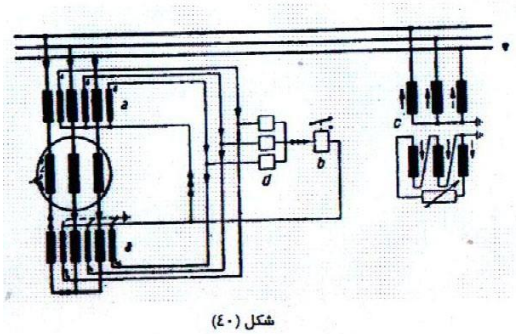
شکل (۳۹)

ب- حفاظت توسط رلهٔ دیفرانسیل

برای نشان دادن اتصال زمین در ژنراتور می توان از مدار رلهٔ دیفرانسیل نیز استفاده کرد به طوریکه رلهٔ اتصای زمین مانند شکل (40) بین نقطهٔ صفر رلهٔ دیفرانسیل و نقطهٔ اتصال ستاره ترانسفورماتور جریان بسته می شود و بدینوسیله از بکار بردن ترانسفورماتور جریان اضافی جهت رلهٔ اتصال زمین صرف نظر می شود.

در این شکل a ترانسفورماتور جریان مخصوص رلهٔ دیفرانسیل، b رلهٔ اتصال زمین، c تولید کنندهٔ جریان زمین وئ d دیفرانسیل می باشد.

Power Plant Academy



شکل (٤٠)

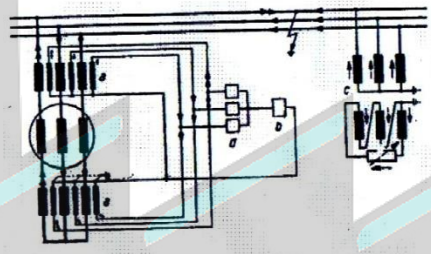
طرز کار این رله که یک رلهٔ آمپریک است به قرار زیر می باشد:

اگر یک اتصال بدنه در ژنراتور با اتصال زمین در کابل رابط بین ژنراتور تا ترانسفورماتور جریان اتفاق افتد از هر سه فاز جریان اتصال زمین عبور می کند که از نظر قدر مطلق و فاز با هم برابر هستند (این جریانها در شکل (40) با فلش مشخص شده اند).

لذا این سه جریان در سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتورها القاء شده و مجموع آنها از رلهٔ اتصال زمین می گذرد و مدارش با زمین بسته می شود.

در صورتیکه اتصال زمین بعد از ترانسفورماتور جریان (در شبکه یا در سیم های هوائی)باشد، با زهم جریان اتصال زمین از محل اتصالی شده عبور می کند. ولی منتجهٔ جریانها در طرف ثانویه ترانسفورماتورهای جریان صفر یا نزدیک صفر خواهد بود. لذا رلهٔ اتصال زمین بدون جریان می ماند. شکل (41)

به عبارت دیگر میتوان با سنجش جریان، به محل اتصال زمین(این طرف ترانسفورماتور جریان یا در ان طرف ترانسفورماتور جریان) پی برد.



شکل (٤١)

البته لازمهٔ اینگونه حفاظت سلکتیو و محلی موجود بودن جریان زمین کافی است و باید دقت کرد که از بکار افتادن بیجای رله بتوسط جریان خطای ترانسفورماتور جریان نیز جلوگیری شود. باینجهت نمی توان رله را خیلی حساس نمود.

با در نظر گرفتن تلف مغناطیسی و نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان به طوریکه جریان نامی ثانویه 5 آمپر شود باید جریان اولیه زمین در حدود 2٪ جریان نامی اولیه ترانسفورماتور جریان باشد تا رله جواب دهد. در بیشتر اوقات ژنراتور شبکه ای را تغذیه می کند که دارای جریان خازنی زیاد و یا جریان باقیماندهٔ زیاد می باشد و می توان از این جریانها برای بکار انداختن رله استفاده کرد.

البته در این حالت وقتی که اتصالی بین 50٪ به پایین سیم پیچی ژنراتور اتفاق افتد چون ولتاژ جابجایی کوچک می شود از جریان خازنی نیز کاسته می شود. مثلاً اگر جریان زمین شبکه ای 10 آمپر و نسبت تبدیل

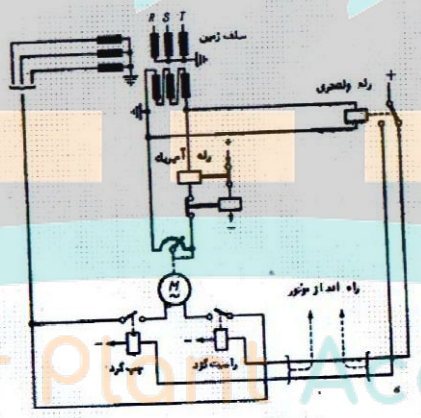
Power Plant Academy

ترانسفورماتور جریان 2000/5A باشد، رلهٔ اتصال زمین اتصالی را که تا 60٪ سیم پیچی باشد (ولتاژ جابجایی 40% ولتاژ نامی) نیز جواب می گوید ولی اگر محل اتصالی باز هم به نقطهٔ صفر نزدیکتر شود، دیگر جریان اتصال زمین شدت لازم برای بکار انداختن رله را نخواهد داشت.

معمولاً در صورتیکه شبکه خاموش باشد، جریان باقیماندهٔ زمین خیلی کم و در ضمن نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان نیز در ژنراتورهای قوی بزرگتر است و باینجهت جریانی که موقع اتصال زمین به رله می رسد آنقدر کم می شود که حتی رله قادر به قطع مدار در موقعی که اتصالی در نزدیکیهای برن ژنراتور هم باشد ندارد.

در این گونه مواقع از یک سلف مخصوص به نام سلف اتصال زمین استفاده می شود. سیم پیچی ثانوه این سلف (ترانسفورماتور) بروی مقاومت قابل تغییری بسته شده است و با بار گرفتن از آن در موقع اتصال زمین میتوان جریان زمین را به طور قابل ملاحظه ای زیاد کرد. در ضمن باید دقت کرد که جریان اتصال زمین از حد معینی تجاوز نکند، زیرا زیادی جریان نیز باعث خسارت در محل اتصالی می شود. از این جهت باید بوسیله ای جریان اتصال زمین را کنترل کرده و جریان لازم برای بکار افتادن رلهٔ را تولید کرد.

زیمنس عمل تنظیم اتوماتیک و خودکار جریان اتصال زمین را مانند شکل (42) به صورت موتوری انجام می دهد.



شکل (٤٢)

طرز کار این دستگاه به این طریق است:

در صورتیکه اتصال زمین در شبکه یا در ژنراتور موجود نباشد، اختلاف سطح دو سر سیم پیچی مثلث باز هم صفر است (تعادل ولتاژها)

در موقع اتصال زمین شدن یکفاز تعادل ولتاژها بر هم خورده و در دو سر سیم پیچی مثلث باز ولتاژی ایجاد می شود که برابر ولتاژ صفر است.

دو سر این سیم پیچی چنانچه دیده می شود بروی مقاومت متغیری بسته شده است. این مقاومت را طوری حساب می کنند که موقعی که اتصال زمین در ترمینالهای ژنراتور باشد (در بدترین حالت) جریان اتصال زمین، برای بکار انداختن رلهٔ اتصال زمین کافی باشد.

در این حالت موتور بچرخیده و تمام مقاومت در مدار قرار دارد.

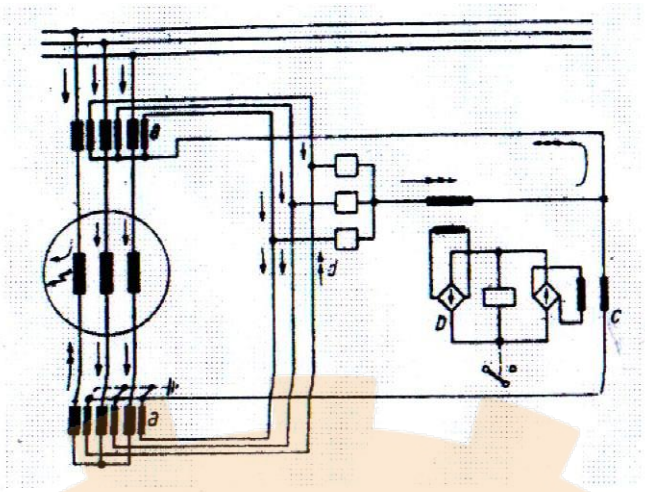
در صورتی که اتصالی در مکانی باشد که جریان اتصال زمین کوچک است، چون ولتاژ صفر نیز در این حالت کوچک است، رلهٔ ولتمتری عمل کرده مدار موتور تنظیم بسته می شود وموتور به طور آهسته به طرف چپ بگردش در می آید وآهسته آهسته مقاومت، بار سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتور زمین را کم می کند تا جریان زمین آنقدر بزرگ شود که رله جواب دهد اگر جواب داد، اتصال زمین در ژنراتور بوده و ژنراتور قطع می شود. اگر رله با کم شدن مقاومت نیز جواب نداد، معلوم می شود که اتصالی در شبکه اتفاق افتاده است.

چون در موقعی که اتصال زمین در شبکه است. رلهٔ اتصال زمین ژنراتور را قطع نمی کند لذا اتصالی در شبکه باقی می ماند و موتور تنظیم آنقدر به حرکت خود ادامه می دهد تا جریان در مدار ثانویه ترانسفورماتور زمین می شود و این حالت قطع تا موقعی که اتصال زمین شبکه قطع نشود باقی می ماند.

به طور کلی می توان گفت که در موقع اتصال زمین شدن ژنراتور جریان اتصال زمین با جریانی که توسط سلف زمین به طور مصنوعی بوجود می آید. مجموعاً رلهٔ اتصال زمین را بکار می اندازد.

اما از آنجا که رلهٔ جریانی با هر جریانی که از نظر شدت و مقدار، برای بکار انداختن آن کافی باشد خواه این جریان در اثر اتصال زمین و یا در اثر خطاهای ترانسفورماتور جریان و یا حتی در اثر جریان هارمونیک های بالا و غیره به وجود آمده باشد کار می کند، لذا برای جلوگیری از قطع به موقع رلهٔ اتصال زمین از مداری به شکل (43) استفاده می شود.

Power Plant Academy



شکل (۴۳)

چنانچه دیده می شود، ترانسفورماتور C ما بین سیم صفر اتصال ستاره ترانسفورماتورهای جریانی که در طرف ستارهٔ سیم پیچی ژنراتور قرار دارد. بسته شده است جریانی که از این ترانسفورماتور می گذرد اثر سد کننده بروی رلهٔ اتصال زمین دارد.

در موقعی که یکی از سیمهای ژنراتور اتصال بدنه پیدا می کند، نتیجهٔ جریان در ترانسفورماتور جریانی که در طرف اتصال ستاره ژنراتور بسته شده است صفر است و فقط ترانسفورماتورهائی که در بالای ژنراتور نصب شده است منتجهٔ مجموع جریانهای همفازی را می دهد که از فازها عبور می کند. (این جریانها با فلش مشخص شده است). لذا این مجموع جریان ها که معادل جریان اتصال زمین می باشد از رلهٔ اتصال زمین عبور کرده و سبب بکار انداختن رله می شود.

پس می توان گفت که فقط ترانسفورماتورهای جریانی که در طرف ولتاژ نامی ژنراتور بسته شده است برای بکار انداختن رلهٔ اتصال زمین مؤثر می باشد.

در ضمن تفاوت جریانهای دو طرف ژنراتور در حالت عادی کار ژنراتور از ترانسفورماتور جریان C عبور کرده و تولید مومانی در رله می کند که در جهت عکس مومان کار رله است و در نتیجه از عمل کردن بیموقع رله جلوگیری به عمل می آید.

استفاده از رلهٔ جریانی در رلهٔ اتصال زمین در بیشتر شبکه ها خود بخود حفاظت 100٪ را نیز ممکن می سازد.

این عمل بوسیله ولتاژ الکتریکی با هارمونیک سوم انجام می گیرد که همیشه در ژنراتورها موجود است.

فرض کنیم که ولتاژ الکتریکی هارمونیک سوم موجود در ژنراتوری باندازه 40٪ ولتاژ نامی آن باشد و فرض کنیم که این ژنراتور شبکه ای را تغذیه می کند که دارای جریان زمین خازنی به شدت 20 آمپر باشد. اگر یک

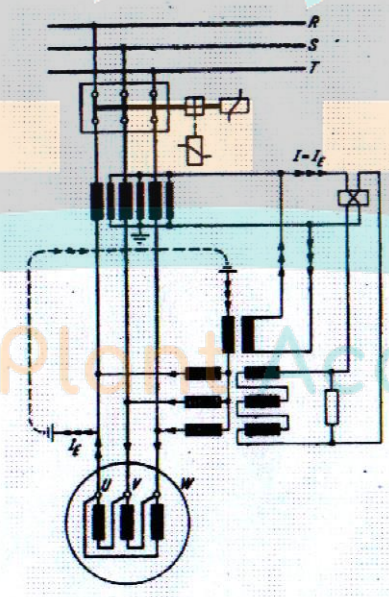
Power Plant Academy

اتصال بدنه در قسمت صفر یا در حوالی نقطهٔ صفر ستاره سیم پیچی ژنراتور اتفاق افتد. جریان خازنی که در اثر هامونیک های سوم از زمین عبور می کند برابر است با:

$$\frac{4}{100} \times 3 \times 20 = 2.4$$

فرض میکنیم که نسبت تبدیل ترانفورماتور جریانی که بروی ژنراتور بسته شده *1000/5A* و جریانی که در موقع بار لازم است تا رلهٔ اتصال زمین را بکار بیاندازد بین 1.5 تا 1.2 باشد در این صورت چنانچه دیده می شود جریان کار رله خیلی کمتر از 2.4 آمپر، جریانی است که در اثر هارمونیک سوم در موقع اتصال بدنه شدن سیم پیچی ژنراتور در نزدیکیهای صفر بوجود می آید.

باین ترتیب می توان در یک شبکهٔ نسبتاً کوچک که جریان زمین آن کلاً 20 آمپر است. با یک زلهٔ آمپریک 100% سیم پیچی ژنراتور را بدون دخالت دادن دستگاههای اضافی دیگری در مقابل اتصال زمین حفاظت کرد. شکل (44) حفاظت ژنراتوری را که مستقیماً روی شین کار می کند و به طور مثلث سیم پیچی شده است نشان می دهد. چنانچه دیده می شود جهت رلهٔ اتصال زمین از یک رلهٔ واتمتری استفاده شده است. در این روش نیز سه ترانسفورماتور جریانی که بلافاصله پشت کلید اصلی ژنراتور نصب شده است. ترانسفورماتورهای سد کننده می باشند و ترانسفورماتورهای جریانی که بین نقطهٔ صفر ستارهٔ ترانسفورماتور زمین و زمین بسته شده است. ترانسفورماتور قطع کنندهٔ رله می باشد.



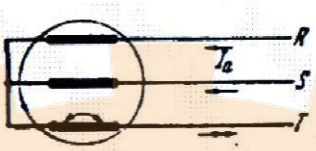
شکل (٤٤)

Power Plant Academy

3-4- اتصال حلقه و رله حفاظتی آن

اتصال حلقه که در شکل (45) نشان داده شده است. عبارتست از اتصالی چند حلقه مربوط به کلاف یک فاز.

در ژنراتورهایی که دارای دو سیم پیچی موازی بازای هر فاز می باشند اتصال کوتاه بین حلقه های موازی یک فاز نیز ایجاد یک اتصال حلقه می کند.



شکل(٤٥)

در تمام ژنراتورهای بزرگ که حلقه های آن از تسمه های مسی ایزوله و پیش فرم گرفته تشکیل شده است. خطر اتصال حلقه بسیار کم است. زیرا اولاً تسمه ها نسبتاً به هم دارای عایق دوبل می باشند و در ثانی هیچوقت دو تسمهٔ مربوط به یک فاز در یک شیار قرار نمی گیرد (شکل 46).بلکه اغلب تسمه های مربوط به کلافهای مختلف در یک شیار جای می گیرد.

به این جهت فقط در کله سیمهاست که امکان برخورد تماس دو تسمه با دو حلقه مربوط به یک فاز وجود دارد و در همین جا است که ممکن است در اثر نقص عایقی، اتصال حلقه پیش آید.

اما به علت اینکه تسمه ها نسبت به بدنه آهن استاتور فقط یک لا عایق پیچی شده اند، در موقع خراب شدن عایق، اول مرتبه ژنراتور مواجه با خطر اتصال بدنه می شود.

در ژنراتورهایی که استاتور آنها دارای سیم پیچی معمولی و مفتولی می باشند، اغلب اتصال حلقه در اثر جرقه اتصال بدنه که توسط رلهٔ اتصال زمین حفاظت و مشخص می شود بوجود می آید.

حال اگر در یک حالت کاملاً استثنایی اتصال حلقه قبل از اتال بدنه بوجود آید جریانهای اتصال کوتاه در حلقه های اتصالی شده خواه و ناخواه سبب ایجاد یک اتصال زمین نیز می گردد. این اتصال زمین توسط رلهٔ اتصال زمین کنترل و حفاظت می شود لذا می توان گفت که اتصال حلقه در ژنراتور یک حادثه کاملاً استثنایی است و از این جهت امروزه کمتر رله ای جهت حفاظت اتصال حلقه در ژنراتورهای مدرن بکار برده می شود.

Power Plant Academy

شکل(٤٦)

شدت جریان در حلقه های اتصالی شده به شدت تحریک ژنراتور بستگی دارد. در ضمن هر چه تعداد حلقه هایی که اتصالی شده است کمتر باشد، جریان اتصالی بزرگتر می شود. شدت جریان اتصالی در اغلب مواقع به حدی بزرگ است که سبب خرابی های دیگری در ژنراتور می شود. البته مقاومت اتصالی در شدت جریان بسیار موثر است.

بر خلاف اتصال دو فاز، اتصال حلق موجب عبور اتصال کوتاه داخلی در نقطهٔ اتصال ستاره سیم پیچی ژنراتور نمی شود، زیرا این جریان اتصال کوتاه در اثر نیروی الکتروموتوری همان فاز بوجود می آید.

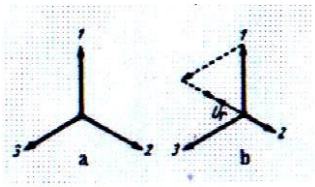
اگر ژنراتور به شبکه ای متصل باشد که توسط ژنراتورهای دیگر نیز تغذیه می شود، یک جراینی نیز از خارج، محل اتصالی را تغذیه می کند. این جریان خارجی اتصالی در شکل (45) با I_a نشان داده شده است. چنانچه دیده می شود شدت جریان خارجی اتصالی در فاز اتصال شده دو برابر شدت جریان فازهای سالم و در هر حال کمتر از شدت جریان خارجی I_a در موقع اتصال دو فاز داخلی است. در ثانی این جریان خارجی اتصالی در دو طرف ژنراتور برابر است. لذا رلهٔ دیفرانسیل نمی تواند چنین اتصالی را تشخیص دهد.

1-3-4- روش های مختلف برای تشخیص اتصال حلقه

نظر باینکه اتصال سیم پیچی های ژنراتور ممکن است به صورت ستاره و یا مثلث باشد و در ضمن بعضی از ژنراتورها دارای دو دسته سیم پیچی موازی به ازای هر فاز می باشند، طریقهٔ حفاظت آنها نیز در مقابل اتصال حلقه متفاوت است که ما ذیلاً به شرح چند نوع از آن می پردازیم.

1-1-3-4- حفاظت بوسیله کنترل بر آیند ولتاژها

بردار ولتاژها در اثر اتصال حلقه، مانند شکل (47) از حالت تعادل و برابری خارج شده و در نتیجه مثبت بردارهای ولتاژ از حالت مثلث متساوی الاضلاعی خارج شده و مرکز ستاره ولتاژها تغییر مکان داده و برآیند آنها صفر نمی شود. از این صفر نبودن برآیند ولتاژها جهت تشخیص و کنترل اتصال حلقه استفاده می شود.



شکل(٤٧)

چنانچه دیده می شود برای تشخیص اتصال حلقه از سه ترانسفورماتور ولتاژ که طرف اولیه آن به صورت ستاره بسته شده است استفاده شده و نقطهٔ ستارهٔ آن توسط یک کابل ولتاژ قوی به نقطهٔ صفر ژنراتور وصل گردیده است.

سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتورها به صورت مثلث باز به یکدیگر متصل و دو سر آزاد آن پس از عبور از یک فیلتر فرکانسی به رلهٔ اتصال زمین وصل می شود.

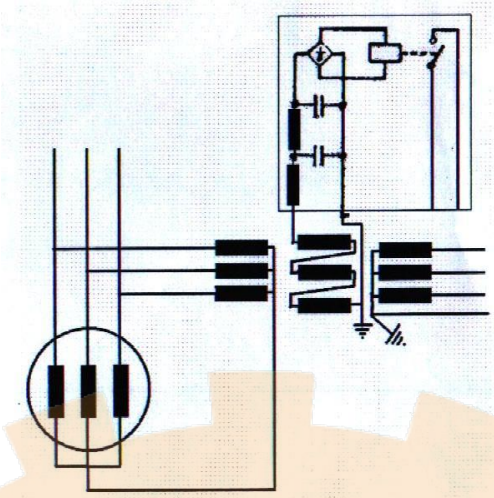
با ایجاد اتصال چند حلقه در سیم پیچی یک فاز ژنراتور، مجموع هندسی ولتاژهای ترانسفورماتور ولتاژ صفر نمی شود (نقطه چین در شکل 47).

در نتیجه در دو سر سیم پیچی ثانویه ترانسفورماتورها که به صورت مثلث باز بسته شده است ولتاژ باقیماندهٔ U بوجود می آید از اینولتاژ برای بکار انداختن رلهٔ اتصال زمین استفاده می شود.

تا موقعی که ژنراتور بدون اتصال حلقه است، برآیند ولتاژ موج اصلی ژنراتور در طرف ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ صفر است و ولتاژِ که در اثر هارمونی ها بالا بوجود می آید توسط فیلتر فرکانس گرفته می شود.

رله اتصال حلقه ای که در شکل (48) نشان داده شده است، یک رله، با قاب گردان است و بدین جهت است که جریان یا ولتاژ حاصل، قبل از تغذیه رله، توسط یکسو کننده یکطرفه شود. ترانسفورماتور ولتاژی که برای رله اتصال حلقه بکار می رود. همیشه دارای یک سیم پیچی ثانوی دیگری نیز می باشد که از ان برای حفاظت و تنظیم و یا سنجش های دیگر استفاده می شود.

Power Plant Academy

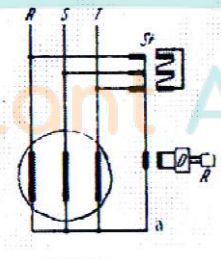


شکل(٤٨)

شکل (49) طریقه دیگر حفاظت اتصال حلقه را نشان می دهد.

از آنجا که در موقع اتصال حلقه در یکی از فازهای ژنراتور بین نقطهٔ صفر ژنراتور و نقطهٔ اتصال ستارهٔ ترانسفورماتوری ولتاژی که در طرف برن های ژنراتوری نصب شده است اختلاف پتانسیلی ایجاد می شود. می توان این اختلاف پتانسیل را توسط ترانسفورماتورهای ولتاژ مخصوصی که از طرف اولیه بین دو نقطهٔ اتصال ستارهٔ ژنراتور و ترانسفورماتور ولتاژ وصل شده است ظاهر کرده و در طرف ثانویه توسط رلهٔ اتصال حلقه که یک رلهٔ ولتمتریست سنجید.

اما از آنجا که این روش حفاظتی بشدت تحت تأثیر هارمونیک های سوم می باشد و در حالت عادی نیز اختلاف ولتاژی که در اثر موج هارمونیکی بالا در دوئ سر ترانسفورماتور ولتاژ که بین دو نقطهٔ صفر بسته شده است بوجود می آید. باید بوسیلهٔ فیلتر فرکانسی از ورود ولتاژ با فرکانس بالا به رله جلوگیری کرد. این فیلتر در شکل با حرف D مشخص شده است.



شکل(٤٩)

2-1-3-4- حفاظت بوسیلهٔ کنترل منتجهٔ جریانها

در صورتیکه اتصال سیم پیچ های ژنراتور به صورت مثلث باشد. به علت موجودی نبودن نقطهٔ صفر ستارهٔ فازها نمی توان توسط سنجش منتجهٔ ولتاژها به اتصال حلقه پی برد. لذا در این حالت به خصوص از منتجهٔ جریانها

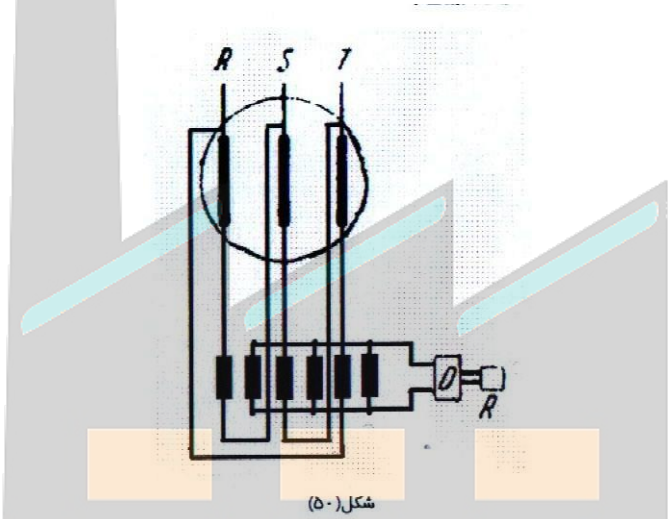
Power Plant Academy

کمک گرفته می شود. برای تشکیل منتجهٔ جریانها از سه ترانسفورماتور جریان مانند شکل (50) استفاده می شود.

منتجهٔ جریانها در حالت عادی ژنراتورها، صفر بوده و رلهٔ مربوطه بدون جریان می باشد. اتصال حلقه سبب عبور جریانهایی از فازهای سالم به طرف فاز اتصالی شده می شود. این جریان متعادل کننده در هر سه فاز دارای یک جهت بوده و رلهٔ اتصال حلقه مجموعهٔ این سه جریان را دریافت می کند. در این روش نیز جهت بی اثر کردن هارمونیک از فیلتر فرکانسی استفاده شده است.

در ژنراتورهایی که هر فاز آن از دو مدار موازی تشکیل شده باشد نمی توان از روشهای فوق برای تشخیص اتصال حلقه استفاده کرد.

برای حفاظت اینگونه ژنراتورها در مقابل اتصال حلقه روش های مختلفی موجود است که دو روش آن ذیلاً شرح داده شده است.



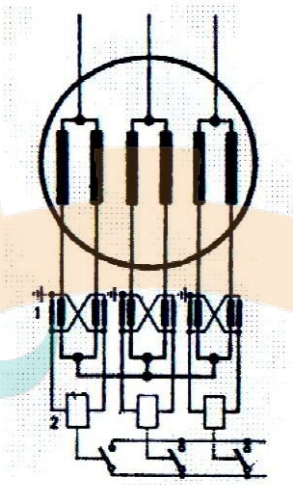
شکل(۵۰)

Power Plant Academy

3-1-3-4- توسط رلهٔ دیفرانسیل عرضی

رلهٔ دیفرانسیل عرضی مانند شکل (51) هر تغییراتی که در تقسیم جریان مدارهای موازی پدید آید را نشان می دهد. بدن وسیله می توان حتی قطع شدگی یک فاز را نیز تشخیص داد.

در صورتیکه اتصال حلقه در یکی از مدارهای موازی یک فاز اتفاق افتد. جریان متعادل کننده ای از سیم پیچی سالم به محل اتصالی شده عبور می کند، شدت این جریان البته زیاد نیست و از شدت جریان اتصال خیلی کمتر است. ولی می توان این جریان متعادل کننده را توسط رلهٔ دیفرانسیل عرضی دقیق و حساس سنجید.



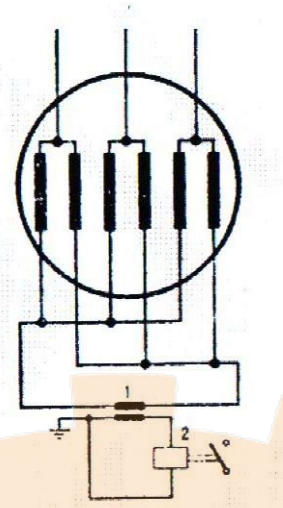
شکل(۵۱)

4-1-3-4- توسط رلهٔ جریان زیاد

تشخیص و تعیین اتصال حلقه در سیم پیچی استاتور ژنراتور توسط رلهٔ دیفرانسیل عرضی مستلزم تعداد زیادی ترانسفورماتور جریان می باشد و در صورتی که مدارهای موازی سیم پیچی ژنراتور به طور مجزا به صورت ستاره وصل شده باشد می توان با استفاده از یک ترانسفورماتور جریان مانند شکل (52) یا ترانسفورماتور ولتاژ که در محل اتصال دو نقطهٔ صفر ستاره وصل می شود از بوجود آمدن اتصال حلقه در یک فاز آگاهی پیدا کرد. در موقع اتصال حلقه در یکی از مدارهای موازی اختلاف ولتاژی بین دو نقطه ستاره بوجود می آید که سبب ایجاد ولتاژی در طرف ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ می شود و یا به علت عبور جریان متعادل کننده در اثر اتصال حلقه، جریانی در طرف ثانویه ترانسفورماتور جریان تولید می شود. این ولتاژ و یا جریان سبب بکار انداختن رلهٔ جریان و قطع ژنراتور می شود.

اگر از رلهٔ جریانی استفاده شود، جریان کار در حدود 10٪ جریان نامی یکی از مدارهای موازی است و اگر از رلهٔ ولتاژی استفاده شود، ولتاژ کار رله در حدود 10٪ ولتاژ ژنراتور می باشد. فرمان قطع تقریباً پس از 0.5 ثانیه صادر می شود.

Power Plant Academy



شکل(۵۲)

Power Plant Academy

فصل پنجم

حفاظت ژنراتور در قبال خطاهای

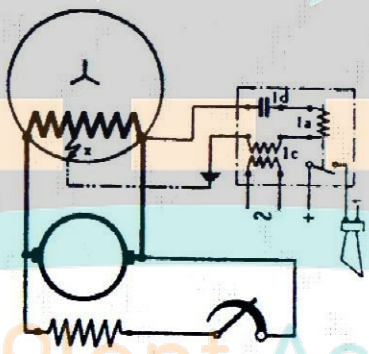
سیم پیچ تحریک

Power Plant Academy

1-5- اتصال بدنه در سیم پیچی تحریک و رله محافظ آن

کثیف شدن سیم پیچی تحریک کننده یکی از موثر ترین عوامل ایجاد اتصال به زمین در رتور است زیرا عمل خنک کردن سیم پیچ ها بخوبی انجام نشده و در نتیجه حرارات قسمتی از سیم پیچی از حد مجاز تجاوز می نماید و سبب خراب شدن ایزولاسیون سیم پیچی می شود.

اتصال یک نقطه از سیم پیچی تحریک کننده به هسته آهن رتور سبب اتصال کوتاه شدن کاپاسیته کوچکی که بین سیم پیچی قطب ها و زمین است می شود. این اتصالی گر چه در مراحل اول غیر قابل اهمیت است ولی اگر سیم پیچی تحریک کننده در نقطه دیگر نیز به بدنه اتصالی کند. قسمتی از حلقه های سیم پیچی قطع شده و این نیروی مغناطیسی از حالت تعادل خارج می گردد و در نتیجه نیروی عظیمی را که اغلب به چند تن می رسد بوجود آورده و این نیرو ایجاد لرزش توام با صدا در ژنراتور می کند و به ژنراتور آسیب جدی می رساند. لذا برای تشخیص اتصال زمین رتور از یک رله حساسا جریان زیاد استفاده می شود به طوریکه یک ولتاژ متناوب حدود $40V$ بین سیم زمین و سیم پیچی تحریک کننده بسته می شود. این ولتاژ طبق مدار شکل (53) توسط ترانسفورماتور $1c$ تأمین می شود. خازن$1d$ که به طور سری با مولد ولتاژ بسته شده است باعث می شود که در حالت عادی و بدون عیب رتور، اتصال مستقیم سیم پیچی رتور با زمین قطع باشد و در ضمن مانع عبور جریان دائم در موقع اتصالی شدن رتور، از رله $1a$ که یک رله جریان زیاد است گردد.



شکل(۵۳)

در موقعی که رتور بدون عیب است جریانی که از رله عبور می کند به علت کوچک بودن کاپاسیته رتور نسبت به زمین بقدری کم است که در رله جریان زیاد تأثیری ندارد ولی در حالتی که رتور اتصال زمین پیدا کند، کاپاسیته بین رتور و زمین اتصالی شده و جریان زیادی از محل اتصال عبور می کند و در نتیجه رله جریان محافظ رتور بکار می افتد.

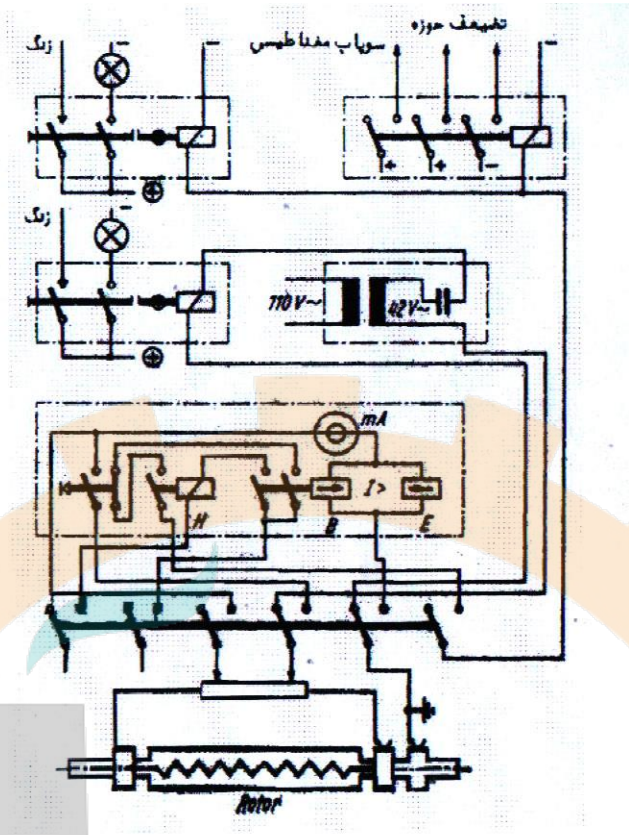
Power Plant Academy

از آنجا که اتصال زمین در سیم پیچی تحریک کننده تقریباً بدون ضرر می باشد چنین دستگاه حفاظتی فقط بر روی دستگاه خبری بسته می شود، لذا بایستی در اولین فرصت ممکنه نسبت به تعمیر آن اقدام نمود.

البته به محض اینکه رلهٔ اتصال زمین، موجودیت یک اتصالی را اعلام کرد، باید از ژنراتور مراقبت فوق العاده به عمل آید، زیرا چنانچه گفته شد، اتصال زمین در نقطهٔ دیگر از سیم پیچی تحریک کننده سبب ایجاد اتصال حلقه در سیم پیچی رتور شده و نیروهای مغناطیسی از حالت تعادل خارج و در نتیجه نیروی کششی عظیمی بوجود می آید که اغلب به چند تن می رسد. این نیرو سبب لرزش شدید ژنراتور می گردد. به این جهت باید به محض اینکه رتور با زمین، اتصال دوبل یا اتصال حلقه پیدا کرد، ژنراتور را از کار انداخت و تحریک آن را برداشت. بیشتر ژنراتورهای بزرگ علاوه بر رلهٔ اتصال زمین دارای رلهٔ اتصال زمین دوبل نیز می باشند. شکل (54) یک چنین رله ای را نشان می دهد.

در صورتیکه رتور اتصال زمین ساده پیدا کند، رلهٔ اتصال زمینی که در شکل (54) با عدد 1 مشخص شده است بکار افتاده و بروز یک اتصال زمین را اعلام می کند. (چراغ مربوطه روشن می شود و بوق به صدا در می آید.) در این موقع متصدی مربوطه توسط کلید 2 رتور را بر روی رلهٔ اتصال زمین دوبل که با عدد 3 مشخص شده است وصل می کند.

Power Plant Academy



شکل(٥٤)

رلهٔ اتصال دوبل، خود از دو رلهٔ جریان زیاد جهت دار تشکیل شده است که به طور موازی با یکدیگر بسته شده اند. در سر راه این دو رله میلی آمپر متری نصب شده که مقدار جریانی که از رله ها می گذرد را نشان می دهد. آمپر متر و رله ها در شاخهٔ صفر یک پل قرار دارند که از مقاومت R و مقاومت سیم پیچی رتور تشکیل شده است.

به کمک مقاومت R پل را بحالت تعادل در آورده و در نتیجه آمپر متر جریان صفر را نشان می دهد و باین ترتیب دستگاه اتصال زمین دوبل آماده کار می شود و به محض اینکه در محل دیگری از سیم پیچی رتور اتصال زمین اتفاق افتد، بر حسب اینکه این اتصالی در طرف چپ یا در طرف راست اولین زمین باشد، یکی از رله های جهت دارد بکار افتاده و سبب قطع ژنراتور از شبکه و برداشت تحریک می شود.

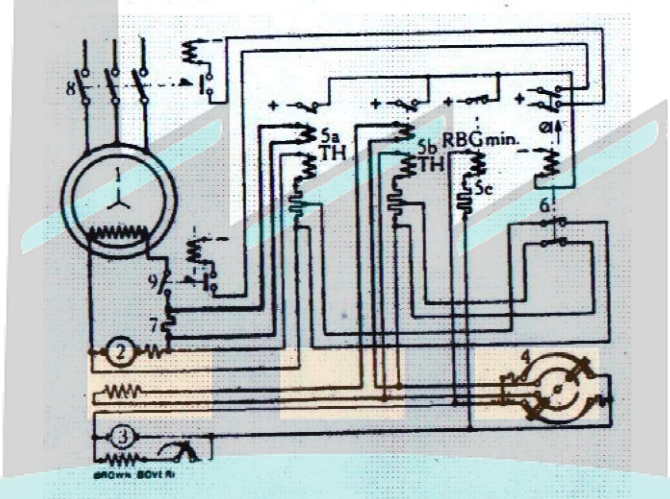
2-5- قطع شدگی در مدار تحریک و رلهٔ محافظ آن

قطع شدن و یا بریدگی در سیم پیچ تحریک کننده سبب قطع فوری جریان تحریک ژنراتور می شود که برای ژنراتوری که زیر بار است خطرات زیادی بوجودی می آورد. از این جهت دستگاه حفاظت برای این منظور بکار برده می شود که به محض وقوع چنین قطع شدگی یا بریدگی در سیم پیچی تحریک، ژنراتور را از مدار

قطع کند.اگر ژنراتور فقط دارای یک تحریک کننده باشد میتوان توسط یک رلهٔ جریان کم قطع شدن جریان تحریک را مشخص نمود. در ژنراتورهای بزرگ که علاوه بر تحریک کننده اصلی (ژنراتور با تحریک خارجی) دارای تحریک کننده کمکی (ژنراتور با تحریک خودی) نیز می باشد. میتوان عملاً با در نظر گرفتن شرایط خاصی جریان تحریک را به صفر رساند و یا حتی در لحظهٔکوتاهی جهت جریان تحریک را عوض نمود. (جریان منفی). ولی مسلماً باید ژنراتور در اینحال زیر بار نباشد.

برای حفاظت این گونه ژنراتورها در مقابل قطع غیر مترقبهٔ تحریک از دو رلهٔ مقاومت زیاد و یک رلهٔ ولتاژ کم مانند شکل (55) استفاده می شود.

چنانچه دیده می ود دو رلهٔ مقاومت زیاد $5aTH,5bTH$ مدار تحریک اصلی و تحریک تحریک کننده کمکی را حفاظت می کند و رلهٔ ولتاژ کم $5C$ اختلاف سطح تحریک کنندهٔ کمکی را کنترل می کند و رلهٔ زمانی 6 از بکار افتادن بی موقع رله ها در موقع برداشتن سریع بار جلوگیری می کند زیرا برداشت فوری بار سبب ازدیاد مقاومت مدار رتور می شود.



شکل(۵۵)

که در این شکل:

1- ژنراتور

2- تحریک کنندهٔ اصلی

3- تحریک کنندهٔ کمکی

4- تنظیم کنندهٔ سریع ولتاژ

$5a$: رلهٔمقاومت زیاد برای مدار نور

Power Plant Academy

5b: رلهٔ مقاومت زیاد برای مدار تحریک کنندهٔ اصلی

5c: رلهٔولتاژ زیاد برای مدار تحریک کنندهٔ فرعی

5d و *5e*: رلهٔ کمکی

6- رلهٔ زمانی

7- شنت

8- کلید ژنراتور

9- کلید تحریک کننده

دستگاه حفاظت در مقابل قع شدگی مدار تحریک در ژنراتورهای با قطب برجسته سبب قطع ژناتور از مدار و بکار انداختن دستگاه خودکار تضعیف سریع حوزه میشود. در صورتیکه در توربو ژنراتورها فقط آژیر را به صدا در می آورد.

Power Plant Academy

فصل ششم

حفاظت ژنراتور در قبال خطرات خارجی

Power Plant Academy

6- 1- حفاظت ژنراتور در اثر بار زیاد

حرارت بیش از حد مجاز ژنراتور چه ناشی از بار زیاد وچه در اثر نقص در طریقه خنک کردن ژنراتور باشد، سبب شکننده شدن ایزولاسیون و عایق بندی سیم پیچی های ژنراتور و در نتیجه کاهش عمر ژنراتور می شود. با این وجود اصولاً برای ژنراتورها دستگاه کنترل بار زیاد مخصوص کار گذارده نمی شود زیرا متصدی ژنراتور در سالن فرمان همیشه و به طور دائم شدت جریان بار و درجه حرارت ژنراتور را کنتل می نماید.

بعضی از کارخانجات نیز برای حفاظت ژنراتور در مقابل بار زیاد از یک رله حرارتی که معمولاً با رله جریان زیاد مشترکاً در داخل یک رله، کار گذارده شده است استفاده می کنند. در شکل (56) حفاظت ژنراتور توسط رله حرارتی ورله جریان زیاد نان داده شده است که در آن:

1- ژنراتور

2- ترانسفورماتور جریان

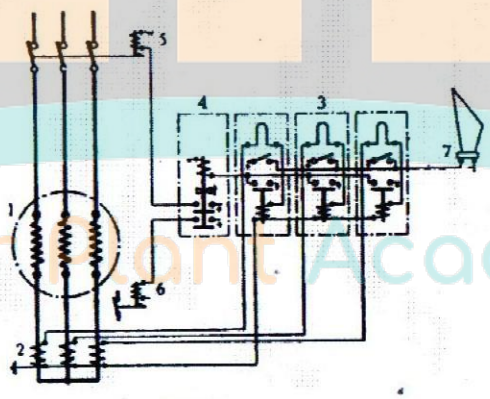
3- رله حرارتی ثانویه

4- رله زمانی

5- کلید ژنراتور

6- کلید مربوط به قطع حوزه تحریک

7- دستگاه آژیر وسیگنال



شکل(۵۶)

PowerPlant Academy

2-6- حفاظت ژنراتور در موقع بروز اتصال کوتاه در شبکه

در صورتیکه در شبکه اتصال کوتاهی رخ دهد، ژنراتور شبکه را در محل اتصالی شده تغذیه می کند. شدت این جریان اتصال کوتاه علاوه بر امپدانس مدار اتصالی شده بتگی به شدت جریان تحریک ژنراتور در موقع اتصال کوتاه شدن دارد. بهطوریکه اگر ژنراتور د موقع اتصالی شدن، دارای تحریکبدون بار باشد و در ثانی مجهز به دستگاه تنظیم سریع ولتاژ نیز نباشد. جریان اتصال کوتاه دائمی ژنراتور حتی کمت از جریان نامی ژنراتور می شود ولی اگر ژنراتور مجهز به دتگاه تنظیم سریع ولتاژ باشد، در حالت تحریک بدون بار و یا در موقع تحریک بار نامی، جریان اتصال کوتاه بر حسب نوع ماشین و در صورتی که در مدار ژنراتور وسیلهٔ محدود کنندهٔ جریان نصب نشده باشد بین 1.2 تا 1.6 جریان نامی ژنراتور خواهد بود. در ضمن اتصالی شدن شبکه سبب افت ولتاژ ژنراتور می شود که خود یکی از عوامل شناسائی اتصالی در شبکه است.

وسیلهٔ حفاظت ژنراتور در مقابل جریان های خیلی زیاد مثل جریان اتصال کوتاه در شبکه و غیره رلهٔ جریان زیاد و یا رلهٔ دیستانس میباشد.

2-6- 1- رله جریان زیاد

رله جریان زیاد ،یکی از وسایل حفاظت ژنراتور در مقابل جریانهای زیاد مثل جریان اتصال کوتاه در شبکه ات. رله جریان زیاد یک از رله های اساسی حفاظت ژنراتور می باشد و با رله بار زیاد تفاوت دارد. زیرا اولاً جریان زیاد روی 1/4 تا 1/5 برابر جریان نامی تنظیم می شود و د ثانی ژنراتور، بار زیاد را به مدت خیلی بیشتری نسبت به جریان زیاد اتصال کوتاه می تواند تحمل کند.

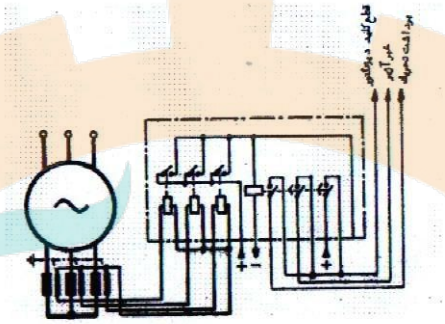
رله جریان زیاد اصولاً به عنوان آخرین وسیله حفاظت برای ژنراتور بکار برده می شود. به طوریکه اگر احیاناً دستگاههای حفاظتی شبکه و شین، اتصالی را قطع نکند، رله جریان زیاد مربوط به ژنراتور عمل کرده و از خسارت دیدن ژنراتور در اثر جریان اتصال زیاد و حرارت ناشی از آن جلوگیری می نماید.

رله جریان زیادی که برای حفاظت ژنراتور در مقابل جریان اتال کوتاه بکار برده می شود معمولاً از نوع رله جریان زیاد مانی است. به طوریکه رله جریان به محض سنجش جریان بیش از حد مجاز، شروع بکار کرده و سبب بستن مدار رله زمانی می شود و رله زمانی پس از گذشت زمان معین و از پیش تنظیم شده ای مدار رله قطع کننده کلید اصلی ژنراتور را می بندد.

Power Plant Academy

شکل (57) شمای داخلی رله جریان زیاد زمانی و طرز اتصال آن به ژنراتور را نشان می دهد. رله جریان زیاد و رله زمانی هر دو در یکجعبه کار گذارده شده است.

اینگونه رله جریان زیاد زمانی در ه نوع اتصال ژنراتور به شین (اتصال واحد یا اتصال مستقیم به شین) بکار برده می شود.ضمناً زمان قطع له جریان زیاد ژنراتور از زمان قطع تمام رله هائی که در خط وشبکه قرار دارند طولانی تر است.



شکل(۵۷)

مثال:

ژنراتوری با قدرت نامی 25000 کیلو وات و $cos\varphi = 0.8$ ولتاژ نامی 6/3 کیلو ولت به شین متصل است. برای حفاظت ژنراتور در مقابل جریان اتال کوتاه خارجی باید از یک رلهٔ جریان زیاد زمانی استفاده شود، مطلوبست مشخصات رله.

جواب:

جریان نامی ژنراتور برابر است با:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3}.U.\cos\varphi} = \frac{25000}{\sqrt{3} * 6.3 * 0.8} = 2870A$$

ترانسفورماتو جریان انتخاب شده باید دارای نسبت تبدیل 3000/5 باشد. پس جریان ثانویه ترانسفورماتور در بار نامی ژنراتور برابر است با:

$$I_{2n} = \frac{2870}{3000} * 5 = 4.78A$$

برای اینکه رله، جریان اتصال کوتاه را به طور مطمئن جواب گوید، جریان کار رلهٔ جریان زیاد را 1/6 جریان نامی ژنراتور در طرف ثانویه ترانسفورماتور جریان انتخاب می کنیم.

$$I_A = 1.6 * I_{2n} = 1.6 * 4.78 = 7.65A$$

Power Plant Academy

که ما انرا برای 7/7 امپر تنظیم می کنیم.

رله بار زیاد باید برای 1/1 جریان ژنراتور تنظیم شود.

$$I_A = 1.1 * I_{2n} = 1.1 * 1.78 = 5.26A$$

که ما آنرا 5/3 امپر تنظیم می کنیم.

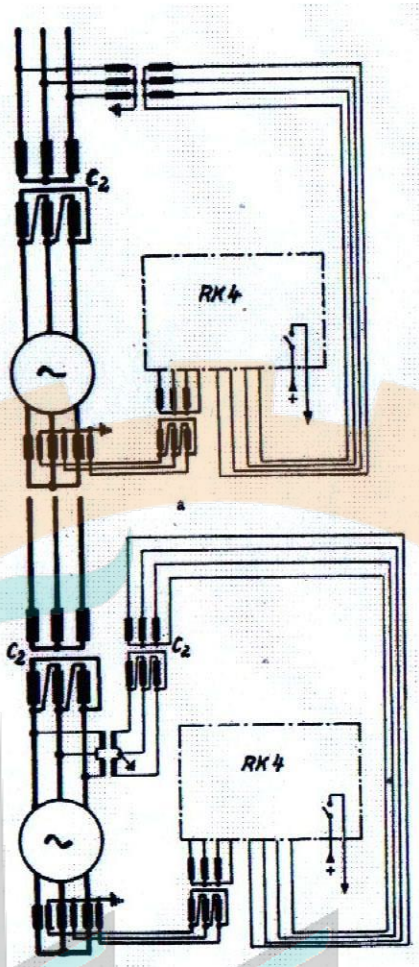
زمان قطع ژنراتور بتگی به بزرگی شبکه و تعداد رله های زمانی شبکه دارد و در هر صورت باید زمان قطع ژنراتور از زمان قطع کلیدهای شبکه بزرگتر باشد مثلاً 6 ثاینه.

6-2-2 رلهٔ دیستانس

درشبکه های بزرگ اگر برای حفاظت ژنراتور در مقابل جریان های زیاد خارجی از رلهٔ جریان زیاد زمان افتاده شود، زمان قطع رله در صورتیکه یک اتصال حتی در شین، بلافاصله بعد از ژنراتور نیز اتفاق افتد.، در حدود 7-8 ثانیه طول کشید و چنانچه دیده می شود، زمان عبور جریان اتال کوتاه از ژنراتور به قدری طولانی می شود که ممکن است سبب خراب شدن ایزولاسیون سیم پیچی ژنراتور و ایجاد اتصال داخلی شود. از این جهت است که در شبکه های بزرگ برای کوتاه کردن این زمان از رلهٔ دیتانس ، امپدانس و یا کندوکتانس استفاده می شود. زمان قطع رلهٔ دیستانس معمولاً در حدود 0.1 ثانیه است. استفاده از رلهٔ امپدانس این برتری را دارد که در موقع اتصالی شین، رلهٔ امپدانس به طور سریع در زمان خیلی کوتاه (0.1 ثانیه) ژنراتور را قطع می کند و در موقعی که خطا در فاصلهٔ دوری از ژنراتور در شبکه ایجاد شود. زمان قطع کلید اصلی ژنراتور طولانی شده و متناسب با درجه بندی زمانی رله های حفاظتی خط و شبکه می ود و فقط در موقعی که رله های شبکه به علت نامعلومی نتوان اتصالی را قطع کند باعث قطع ژنراتور م شود.

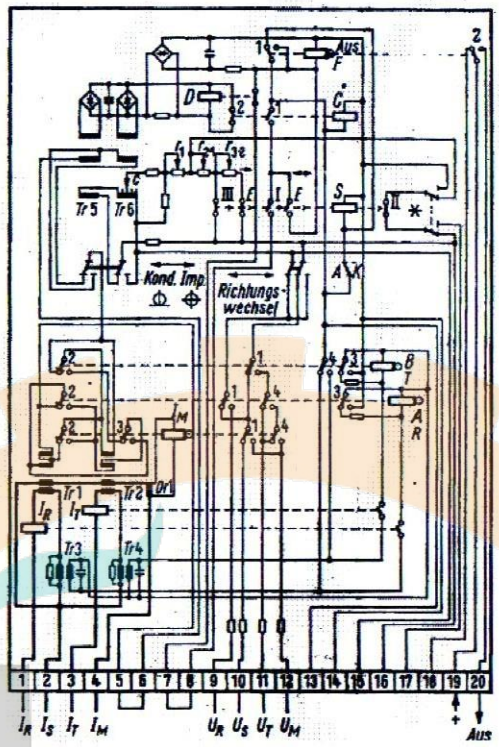
شکل (58) طرز اتصال رله را برای حفاظت ژنراتور نشان می دهد. شکل (59) اتصال داخلی یک رلهٔ کندو کتانس را نشان می دهد.

Power Plant Academy



شکل(۵۸)

Power Plant Academy



شکل(۵۹)

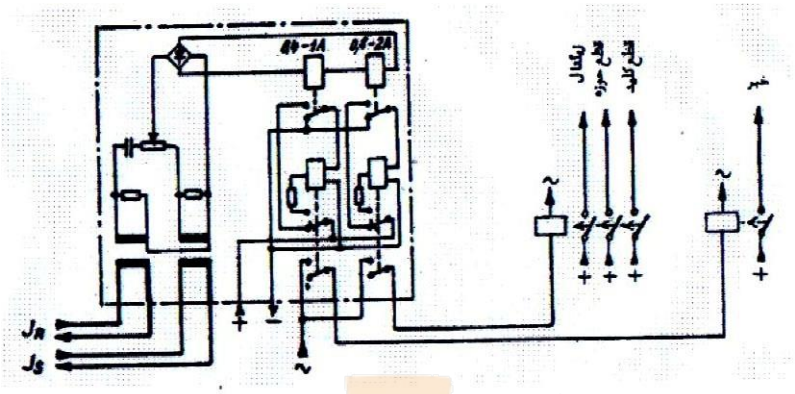
3-6- حفاظت ژنراتور در مقابل بار نامتعادل و رله محافظ آن

در هر ژنراتور سنکرون، رتور با حوزه دوار به طور همزمان و سنکرون گردش می کند و اثر متقابل سیم های جریان دار استاتور، در صورتیکه جریانها برابر باشند. روی رتور صفر است و در نتیجه جریان القائی در مدار تحریک رتور بوجود نخواهد آمد.

اما اگر از ژنراتور طوری بار گرفته شود که مدار جریان فقط در دوسیم پیچی (دو فاز) بسته شود مثلاً در موقع قطع بی موقع یک فاز و یا اتصال دو فاز، در این صورت بجازی حوزه دوار در ژنراتور حوزه متغیری ایجاد می شود که سبب جریان القائی در رتور می گردد، به طوریکه شدت جریان القائی آن ممکن ات بقدری که سبب سوزاندن سیم پیچی تحریک کننده و حتی آهن رتور شود.

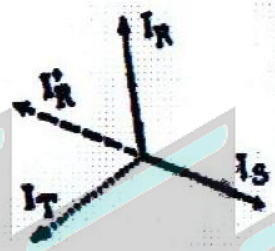
جهت محافظت ژنراتور در مقابل خطراتی که در اثر عدم تعادل بار بوجود می آید. از رله هایی به نام رلهٔ عدم تعادل بار استفاده می شود. شکل (60)

Power Plant Academy



شکل(۶۰)

در رلهٔ عدم تعادل بار، جریان دو فاز با هم مقایسه می شود، به طوریکه اگر بار ژنراتور متعادل باشد و بخواهیم جریانهای I_s, I_R را با هم مقایسه کنیم کافی است که جریان I_R را مانند شکل (61) به اندازه 60 درجه بگردانیم. در این صورت $\acute{I}_R$ بجای I_R بدست می آید. حال اگر تفاوت این دو جریان را توسط یک دستگاه الکترو مغناطیسی که دارای یک قاب با دو سیم پیچی برای $\acute{I}_R$ و I_s باشد، تفاوت جریانها صفر شده و دستگاه بدون حرکت میماند. و اگر تفاوت جریانها از مقدار معینی تجاوز کند، رله عمل می کند.



شکل(۶۱)

شکل (60) طرز کار رلهٔ عدم تعادل بار ساخت زیمنس را نشان می دهد چنانچه دیده می شود، در این دستگاه دو رله بکار برده شده است که یکی دارای درجات 0.1 تا 1 آمپر و دیگری 0.8 تا 2 آمپر می باشد.

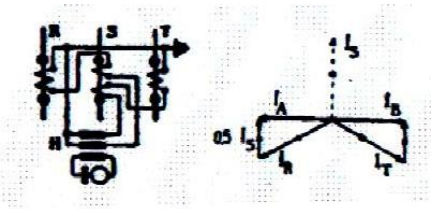
رلهٔ اولی که حساستر است، برای جریانی مثلاً 0.5 آمپر تنظیم می شود. ژنراتور می تواند این جریان نامتعادل را برای مدت زیادی تحمل کند. این رله بروی سیگنال یا آژیری بسته می شود.

برای اینکه در موقع اتصال دو فاز از قطع بیموقع آن جلوگیری شود، رله را با یک رلهٔ زمانی تکمیل می کنند و زمان قطع آن قدری زیادتر از زمان قطع رلهٔ جریان زیاد تنظیم می شود.

رلهٔ دومی که رلهٔ خشن تری می باشد برای جریان مثلاً 1.5 امپر تنظیم می شود. این رله مستقیماً بکمک رلهٔ زمانی باعث قطع ژنراتور و برداشت تحریک آن می شود.

شکل (62) روش دیگری را برای نمایان کردن بار نامتعادل نشان می دهد.

Power Plant Academy



شکل(۶۲)

چنانچه دیده می شود در این طریقه از سه ترانسفورماتور جریان استفاده شده است به طوریکه یکی از ترانسفورماتورها دارای دو سیم پیچی ثانویه و تعداد حلقه های آن نصف تعداد حلقه های ترانسفورماتورهای جریان دیگر است. در این صورت طبق شکل (62) و با توجه به نمایش برداری جریانها در صورتیکه رابطه $I_R = I_R = I_T$ برقرار باشد، می توان نوشت:

$$I_A = I_R = 0.5I_s$$

$$I_a = I_T = 0.5I_s$$

و :

$$I_A = -I_B$$

و یا:

$$I_A + I_B = 0$$

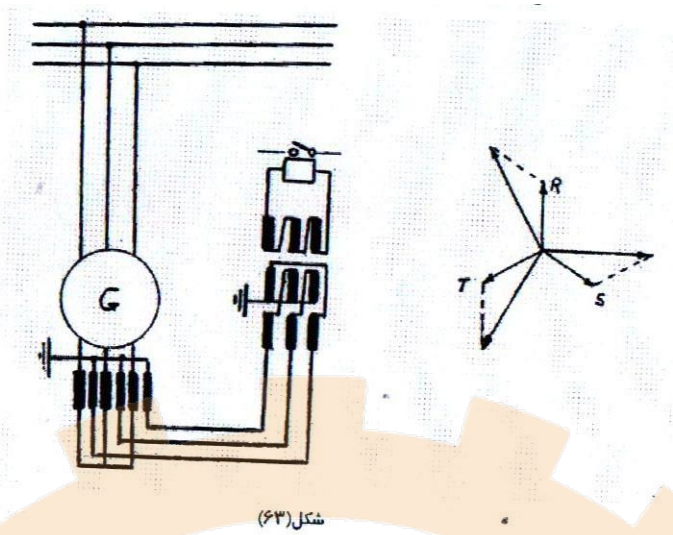
جریانهای I_B و I_A از سیم پیچی اولیهٔ ترانسفورماتور کمکی H عبور کرده و در صورت برابر بودن، جریان ثانویه ترانسفورماتور کمکی صفر می شود. و فقط در موقع نامتعادل بودن بارها، رله عمل کرده و سبب بکار انداختن سیگنال یا قطع ژنراتور می شود.

این روش دارای این عیب می باشد که اگر مثلاً فاز I_s قطع شود رله کار نخواهد کرد. زیرا جریان یکفازه شده و جریانهای I_T و I_B برابر و در جهت مخالف می باشند.

این عیب در رله شکل (60) پیش نمی آید زیرا در موقعی که جریان I_T نیز قطع شود، نظر باینکه بجریان I_B 60 درجه اختلاف فاز داده شده است باز هم رله عمل خواهد کرد.

شکل (63) روش دیگری را جهت آشکار کردن بار نامتعادل توسط سه ترانسفورماتور جریان نشان می دهد. در این روش از ترانسفورماتور کمکی که دارای سیم پیچی ثانویه مثلث باز است استفاده شده است. در این روش نیز قطع هر فاز سبب مختل کردن کار رله نخواهد شد.

Power Plant Academy



شکل(۶۳)

6- 4- ازدیاد ولتاژ و رلهٔ محافظ آن

در موقع بار گیری عادی از رناتور، ولتاژ ژنراتور نمی تواند به طور خطرناک بالا رود زیرا حتی عمل نکردن صحیح تنظیم کننده ولتاژ نیز فقط باعث ازدیاد جریان دواته می شود که حتماً توسط رلهٔ جریان زیاد شناخته و سنجیده می شود و باعث قطع ژنراتور می گردد. ازدیاد ولتاژ در ژنراتور فقط موقعی بحد خطرناک خود می رسد که ژنراتوری کع زیر بار خیلی زیاد است به طور غیر مترقبه و آنی از شبکه قطع گردد. در این حالت ابتدا ولتاژ سریعاً بالا می رود زیرا هم افت ولتاژ داخلی در اندوکتانس پراکندهٔ ژنراتور از بین می رود و هم افت ولتاژی که در اثر متقابل اندوکتانس موجود بود برداشته می شود.

البته در مقابل این ازدیاد ولتاژ رله تنظیم کننده سریع ولتاژ سرعاً عمل و ایستادگ می کند. این جهش ولتاژ نیز اغلب از 30٪ ولتاژ نامی تجاوز نمی کند.

علاوه بر ازدیاد ولتاژ که در اثر قطع پیش بینی نشدهٔ بار ظاهرمی شود. در موقعی که غفلتاً بار بزرگی برداشته و یا کم می شود، تعداد دور توربین محرک ژنراتور پیش از اینکه وسیلهٔ تنظیم عده دور آن واد شود زیاد می گردد. با ازدیاد سرعت حرکت توربین، ولتاژ ژنراتور بالا می رود. زیرا با ثابت بودن تحریک، ولتاژ متناسب با تعداد دورمیباشد. از طرف دیگر با ازدیاد تعداد دور شدت تحریک ژنراتور نیز بالا می رود، زیرا با ازدیاد دو توربین ولتاژ ژنراتور تحریک فرعی و اصلی هر دو بالا می رود.

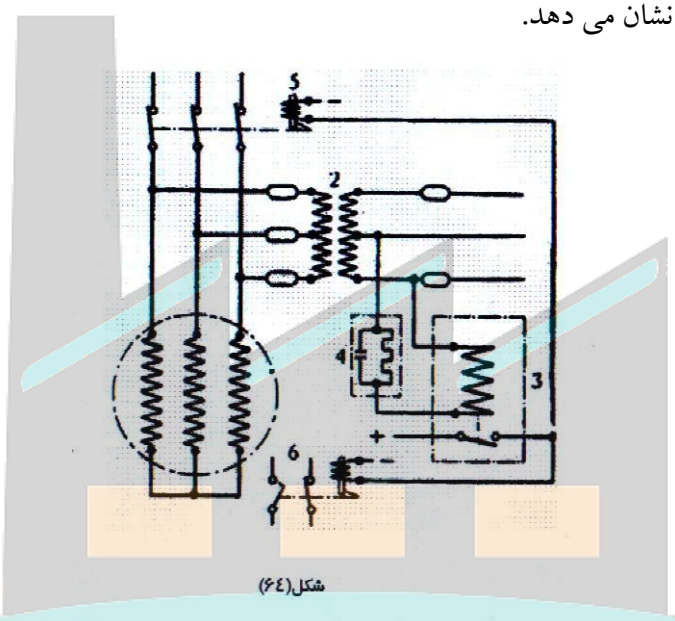
در توربو ژنراتورها خطر ازدیادولتاژدر اثر ازدیاد تعداد دور کم است. زیرا دستگاههای تنظیم دور توربین اغلب زمان خیل کمی برای عمل کردن لازم دارند و می توانند خیلی سریع حجم بخار را متناسب با بار تنظیم کنند. البته اگر چه این عمل بلافاصله انجام نمی گیرد ولی به محض اینکه ازدیاد دور از 10٪ تجاوز کرد. تنظیم کننده

ان سریعاً عمل می کنند و مانع عبور بخار می شود و از این جهت ولتاژهای خیلی زیاد خطرناک نمی تواند در توربو ژنراتورها بوجود آید.

در ماشینهای توربین آبی برای جلوگیری از ازدیاد ولتاژ داخلی لوله های آبرسان، نمی توان عمل تنظیم آب را سیرع انجام داد و حتی اگر دستگاههای تنظیم عده دور توربین آبی نیز درست و به موقع کار خود را انجام دهند و دارای نقصی هم نباشند، دور توربین تا حدود 1.5 برابر دور نامی آن می رسد که سبب ازدیاد فرکانش و ولتاژ ژنراتور می گردد.

باینجهت ژنراتورهای نیروگاههای آبی را اغلب بوسیلهٔ رلهٔ ولتاژ زیاد در مقابل خطراتی که ولتاژ زیاد می تواند سبب شود از قبیل اتصال زمین، اتصال فاز و اتصال حلقه حفاظت می کنند.

شکل (64) روشی را که کارخانجات براون باوری سوئیس جهت حفاظت ژنراتورهای با توربین آبی در مقابل ازدیاد ولتاژ بکار می برد نشان می دهد.



شکل(٦٤)

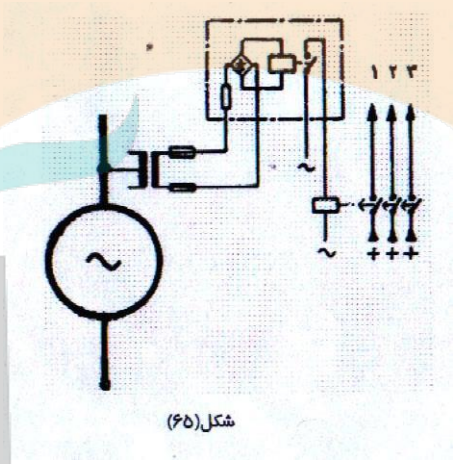
در این شکل اعداد عبارتند از:

1- ژنراتور
2- ترانسفورماتور ولتاژ
3- رلهٔ ولتاژ زیاد
4- جعبه مقاومت
5- کلید ژنراتور با رلهٔ مغناطیسی
6- قطع کنندهٔ تحریک ژنراتور

Power Plant Academy

جعبه مقاومت 4 جهت خنثی کردن اثر فرکانسی با رلهٔ ولتاژ زیاد به طور سری بسته شده است در ضمن می توان برای از بین بردن اثر فرکانس از رلهٔ قابگردان جریان دائم نیز استفاده کرد. این روش مانند شکل (65) توسط زیمنس بکار برده می شود.

چنانچه دیده می شود رلهٔ ولتاژ با یک رلهٔ زمانی جریان متناوب مجهز شده است زیرا رلهٔ زمانی جریان متناوب، ولتاژ فرکانس زیاد را زودت از ولتاژ و فرکانس کم قطع می کنند و این موضوع در رلهٔ ولتاژ زیاد خیل با ارزش می باشد.



شکل(۶۵)

5-6- حفاظت در برابر موتوری شدن ژنراتور در اثر برگشت وات

ژنراتورهای باید به شبکه انرژی الکتریکی بدهند و هیچگاه از شبکه انرژی نگیرند. از این جهت در گذشته (در حدود 30 سال پیش) ژنراتورها را با یک رلهٔ واتمتری مجهز می کردند.به طوریکه این رلهٔ واتمتری در موقع بر عکس شدن جهت انرژی عمل کرده و ژنراتور را از مدار قطع می کرد. این قطع کردن ژنراتور در موقع برگشت وات لازم نیست، زیرا برگشت وات ضرری به ژنراتور وارد نمی کند، بلکه پس از مقداری پاندولی ونوسانی شدن،ژنراتور مجدداً حالت عادی خود را باز می یابد و بکار خود ادامه می دهد. از این جهت امروزه رلهٔ برگشت وات جهت قطع ژنراتور در موقع تغییر جهت دادن انرژی الکتریکی بکار برده نمی شود. بلکه برای حفاظت توربین از آن استفاده می شود.

در لوله های بخار رسان توربین بخار ممکن است دو اشکال پیش آید:

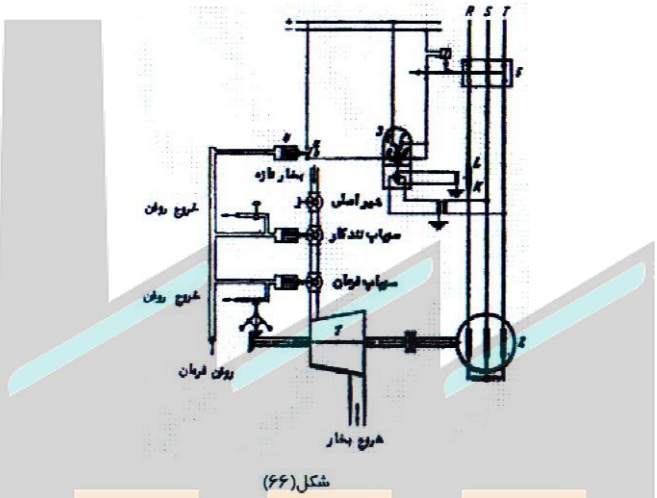
- یکی اینکه در اثر ترکیدن و یا سوراخ شدن لولهٔ بخار، عمل رساندن بخار به توربین قطع گردد. در این صورت اگر این ژنراتور به طور موازی با ژنراتورهای دیگر بسته شده باشد، از شبکه انرژی الکتریکی می گردد و به صورت موتور بگردش خود ادامه می دهد و توربین را با دور سنکرون می چرخاند.

Power Plant Academy

- در حالت دوم ممکن است دریچهٔ بخار بسته شده ولی بدلیل جذب نشدن سوپاپ خروجی، بخار صد در صد قطع نشده و مقداری بخار به داخل توربین نشت کند. به طوریکه حجم بخاری که وارد توربین میشود بیشتر از مقداری باشد که بر گرداندن توربین بدون باز لازم است. در صورتیکه در این حالت ژنراتور از شبکه قطع گردد. توربین سرعت گرفته و دور آنقد زیاد می شود که باصطلاح سبب از جا کندن توربین و خرد شدن یاطاقانهای آن می شود.

تنها وسیله ای که در این دو حالت از توربین حفاظت می کند، رلهٔ برگشت وات است. رله برگشت وات معمولاً یک رلهٔ اندوکسیونی است که دارای دو حوزهٔ عمود بر هم با اختلاف فاز 90درجه و یک صفحه آلومینیومی می باشد.

شکل (66) طرز کار ومدار رلهٔ برگشت وات را نشان می دهد.



شکل(۶۶)

چنانچه دیده میشود رلهٔ واتمتری به کمک ترانسفورماتور جریان و ولتاژ جهت سنجش توان به کابل رابط ژنراتور و شبکه نصب شده است. به محض برگشت جهت توان رلهٔ 3 عمل کرده و پس از گذشت زمان معنی که توسط رلهٔ زمانی در حدود 2 تا 20 ثانیه تنظیم می شود سبب قطع کلید 5 ژنراتور می شود. و در این حالت ژنراتور کم کم از حرکت باز مانده و بالاخره می ایستد.

این تأخیر در قطع برای این است که از قطع بیموقع ژنراتور در موقع پاندولی شدن آن جلوگیری شود. در حالت دوم که دریچهٔ ورود بخار به طور مطمئن کار نمی کند همانطور که گفته شد نباید ژنراتور را از شبکه قطع کرد،بلکه باید آنقدر صبر کرد تا ژنراتور از شبکه انرژی بگیرد وبدینوسیله نشان داده شود که انرژی مکانیکی کافی برای گرداندن ژنراتور موجود نیست. آنوقت ژنراتور را قطع کرد.

Power Plant Academy

از این جهت رلهٔ واتمتری مجهز به کلید دیگری می باشد (کلید C-d) این کلید چنانچه دیده می شود با کلیدی که متناسب با بسته و باز بودن شیر بخار، باز و بسته می شود (کلید a-b) به طور سری قرار دارد. کلید a-b فقط در موقعی کاملاً بسته می شود که بخار ورودی به توربین حتی برای گرداندن توربین در حالت بدون بار نیز کافی نباشد. در این موقع ژنراتور نیز به صورت موتور شده و از شبکه نیروی الکتریکی دریافت می کند در نتیجه رله واتمتری عمل می کند و کنتاکت cd بسته و فرمان قطع کلید اصلی ژنراتور (5) داده میشود.

6-6- تضعیف سریع حوزه

در موقعی کهیک اتصالی در داخل ژنراتور اتفاق می افتد بخصوص در موقعی که این اتصالی باعث ایجاد جرقه شود، باید بلافاصله از رسیدن انرژی بهمحل اتصالی شده جلوگیری به عمل آید تا از سرایت وگسترش خسارت حاصله به قسمتهای دیگر جلوگیری شود.

همانطور که دیدیم دستگاههای حفاظتی وجود دارد که ژنراتور را فوراً از شبکه قطع می کند و اغلب آنها این عمل را بسیار سریع انجام می دهند ولی قطع ژنراتور سبب قطع انرژی در محل اتصالی شده نمی گردد.

از این جهت در موقع ظاهر شدن اتصال داخلی قطع ژنراتور از شبکه لازم است ولی کافی نیست و باید علاوه بر قطع ژنراتور از شبکه بوسیله ای تحریک ژنراتور را سریعاً قطع کرد تا اختلاف سطح ژنراتور برای مدت زیادی بروی نقطهٔ اتصالی شده اثر نکند.

دستگاهی که جهت از بین بردن تحریک ژنراتور بکار برده می شود دستگاه نصف حوزه نامیده می شود این دستگاه باید به محض قطع ژنراتور از شبکه حوزهٔ مغناطیسی موجود در ژنراتوئر را سریعاً تا حدی پایین آورد که اختلاف سطح ژنراتور پایین تر از ولتاژ الکتریکی جرقه در قسمت خسارت دیده برسد و از پیشروی اتصالی و آتش سوزی جلوگیری کند.

در ثانی باید مواظب بود در موقعی که حوزه در اثر کم شدن سریع جریان تحریک به سرعت کم می شود ولتاژ الکتریکی زیادی به دلیل $L\frac{di}{dt}$ در سیم پیچی رتور ایجاد نشود.

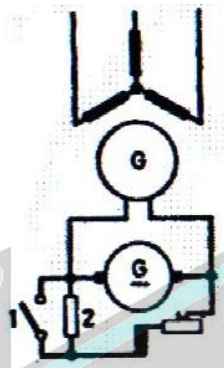
از آنجاییکه مدار تحریک دارای ثابت زمانی $T=\frac{L}{R}$ است و این مقدار ثابت است. لذا نمیتواند حوزه مغناطیسی را غفلتاً از بین ببرد زیرا محوشدن حوزه به زمان نیاز دارد لذا تنها راه استفاده از مقاومت زیاد R است.

از نظر تئوری قطع یکباره حوزه مدار تحریک باعث می شود که مقاومت آن بی نهایت گردد ولی مقدار $L\frac{di}{dt}$و یا $\frac{d\varphi}{dt}$ بحدی زیاد می شود که سبب ایجاد موج فشار قوی زیاد می گردد که برای ژنراتور بسیار خطرناک است

و این امر باعث می شود که مدار جریان در محل جرقه در محل قطع بوجود آمده است را برای مدتی به طور بسته نگه دارد.

لذا بهتر است بجای قطع تحریک، یک مقاومت بزرگ در مدار قرار دهیم و این مقاومت باید به قدری بزرگ باشد کهضمن کوتاه کردن زمان تضعیف حوزه باعث برقراری ولتاژ غیر مجاز ضربه ای نشود. به عبارت دیگر بایستی انرژی ناشی از $L\frac{di}{dt}$و یا $\frac{d\varphi}{dt}$ در مقاومت اندوکتیویته بزرگ سیم پیچی رتور را در مقاومت تخلیه و مستهلک نمود.

در ماشینهای کوچک با قدرت *500-2000KVA* کافی است یک مقاومت بزرگی در حدود 10 برابر مقاومت تحریک کنندهٔ ژنراتور جریان دائم، در سر راه تحریک مولد جریان دائم قرار داده شود. (مقاومت 2 در شکل (67))

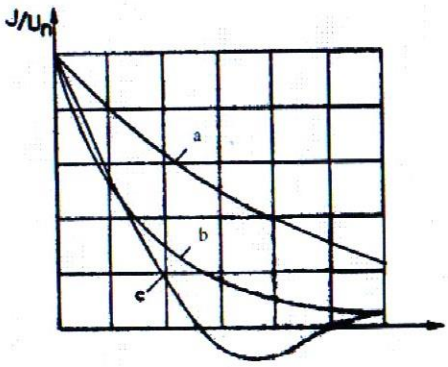


شکل(۶۷)

این مقاومت توسط کلید 1 قطع و یا وصل می گردد.

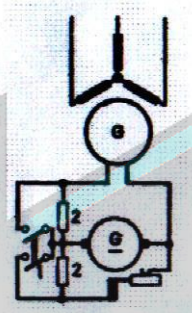
مقاومت اندوکتیویتهٔ بزرگ سیم پیچی رتور همانطور که می دانیم سبب می شود که با کم شدن جریان حوزه مخالفت کند و در نتیجه ولتاژ ژنراتور مانند منحنی a در شکل (68) به طور آهسته کم می شود وچون جریان تحریک بکلی قطع نمی شود ولتاژ ژنراتور نیز بکلی از بین نمیرود.

Power Plant Academy



شکل(۶۸)

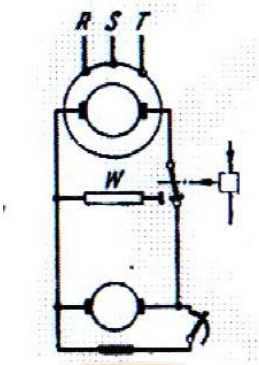
شکل (69) روش دیگری را نشان می دهد که توسط آن حوزه سریعتر تضعیف می شود در این روش علاوه بر مقاومتی که در سر راه تحریک کننده قرار دارد، یک مقاومت مشخص نیز بر سر راه تحریک کنندهٔ ژنراتور قرار داده شده است. این دومقاومت توئسط کلید مخصوص تضعیف کننده حوزه 1 در حالت عادی اتصالی شده و در موقعی که کلید تضعیف حوزه قطع میگردد در سر راه تحریک کننده ها قرار می گیرد و در نتیجه تضعیف حوزه نسبت به روش قبل سریعتر انجام می گیرد(منحنی C در شکل (68))



شکل(۶۹)

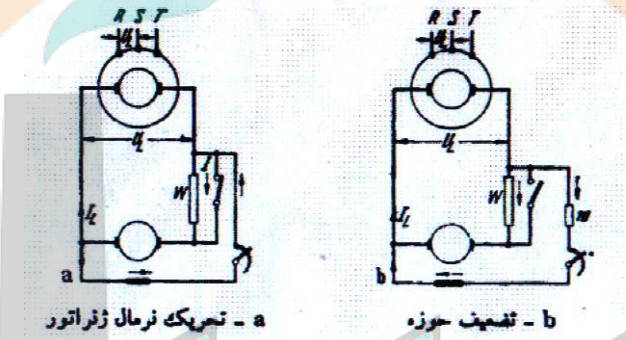
روش دیگری که در شکل (70) بکار برده شده است، قطع تحریک ژنراتور و اتصال مدار تحریک بر روی یک مقاومت معینمی باشد. در این روش نیز تضعیف حوزه سریعاً انجام می گیرد. به طوریکه ولتاژ ژنراتور تقریباً طبق منحنی b نزول میکند وچنانچه دیده می شود سرعت افت ولتاژ بعدی زیاد است که در اغلب ژنراتورها نمی تواند سبب ایجاد جرقه با نگهداشتن جرقه در محل اتصالی شود. البته در این روش مانند روشهای فوق چون ولتاژی که در اثر پس ماند مغناطیسی بوجود میآید باقی می ماند . باینجهت ولتاژ به صفر نمی رسد.

Power Plant Academy



شکل(۷۰)

روش دیگری که کاملاً با روشهای فوق متفاوت است روش تضعیف نوسانی است که توسط دکتر رودنبرگ پیشنهاد شد و زیمنس از آن اتفاده می کند. این روش در شکل (71) نشان داده شده است.



a ـ تحریک نرمال ژنراتور b ـ تضعیف حوزه

شکل(۷۱)

چنانچه دیده می شود در این روشیک مقاومت با سیم پیچی تحریک کنندهٔ ژنراتور بهطور سری قرار گرفته است که در حالت کار نرمال ژنراتور توسط کلید تضعیف حوزه I از مدار تحریک خارج است . با باز شدن کلید I همین مقاومت W در سر راه مدار تحریک کنندهٔ مولد جریان دائم نیز قرار می گیرد.طرز عمل بدین شرح است.

در حالت عادی کلید I بسته است وجریان طبق فلش های شکل (71- الف) از مدار عبوئر میکند. وقتی کلید I قطع می شود.اولاً مقاومت W سر راه مدار تحریک ژنراتور قرار گرفته وسبب می شود که جریان تحریک کوچک شود وحوزه تضعیف شود. در ثانی ایجاد ولتاژ زیاد در موقع تضعیف حوزه سبب افت ولتاژ در دو سر مقاومت W شده ودر نتیجه جهت جریان در سیم پیچی تحریک دینامو‌ی شنت طبق فلش شکل (71 –ب) عوض می شود.

Power Plant Academy

این تغییر جهت دادن جریان، سبب تغییر قطب دادن دینام می شود. در نتیجه ولتاژ ژنراتور یک مرتبه می افتد، به صفر می رسد و مجدداً بالا می رود و این عمل به طور نوسانی چند بار تکرار می شود و بالاخره در اثر میرائی سیم پیچها و تلفات هسته آهنی ژنراتور از بین می رود. (منحنی C در شکل 68)

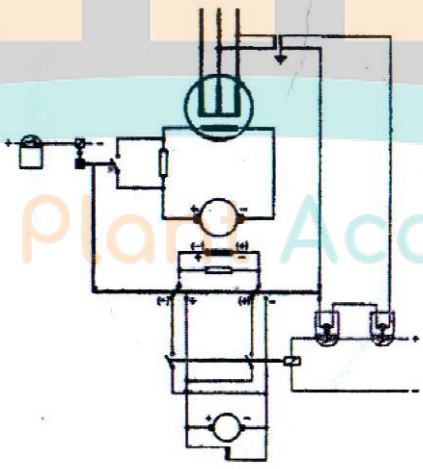
به کمک این روش و تعیین صحیح مقاومت W می توان در مدتی کمتر از 1/5 ثانیه ولتاژ $6KV$ ژنراتور را به 27 ولت رساند.

شکل (72) تضعیف حوزه بوسیله تغییر قطب دادن را نشان می دهد.

این روش در ژنراتورهای با قدرت زیاد که علاوه بر ماشین تحریک خارجی دارای دینام با تحریک خودی نیز می باشند، بکار برده می شود (روش BBC)

مطابق شکل (72) در مدار تحریک ژنراتور مقاومت تضعیف کننده قرار گرفته است که در حالت عادی توسط کلید تضعیف اتصالی شده است. رله ای که سبب باز کردن اتصالی دو سر مقاومت تضعیف کنندهٔ حوزه می شود. باعث تغییر قطب دادن تحریک کننده اصلی ژنراتور نیز می گردد. در نتیجه ولتاژ کامل ژنراتور تحریک کننده فرعی در روی ژنراتور تحریک اصلی مؤثر واقع شده، سبب نزول سریع ولتاژ آلترناتور می شود.

جهت جلوگیری از ازدیاد مجدد ولتاژ از رلهٔ ولتاژ کم استفاده شده است. رلهٔ ولتاژ کم به محض رسیدن ولتاژ بمقداری که قبلاً تنظیم شده است کلید اصلی مدار تحریک فرعی را باز می کند. در ضمن از یک رلهٔ زمانی نیز استفاده شده که با تنظیم قبلی آن پس از گذشت زمان معینی در هر حال سبب قطع مدار تحریک فرعی می شود تا قطبهای ژنراتور تغییر جهت ندهند.



شکل(۷۲)

Power Plant Academy

7-6- دستگاه خاموش کننده جرقه یا وسیله آتش نشانی

برای خاموش کردن جرقه و آتش سوزی در ژنراتورها معمولاً از گاز CO_2 استفاده می شود. به طوریکه اگر قطع ژنراتور در اثر اتصال کوتاه داخلی انجام شده باشد، بلافاصله دستگاه CO_2 بکار افتاده و گاز CO_2 از مجرای هوا که جهت خنک کردن ژنراتور از آن استفاده می شد بداخل ژنراتور دمیده می شود. در این موقع باید بلافاصله مسیر جریان هوا را قطع کرد.

این عمل در ژنراتورهایی که با هوا خنک می شوند بکار برده می شود. در صورتیکه ژنراتور با هیدروژن خنک شود معمولاً از CO_2 جهت خاموش کردن استفاده نمی شود.

امروزه با در دست داشتن رله های مدرن و سریع العمل معمولاً استفاده از CO_2 جهت خاموش کردن جرقه تقریباً زائد است و کمتر در نیروگاههای مدرن امروزی از آن استفاده می شود.

Power Plant Academy