

رله فرکانسی در حفاظت ژنراتور

چکیده ؛

در این پروژه در ابتدای مقدمه اهمیت حفاظت مولد را بیان کرده و در فصل اول به رفتارمولد در شبکه پرداخته شده است و در ادامه، فصل بعدی نقش پایداری شبکه را در حفاظت از ژنراتور بحث شده و در فصل آخر به معرفی رله فرکانسی و نقش آن در حفاظت ژنراتور و همچنین معرفی چند نمونه از این رله ها که در شرکت ABB بوده ، پرداخته شده است .

فهرست:

۱	مقدمه
۳	۱- فصل اول : رفتار مولد در شبکه
۱۰	۲- فصل دوم : نقش ژنراتور در پایداری شبکه
۱۱	۲-۱ مقدمه
۱۲	۲-۲ پایداری در شبکه
۲۴	۲-۳ پایداری ماندگار
۲۷	۲-۴ پایداری گذرا
۳۱	۳- فصل سوم رله فرکانسی و حفاظت از ژنراتور
۳۲	۳-۱ مقدمه
۳۵	۳-۲ رله های فرکانسی
۳۶	۳-۳ معرفی چند رله فرکانسی و تشریح ساختمان آن
۵۲	- منابع و ماخذ

مولدها از مهمترین اجزاء یک سیستم قدرت به شمار می روند زیرا مولدها تولید کننده انرژی در شبکه برق می باشند .

نقص داخلی ژنراتور علاوه بر زیانی که به خود ژنراتور وارد می کند، باعث قطع شدن قسمت بزرگی از انرژی نیروگاه و شبکه نیز می گردد و در صورتیکه زیانهای وارده بر ژنراتور در اثر نداشتن وسایل حفاظتی صحیح ، و قطع به موقع آن و گسترش یافته ، ترمیم و تعمیر محل عیب دیده ممکن است مدتها به طول انجامیده و بهره برداری از ژنراتور برای مدت زیادی متوقف گردد و گاه خسارات غیرقابل جبرانی را به دنبال دارند .

در نتیجه به اجبار 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 آسیب خسارت دیدن آنها شود باعث کم شدن طول عمر و دوام آنها نیز می گردد لذا برای جلوگیری از اینگونه زیانها ، لازم است خطاهای داخل ژنراتور را قبل از توسعه شناخت و برطرف کرد .

در نظر گرفتن دامنه وسیعی از مشخصه ها و جنبه های ویژه کار ژنراتور سبب پیچیده تر شدن مسئله حفاظت در شبکه ها می شود . انتخاب حفاظت مناسب برای مولد بایستی با ملاحظات اقتصادی همراه باشد .

قدرت نامی می تواند به عنوان معیاری برای انتخاب حفاظتهای مناسب در نظر گرفته شود اما این به تنهایی کافی نیست و بایستی با عوامل دیگری همراه گردد مثلا محل قرار گرفتن این تجهیزات ، نوع استفاده از آنها و میزان اهمیت و حساسیتی که در یک مجموعه دارا می باشد از جمله مواردی هستند که بایستی در انتخاب سیستمهای حفاظتی بحساب آیند . وظیفه دستگاههای حفاظتی ژنراتور اینست که خطا را در همان مراحل ابتدایی پیدا کند ، بسنجد و بااطلاع مسئولین امر برساند و در صورتیکه لازم باشد ،

خود جهت قطع ژنراتور از شبکه و برداشت تحریک اقدام کند این عمل باید چنان سریع و ماهرانه انجام شود که نقطه معیوب فرصت توسعه یافتن پیدا نکند. دستگاههای حفاظتی ژنراتورهای با دور کم و با دور زیاد متفاوت نیستند تنها تفاوت دستگاههای حفاظتی ژنراتورها، در نوع اتصال ژنراتورها به شبکه می باشد.

فصل اول:

رفتار مولد در شبکه

در یک نیروگاه یا بطور کلی در یک شبکه سراسری باید گاهی به خاطر تغییرات بار ژنراتوری

از شبکه خارج و یا ژنراتوری به شبکه وارد شود. به کمک منحنی بار روزانه می توان پیش بینی کرد

که یک مولد در چه زمانی با چه باری باید وارد شبکه شود و چه مدت در شبکه باقی بماند.

برای اینکه ژنراتوری در مدار قرار گیرد ، باید این ژنراتور راه اندازی و برای بارگیری آماده شود این آمادگی و راه اندازی علاوه بر زمان ، احتیاج به مقداری انرژی دارد . کار انجام شده بر حسب k.w.h است مثل نیروگاه هیدرولیکی که آماده کردن و راه اندازی آن به کمک وسایل الکتریکی صورت می گیرد و یا اینکه انرژی لازم از دو قسمت الکتریکی و حرارتی تشکیل می شود مثل نیروگاه بخاری .

در این حالت نیز می توان مقدار بخار مصرف شده را به کیلووات ساعت تبدیل نمود یعنی بررسی کرد که با مصرف این مقدار بخار این نیروگاه در حالت عادی چند کیلووات ساعت می توانست نیروی الکتریکی تولید کند .

اگر مقدار انرژی تامین شده برای راه اندازی ژنراتور A_0 باشد و مدت زمانی که ژنراتور در مدار قرار گیرد T فرض شود و تلفات ژنراتور و توربین و غیره بطور کلی تلفات یک واحد تولید بر حسب کیلووات N_0 باشد ، انرژی لازم برای راه اندازی در این مدت برابر می شود با :

$$A_0 + N_0 \cdot T$$

برای جبران کمبود بار باید واحدی وارد مدار شود که ضریب تلف آن کوچک باشد .

آنچه که در بالا اشاره شد در نیروگاههای مختلف و واحدهای مختلف نیز صادق است ، باید توجه داشت که در واحدهای مختلف هزینه تولید برق متفاوت بوده است و در موقع محاسبه باید هزینه متغیر واحد در نظر گرفته شود زیرا هزینه ثابت یک نیروگاه در هر حال چه این واحد در مدار باشد و چه نباشد در محاسبه قیمت یک کیلووات ساعت منظور می شود .

در صورتی که تعداد زیادی ژنراتور مشترکاً برق شبکه را تامین کنند بعید به نظر می رسد که تمام ژنراتورها با بار کامل کار کنند. مثلاً اگر دو ژنراتور مشترکاً بار شبکه ای تامین می کنند ممکن است یکی از واحدها ۰/۷۰ بار را بدهد و دیگری فقط ۳۰٪ باقیمانده را تامین کند.

در صورتی که قدرت این ژنراتور خیلی بیشتر از ۳۰٪ بار است و بدین جهت این واحد با بار کم کار می کند در ضمن ممکن است بار را روی هر دو واحد بطور تساوی یا به هر نیست دیگری تقسیم کرد. فرض می کنیم که یک ژنراتور مشخص و معینی بصورت پارالل یا ژنراتورهای دیگر مستقیماً روی شیشه ای با قدرت بسیار زیاد (بینهایت) کار کند. در اینصورت اختلاف سطح ژنراتور تابعی از مشخصات کار آن نخواهد بود بلکه همیشه ثابت می ماند بعبارت دیگر این شبکه است که فرکانس و ولتاژ ژنراتور را مشخص می کند.

حال بررسی می کنیم که :

اولاً اگر جریان تحریک این ژنراتور تغییر کند چه تغیراتی در کار ژنراتور حاصل می شود

ثانیاً : چه سهمی از توان واته شبکه را می تواند این ژنراتور تامین کند و به چه طریق .

۱- نقش ژنراتور در مقابل تغییرات جریات تحریک در صورتیکه u و N_{w_i} ثابت باشند .

در صورتیکه اختلاف سطح شبکه و توان واته توربین ثابت باشد دو حالت ممکن است برای ژنراتور در نظر گرفته شود : اول اینکه ژنراتور توان واته به شبکه وصل باشد .

دوم اینکه ژنراتور بار واته معینی به شبکه بدهد .

الف - رفتار ژنراتور در بار واته صفر ($N_w = 0$)

این حالت عملاً نمی تواند پیش آید زیرا تنظیم کننده توربین در شرایطی کار می کنند که ژنراتور حداقل توان واته ای در حدود ۰/۱ و ۰/۰۵ توان نامی ایجاد کند. ولی برای بررسی رفتار ژنراتور فرض می کنیم که ($Nw=0$) باشد.

اکنون در حالتی که ژنراتور کاملاً بی بار کار می کند جریان تحریک را تغیر می دهیم بطزیقی که در ابتدا جریان تحریک بدون بار ژنراتور انتخاب می کنیم در این حالت چون اختلاف سطح Uy باید ثابت بماند پس اختلاف سطح قطبی E_2 بزرگتر از اختلاف سطح ژنراتور می شود. تفاوت این دو ولتاژ باید افت اختلاف سطح امپیدانس سنکرون را پوشاند لذا باید ژنراتور جریان I_1 را که برابر با:

$$I_1 = \frac{E_2 - U_\lambda}{X_d}$$

می باشد تولید کرده و به شبکه بدهد و چون توان واته ژنراتور صفر است ($Nw=0$) پس این جریان باید عمود بر بردار اختلاف Uy باشد لذا ژنراتوری که بیش از نرمال تحریک شده باشد توان دواته به

$$N_b = I_1 \cdot U_\lambda = \frac{E_2 - U_\lambda}{X_d} \cdot U_\lambda \quad \text{شبهه می دهد.}$$

با کم شدن جریان تحریک، توان دواته نیز کوچک می شود و در حالتی که $E_2 = U_\lambda$ شود جریان و توان دواته نیز صفر خواهد شد. در این حالت ژنراتور بدون بار کار می کند و توان واته و دواته به شبکه نمی دهد و جریان تحریک آن بحدیست که ولتاژ ژنراتور با ولتاژ شبکه تعادل کامل را برقرار می سازد حال اگر جریان تحریک را باز هم کم کنیم E_2 کوچکتر از U می شود و برای جبران این تفاوت باید ژنراتور از شبکه جریان بگیرد

لذا در تحریک کمتر از نرمال جهت جریان استاتور بر می گردد و ژنراتور توان دواته نیز از شبکه می گیرد .

در موقعی که تحریک ژنراتور بکلی قطع شود ولی ژنراتور هنوز در حال سنکرون باقی باشد (تعداد دور ژنراتور یا فرکانس شبکه کاملا مطابقت کند) E_2 به صفر می رسد و ژنراتور از شبکه جریان

$$I_1 = \frac{U_\lambda}{X_d} \text{ و توان دواته } N_b = -\frac{u^2}{X_d}$$

را می کشد در این حالت ژنراتور مثل یک سلف می ماند که به شبکه ای با اختلاف سطح U بسته شده باشد .

ب - نقش ژنراتور در موقعی که از آن بارواته ثابت گرفته شود .

در اینجالت زاویه قطبی S (زاویه بین E_2 و U_λ) حتما بزرگتر از صفر خواهد بود و مقدار آن از رابطه

$$N_w = \frac{E_2 \cdot U_\lambda}{X_d} \cdot \sin \delta \text{ بدست می آید .}$$

چنانچه دیده می شود وقتی N_w, U_λ ثابت باشد با ازدیاد توان واته توربین باید زاویه δ بزرگ شود و چون زاویه δ نسبت معکوس با E_2 دارد پس برای بزرگ شدن زاویه δ باید تحریک ژنراتور کوچک گردد .

این بار بررسی را در حالتی شروع می کنیم که $E_2 > U_\lambda$ باشد .

ما می دانیم که در هر باری ، همان گردش و توان در روی محور توربین باید برابر با همان ترمز کننده حوزه مغناطیسی ژنراتور و توان واته در روی محور ژنراتور باشد به عبارت دیگر ممان و توان مکانیکی توربین باید برابر با ممان و توان الکتریکی ژنراتور باشد در غیر اینصورت یا ممان گردش بزرگتر می

شود که باعث سریع تر گردیدن توربین می گردد و یا همان ترمز کننده ژنراتور بیشتر می شود که آن هم باعث آهسته تر گردیدن توربین خواهد شد .

اکنون می خواهیم بررسی کنیم که کوچک شدن تحریک از E_2 به E'_2 موجب چه تغییراتی در ژنراتور می شود بشرط آنکه توان واته ای که توربین به ژنراتور می دهد ثابت بماند .

حالت تعادل موقعی بوجود می آید که بار ژنراتور در این لحظه برابر ژنراتور در لحظه ای باشد که بررسی را آغاز کردیم .

لذا چون با تغییر کردن جریان تحریک بارواته ژنراتور ثابت می ماند می توان نوشت :

$$N_w = \frac{E_2 \cdot U}{X_d} \cdot \sin \delta = \frac{E'_2 \cdot U}{X_d} \cdot \sin \delta' = \dots$$

$$E_2 \cdot \sin \delta = E'_2 \cdot \sin \delta' = E''_2 \cdot \sin \delta'' = \delta \quad \text{و یا}$$

بطوریکه با ثابت بودن ولتاژ فاصله δ متناسب با بارواته N_w ژنراتور است و هر چه توان واته بزرگتر شود δ بزرگتر می شود .

اگر این تغییرات زاویه قطبی از یک حدی تجاوز نکند و دامنه آن خیلی بزرگ نباشد پس از گذشت زمان کوتاهی نوسان ها در اثر تلفات مکانیکی و الکتریکی ژنراتور مستهلک شده و ژنراتور مجدداً حالت تعادل خود را باز می یابد .

ولی اگر دامنه این نوسانها خیلی زیاد باشد ژنراتور از سنکرون خارج می شود و نمی تواند

حالت تعادل خود را باز یابد بدین جهت نمی توان جریان تحریک ژنراتور را بطور آنی و سریع به مقدار زیاد تغیر داد ، بلکه باید محل تغیرات همیشه بطور آهسته و یکنواخت صورت گیرد .

همین طور بالا رفتن تحریک با تعداد زیادی ΔE_2 و $\Delta \delta$ توام است که یکی پس از دیگری روی ژنراتور موثر باعث بزرگ شدن E_2 کمیت های دیگری را نیز با خود تغییر می دهد که عبارتند از ازدیاد ممان ترمز کننده در روی محور توربوژنراتور و ایجاد ممان ترمز کننده در محور توربین و در نتیجه ترمز شدن محور توربین و کوچک شدن زاویه δ تا برقرار شدن تعادل مجدد .

پس با تخمیر کردن تحریک شدن جریان استاتور و ضریب توان $\cos \varphi$ نیز تخمیر می کند در ضمن در صورتیکه N_w و U ثابت باشد تخمیرات جریان تحریک فقط باعث تخمیرات جریان استاتور و توان دواته نمی شود بلکه باعث تخمیر جهت جریان و جهت توان دواته نیز می گردد بطوریکه اگر

$$\frac{U}{\cos \delta} \langle E_2 \rangle \text{ باشد ژنراتور از شبکه توان دواته به شبکه می دهد و اگر } \frac{U}{\cos \delta} \langle E \rangle \text{ می کشد .}$$

در حالت اول ازدیاد تحریک باعث ازدیاد جریان استاتور و کم شدن تحریک باعث کم شدن جریان استاتور می شود . و در حالت دوم ازدیاد جریان تحریک باعث کم شدن جریان استاتور و کم شدن جریان تحریک باعث زیاد شدن جریان استاتور می گردد .

معمولاً از ژنراتور طوری بار گرفته می شود و یا به عبارت دیگر ژنراتور طوری تحریک می شود که همیشه مقدار معین و مشخصی توان دواته به شبکه بدهد این مقدار از روی سنجش $\cos \varphi$ تعیین می شود

فصل دوم:

نقش ژنراتور در پایداری شبکه

۱-۲ مقدمه :

تمایل سیستم قدرت برای ایجاد نیروهای بازیابی برابر یا بیشتر از نیروهای اختلال وارد شده به آن ، به منظور نگهداری حالت تعادل سیستم را پایداری می گویند . اگر نیروهایی که سعی دارند ماشینها را با یکدیگر در حالت همگام حفظ نمایند به قدر کافی بزرگ باشند تا بر نیروهای اختلال غلبه کنند ، سیستم پایدار باقی می ماند .

مساله پایداری به رفتار ماشین های سنکرون پس از رخداد یک اختلال مربوط می شود برای سهولت تجزیه و تحلیل ، مسایل پایداری معمولاً به دو دسته اصلی تقسیم می شود : پایداری ماندگار و پایداری گذرا . پایداری ماندگار به توانایی سیستم قدرت در بازگرداندن همگامی پس از رویداد اختلال های کوچک و کند محل تغییرات تدریجی توان اطلاق می گردد حالت توسعه یافته پایداری ماندگار ، پایداری دینامیکی نامیده می شود . پایداری پویا مربوط به اختلال های کوچک برای مدت زمان طولانی یا منظور کردن وسایل کنترل خودکار می باشد مطالعات پایداری گذرا با اثرات اختلال های بزرگ و ناگهانی مانند وقوع یک خطا ، خروج ناگهانی یک خط ، ورود یا خروج ناگهانی بارها سروکار دارد . مطالعات پایداری گذرا برای اطمینان از توانایی تحمل سیستم قدرت در مقابل شرایط گذرا پس از رخداد یک اختلال عمده ضروری است هنگام طراحی تجهیزات تولید و انتقال جدید چنین مطالعاتی ضروری است این مطالعات ضروری است این مطالعات برای تعیین پارامترهایی مانند ماهیت سیستم رله گذاری مورد نیاز ، زمان بحرانی رفع خطای مدار شکن ها ، تعیین سطح ولتاژ سیستم و قابلیت انتقال توان به این سیستم ها مفید است .

۲-۲- پایداری در شبکه

اگر یک ژنراتوری شبکه ای را تغذیه کند که فقط شامل مقاومت اهمی و راکتانس باشد به عبارت دیگر در این شبکه هیچ نوع وسیله ای که نگهدارنده فرکانس و اختلاف سطح است مانند نیروگاه دیگر وجود نداشته باشد، در این صورت می تواند شبکه انتقال انرژی بطور دلخواه بزرگ و طویل باشد و در این سیستم برق رسانی هیچ نوع محدودیتی از نظر پایداری و ثبات وجود نخواهد داشت.

اما اگر یک ژنراتوری شبکه ای را تغذیه کند که شامل ژنراتورهای دیگر نیز می باشد، آنوقت شرایط کمی فرق می کند این حالت مشابه رودیست که بداخل سدی ریخته می شود که جلوی آن بسته است. یا آب رودخانه به آرامی وارد سد می شود، حالت پایداری استاتیکی و یا اینکه با برخورد به دیواره سد آب بر می گردد و حرکت نوسانی در پشت سد تولید می کند، حالت ناپایداری.

برای بررسی این شرایط ابتدا فرض می کنیم که یک ژنراتوری شبکه ای را که دارای ولتاژ ثابت U_2 می باشد تغذیه می کند (شکل زیر)

ژنراتور شکل I که ژنراتور مورد بحث است، انرژی تولید شده را با نیروی الکترو موتوری قطبی E_{21} توسط شبکه ای با مقاومت X به پست فشار قوی نیروگاه شماره Π که دارای اختلاف سطح ثابت است می رساند.

X در اینجا راکتانس سیم انتقال و ترانسفورماتور مابین دو نیروگاه است.

حال فرض می کنیم نیروی الکتروموتوری قطبی E_{2I} نسبت به بردار اختلاف سطح $U_2 \lambda$ به اندازه زاویه θ جلو باشد در این حالت چه توانی به نیروگاه Π می رساند.

۱- اگر اختلاف سطح نیروگاه Π صفر باشد این حالت بیانگر اتصال کوتاه شدن در پست نیروگاه شماره است .

در این وضعیت ژنراتور I با اختلاف سطح قطبی خودش E_{2I} جریان اتصال کوتاه I_{1K} را تولید میکند و محل اتصالی را که همان پست فشار قوی نیروگاه Π است با این جریان تغذیه می کند (شکل الف)

۲- اگر اختلاف سطح نیروگاه سطح نیروگاه I صفر باشد یعنی اتصالی در ترمینال ژنراتور I اتفاق افتد و تنها اختلاف سطح U_2 در روی شبکه موثر باشد در این حالت ژنراتور Π جریان اتصال کوتاه I_{2K} را تولید می کند و محل اتصالی با این جریان تغذیه می شود (شکل ب)

حال اگر این دو شکل الف و ب را روی هم سوار کنیم جریانی که از نیروگاه I به نیروگاه Π می رسد برابر است با تفاضل این دو جریان و شکل ۱ بدست می آید .

$$I_2 = I_{1K} - I_{2K} \quad (\text{از جمع آثار})$$

در شکل (۲) دو بردار اختلاف سطح های U_2 و E_{2I} با زاویه قطبی θ رسم شده است جریان اتصال کوتاه I_{1K} که توسط نیروی الکتروموتوری قطبی E_2 بوجود می آید نسبت به آن ۹۰ درجه عقب افتادگی دارد و جریان I_2K نیز نسبت به اختلاف سطح خودش U_2 نود درجه عقب است .

شکل ۲ نشان می دهد که اولاً مکان هندسی جریان I_2 یک دایره است و در ثانی فقط جریان اتصال کوتاه I_{1K} است که با اختلاف سطح U_2 مولفه اهمی (همفاز) دارد ، نه جریان اتصال کوتاه I_2k لذا برای توان واته انتقال داده شده با در نظر گرفتن شکل I می توان نوشت:

$$N = 3u_2 \cdot I_{1k} \cdot \sin \theta \quad (I)$$

این رابطه نشان میدهد که توان تابع سینوسی زاویه جلو افتاده θ است (زاویه قطبی) و بزرگترین قدرت در زاویه $\theta = 90^\circ$ درجه انتقال داده می شود در این زاویه حد پایداری استاتیکی مشخص می شود حال اگر توان مکانیکی روی محور ژنراتور I را به حدی زیاد کنیم که زاویه θ از ۹۰ درجه بزرگتر شود بازده الکتریکی ژنراتور به شبکه کوچک می شود بعبارت دیگر اگر همان گردش را تا آنجا زیاد کنیم که توان الکتریکی تابع صعودی منحنی سینوسی باشد ، یعنی ژنراتور همیشه به عنوان یک ترمز در مقابل توربین قرار گیرد ، ژنراتور در سنکرونیسم باقی می ماند ولی اگر همان گردش را باز هم زیادتر کنیم همان مخالف ژنراتور با ازدیاد $\theta > \frac{\pi}{2}$ تدریجاً کوچکتر می شود و این سیستم گردان (ژنراتور) از حالت تعادل خارج می شود . پایداری و ثبات شبکه بهم می خورد ژنراتور دور برداشته و از مدار خارج می شود .

رابطه (۱) یک رابطه کلی است و در حالت‌های مختلف دیگر که شبکه بین دو نیروگاه شامل مقاومت‌های سلفی و خازنی باشد نیز صادق است زیرا علت وجودی رابطه (۱) فقط در این است به جریان اتصالی کوتاه I_{IK} نسبت به اختلاف سطح قطبی E_2I به اندازه ۹۰ درجه عقب باشد و این حالت برای مواقعی که شبکه از سلف و خازن نیز تشکیل شده باشد نیز پیش می‌آید و اگر به فرض جریان اتصال کوتاه ۹۰ درجه جلو افتادگی داشته باشد باید جریان اتصالی کوتاه I_{IK} را با علامت منفی در رابطه فوق قرار داد.

لذا رابطه فوق حتی در حالتی که بین دو نیروگاه ۱ و ۲ علاوه بر مقاومت اندوکتیو سیم طویلی که شامل کاپاسیته و اندوکتیویته تقسیم شده در خط می باشد نیز صادق است و در این حالت هم پایداری و ثبات موقعی حاصل می‌شود که بین E_{2I} و U_2 اختلاف فازی تا ۹۰ درجه موجود باشد.

طبق رابطه (۱) هر چه جریان اتصال کوتاه I_{IK} بزرگتر باشد توانایی انتقال انرژی واته به شبکه بیشتر می‌شود بدون اینکه پایداری شبکه مختل گردد و این حالت را می‌توان بوجود آورد اگر مقداری از اندوکتیویته سیم را توسط سدی کردن خازنهایی در شبکه خنثی یا کمپانزه گردد ذیلاً می‌خواهیم حالتی را بررسی کنیم که خط علاوه بر راکتانس شامل مقاومت اهمی هم باشد. برای بررسی توان انتقال داده شده در این حالت از همان شکل ۲ کمک می‌گیریم

با این تفاوت که این بار جریان های اتصال کوتاه نسبت به ولتاژ خودشان ۹۰ درجه عقب افتادگی

ندارند بلکه به اندازه $\delta - 90$ عقب افتادگی پیدا می‌کنند. (شکل ۳)

دیاگرام شکل ۳ نشان می دهد که به علت تلفات سیم ، I_{W2} جریان همفاز با ولتاژ U_2 قدری کوچکتر از حالت قبل است و ماکسیموم توانی که به نیروگاه ۲ می رسد در زاویه $(90 - \delta)$ ظاهر می شود .
در این حالت می توان برای وات هاته که به نیروگاه ۲ میرسد رابطه زیر را نوشت :

$$N_{W2} = 3U_2 [I_{1K} \cdot \sin(\theta + \delta) - I_{2K} \cdot \sin \delta] \quad (2)$$

این رابطه نیز برای هر شبکه دلخواهی بین نیروگاه ۱ و ۲ صادق است .

ذیلاً می خواهیم توان وات هاته نیروگاه I را محاسبه کنیم این توان مسلماً به علت تلفات خط نسبت به توان وات هاته ای که به نیروگاه ۲ میرسد تفاوت دارد (بزرگتر است)

جریان I_1 در نیروگاه I برابر است با :

$$I_1 = I_{1K} - I_{2K}$$

معمولاً جریان I_{1K} و I_{2K} در نیروگاه شماره I سنجیده می شود زیرا بطور مثال در یک خط که دارای اندوکتیویته و کاپاسیته تقسیم شده در طول خط است ، جریان I_{1K} در اول و در انتهای خط با هم متفاوت است ولی البته در یک سیم ساده جریان اول و انتهای خط تفاوت چندانی نخواهد داشت .

جریان I_{W1} را می توان بدین طریق بدست آورد که جریان I_2 را که به جای I_1 رسم شده و در سیم ساده هر دو یکی است ، بر روی بردار E_{2I} تصویر نمود و چون E_{2I} نسبت به U_2 به اندازه زاویه

θ جلوافتادگی دارد می توان طبق شکل (۳)

توانی که نیروگاه I می دهد (N_{W1}) را بدین طریق بدست آورد که در رابطه (۲) زاویه را به اندازه θ کوچک کرد و از E_{2I} به جای U_2 استفاده نمود .

$$N_{W1} = 3E_{2I} [I_{1K} \cdot \sin \delta - I_{2K} \cdot \sin(\delta - \theta)] \quad \text{II} \quad (۳)$$

$$= 3E_{2I} [I_{2K} \sin(\theta - \delta) + I_{1K} \cdot \sin \delta] \quad \text{II}$$

و برای حالتی که فقط سیم ساده بکار برده شده باشد می توان نوشت:

$$\tan \delta = \frac{x}{r} \quad (۴)$$

اگر شبکه حقیقتاً محکم باشد یعنی ولتاژ حقیقتاً ثابت بماند . در پایداری برای ژنراتور I (ماکسیم N_{W1}) در زاویه $90 - \delta$ است .

چنانچه دیده می شود اگر زاویه θ از $(90 - \delta)$ هم بزرگتری شود، توان الکتریکی که از نیروگاه I به نیروگاه II می رسد (توان انتهای خط) کم می شود . در ضمن اینکه بار شبکه ثابت مانده است، لذا رتور ترمز می کند و از سنکرون خارج می شود. حتی می توان گفت که در شبکه ای که دارای تلف است در همان زاویه $(90 - \delta)$ ژنراتور ناپایدار می شود.

شکل ۴ یک ژنراتوری را که دارای راکتانس سنکرون X_d است و روی شکل با اختلاف سطح U_1 کار میکنند نشان می دهد .

این ژنراتور توسط احتمالاً یک ترانسفورماتور و سیم طویل باراکتانس X به پست فشار قوی نیروگاه دیگری با اختلاف سطح ثابت U_2 وصل شده است . توسط رگولاتور ولتاژ در نیروگاه I اختلاف سطح روی شئی U_1 ثابت و برابر U_2 نگهداشته می شود اگر شدت جریان مشخص باشد می

توان برای شبکه دیاگرام برداری شکل ۴ را رسم کرده و با امتداد دادن $I.X$ به اندازه $I.Xd$ اختلاف سطح قطبی ژنراتور I را بدست آورد. (شکل ۴)

این اختلاف سطح قطبی E_2 باید مبنای پایداری قرار گیرد. زیرا در حالتی که تعادل شبکه بهم می خورد، رگولاتور نیروگاه I نمی تواند به همان سرعت اختلاف سطح U_2 را تنظیم کرده ثابت نگهدارد و به همین دلیل می توانیم تصور کنیم که سطح قطبی E_2 ثابت می ماند در این صورت ژنراتور روی یک شبکه بزرگ با اختلاف سطح U_2 کار می کند.

برابری U_1 و U_2 لازمه آنست که جریان I تولید شود و همانطوریکه در دیاگرام رسم شده، این جریان زاویه بین اختلاف سطح U_1 و U_2 را به دو نیمه برابر تقسیم می کند در نتیجه توان واتر در ابتدا و انتهای خط برابر می شود.

$$N_{w1} = N_{w2}$$

این حالت البته معرف یک حالت کاملاً خاصی است که فاصله بین این دو نقطه مطلقاً دارای تلف نباشد. (انتقال توان طبیعی) ولی به خاطر سادگی و راحتی بیان مطلب از این حالت استفاده شده است.

با فرض آنچه که گفته شد می توان از روی X_d و X و δ_0 و θ هر دو توان واتر را بدست آورد. البته توان حد بر حسب اینکه ما U_1 یا U_2 را به عنوان ولتاژ و ثابت در نظر بگیریم فرق می کند. ولی در موقعی که ژنراتور به روی سیم طویل کار می کند. همیشه می توان فقط U_2 را ثابت فرض کرد

ونوشت :

$$N_{w1} = N_{w2} = \frac{E_2 \cdot U_1}{X_d} \cdot \sin \delta_0 = \frac{E_{2I} \cdot U_2}{X_d + X} \cdot \sin \theta \quad (5)$$

$$\delta_0 > \theta$$

و حد توان در ابتدای خط برابر است با :

$$N_{w1 \max} = \frac{E_{2I} \cdot u_1}{Xd} \quad (6)$$

و حد توان در انتهای خط برابر است با :

$$N_{w2 \max} = \frac{E_{2I} \cdot U_2}{X_d + X} = \frac{E_{2I} \cdot U_1}{X_d + X} \quad (7)$$

و نیست حد توانها برابر است با :

$$\frac{N_{w1 \max}}{N_{w2 \max}} = \frac{Xd + X}{Xd} = 1 + \frac{X}{X_d} \quad (8)$$

اگر ژنراتوری به یک شبکه بهم پیوسته ای متصل باشد و مقداری توان به شبکه بدهد، ما کسیمم توانی که این ژنراتور می تواند به شبکه بدهد (حد توان) بدون اینکه ناپایدار شده و از مدار خارج گردد بستگی به این دارد که ولتاژ شبکه در کجا بزرگتر از موقعی است که ولتاژ در انتهای خط طولی که این نیروگاه دیگر متصل می کند ثابت بماند .

در ضمن می توان از رابطه :

$$N_{w1} = N_{w2} = \frac{E_{2I} \cdot U}{X_d} \cdot \sin \delta_0 = \frac{E_{2I} \cdot U_2}{X_d + X} \cdot \sin \theta$$

نتیجه گرفت که :

$$\sin \theta = \left(\frac{Xd + X}{Xd} \right) \sin \delta_0$$

$$\sin \theta = \left(1 + \frac{x}{xd}\right) \cdot \sin \delta_0$$

ذیلاً می خواهیم اثر سلف یا اندوکتیو ته موازی X_0 را در پایداری شبکه بررسی کنیم (شکل ۵).

در موقعی که اندوکتیو ته X_0 موازی شئی بسته می شود از X_d ژنراتور علاوه بر جریان خط جریان I_0 که نسبت به اختلاف سطح U_1 نود درجه عقب است نیز عبور می کند این جریان در مقاومت X_d ایجاد یک اختلاف سطح اضافی می کند که نسبت به جریان I_0 نود درجه جلو است این اختلاف سطح با E_2 جمع شده نیروی الکتروموتوری E'_2 را ایجاد می کند که با اختلاف سطح U_2 زاویه کمتری می سازد و چون سیستم بدون تلف در نظر گرفته است، این کوچک شدن زاویه باعث بهتر شدن پایداری سیستم می شود جریان های مغناطیسی که به خاطر ترانسفورماتورهای موجود در شئی از ژنراتور کشیده می شود اثر همین سلف را دارند

به همین طریق میتوان ثابت کرد که خازنهای موازی با U_1 وضعیت پایداری شبکه را بدتر می

کند. بعبارت دیگر قدرت باردهی ژنراتور به شبکه کمتر می شود

در شکل ۶ الف موازی با U_1 یک مقاومت اهمی (بار اهمی) نصب شده است

دیاگرام برداری شکل ۶ ب نشان می دهد که جریان اضافی I_0 که در اثر وجود مقاومت اهمی از ژنراتور کشیده می شود به پایداری شبکه لطمه می زند و شرایط پایداری را سنگین تر می کند، زیرا این جریان که با اختلاف سطح U_1 هم فاز است باعث افت ولتاژ $I_0 \times d$ روی x_d می شود. این افت ولتاژ با اختلاف سطح E_2 جمع شده، منتهی آن نیروی الکتروموتوری E'_2 را می دهد. که با بردار U_2 زاویه بزرگتری از زاویه θ می سازد.

اگر حالت فوق را دقیقتر بررسی کنیم به مشکلات دیگری از نظر پایداری برخورد خواهیم کرد چنانچه شکل ۶ الف نشان می دهد سه امپدانس r, x, x_d بطور ستاره به هم متصل شده اند.

اگر این اتصال ستاره را تبدیل به مثلث کنیم بدون اینکه اثر آنها در شبکه تغییر کند طبق روابطی که می شناسیم امپدانس Z که ما بین E_2 و U_2 بسته شده در اتصال مثلث برابر است با:

$$Z = \frac{j \times d \cdot jx}{r} + j(xd + x) \quad \text{و یا}$$

$$Z = -\frac{xd \cdot x}{r} + j(xd + x) \quad (10)$$

Z برای پایداری شبکه بسیار مهم است، زیرا ما بین دو اختلاف سطح E_2 و U_2 بسته شده است. امپاندانس های z_1, z_2 برعکس اثری در پایداری شبکه نمی توانند داشته باشند چون به عنوان بار به ژنراتور بدون مقاومت و شبکه بسته شده اند.

Z طبق رابطه (۱۰) تشکیل شده از یک مقاومت اندوکتیو و یک مقاومت اهمی منفی در این حالت نیز

می توان رابطه (۴) را بکاربرد و با توجه به اینکه زاویه δ در آنجا منفی است نوشت:

$$\tan \delta = \frac{xd + x}{xd \cdot x} \times r \quad (11)$$

حال اگر $\delta = \delta_0$ قرار داده شود (δ_0) می توان رابطه (۳) را بصورت زیر نوشت:

$$NW_1 = 3E_2.[I_2.\sin(\theta - \delta_0) - I_K.\sin \delta_0] \quad (12)$$

این رابطه نشان می دهد که برای NW_1 در یک زاویه $90 - \delta_0$ می باشد و NW_1 گرچه در یک زاویه مقدار ماکسیمم خود را پیدا می کند ولی پایداری شبکه همیشه بستگی به NW_1 دارد. ذیلاً می خواهیم تعیین کنیم، اگر ژنراتوری روی سیم طویلی که به نیروگاه دیگری با اختلاف سطح ثابت U_2 متصل است کار می کند طول سیم انتقال انرژی چقدر باید باشد تا شبکه از یک پایداری مطمئن برخوردار باشد.

فرض می کنیم ژنراتور I با نیروی الکتروموتوری قطبی E_2 به کمک ترانسفورماتور و سیمی بطول پست فشار قوی نیروگاه II را که دارای ولتاژ ثابت U_2 است تغذیه می کند. اگر در ابتدای سیم اختلاف سطح U موجود باشد، و از این سیم توان طبیعی برداشت شود یعنی جریان در ابتدا و انتهای خط همفاز با ولتاژهایشان باشند زاویه بین U_2, U_1 برابر میشود با:

$$\theta_0 = \frac{\omega L}{V} \quad \text{سرعت نور در ثانیه است}$$

شکل (۷)

باعث افت اختلاف سطح $I.X$ در راکتانس ها تاشین ۱ نیروی الکتروموتوری E_2 از اختلاف

سطح U_2 و U_1 به اندازه زاویه ε جلو می افتد با در نظر گرفتن شکل ۷ ب می توان نوشت:

$$\tan \varepsilon = \frac{I.X}{U_1} = \frac{I.X}{I.Z} = \frac{X}{Z} \quad (13)$$

زاویه $\theta = \theta_0 + \varepsilon$ می تواند به خاطر پایداری شبکه ماکسیمم به ۹۰ درجه برسد و برای اینکه بتوانیم توان را با سیم طویل تر انتقال دهیم باید X هر چه ممکن است کوچک نگهداشته حال می خواهیم فرض کنیم که در نیروگاه یک رگلاتور سریع العمل برای تنظیم ولتاژ وجود داشته باشد بطوریکه در موقع نوسانی شدن ژنراتور اکتانس گذاری ژنراتور $X'd$ تقریباً ثابت بماند. در این صورت این راکتانس و راکتانس ترانسفورماتور مجموعاً در پایداری شبکه موثر واقع می شود.

۲-۳ پایداری ماندگار

پایداری ماندگار به توانایی سیستم در حفظ حالت همگامی خود وقتی که تحت اختلال های کوچک قرار می گیرد اطلاق می شود می توان فرض کرد اختلال هایی که باعث تغییرات می شوند برطرف می گردند.

تغییرات سیستم آزاد است و هنگامی پایداری تضمین می شود که سیستم به حالت اولیه خود برگردد چنین رفتاری را می توان در سیستم خطی با معامله مشخصه آن تعیین کرد. فرض بر این است که کنترل های خودکار مانند تنظیم کننده ولتاژ و گاورنر غیرفعال می باشند.

برای روشن شدن مساله پایداری ماندگار، یک ماشین سنکرون را که به شئی بی نهایت وصل شده را

در نظر بگیرید. معادله توان الکتریکی بر حسب P_{\max} برابر است با:

$$p_e = p_{\max} \sin \delta \quad (1-2)$$

و با جایگزینی در معادله نوسان رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{H}{\pi F_0} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_m - P_{\max} \times \sin \delta \quad (2-2)$$

معادله نوسان، یک تابع غیرفعلی از زاویه توان است. با این وجود، برای اختلال های کوچک معادله

نوسان را می توان با کمی کاهش دقت به صورت زیر خطی کرد. معادله بالا به معادله خطی شده زیر بر

حسب تغییرات افزایشی زاویه توان تبدیل می شود:

$$\frac{H}{\pi F_0} \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + P_{m\delta} \times \cos \delta_0 \Delta \delta = 0 \quad (3-2)$$

در رابطه (3-2) کمیت $P_{m\delta} \times \cos \delta_0$ با شعب منحنی می توان زاویه در نقطه δ_0 است این

مقدار موسوم به ضریب همگام ساز (سنکرون کننده) بوده و با P_s نمایش داده می شود این ضریب

نقش مهمی را در تعمیم پایداری سیستم ایفا می کند و برابر است با

$$P_s = \left. \frac{d\rho}{d\delta} \right|_{P_{m\delta} \times \cos \delta_0}$$

و با جایگزینی این رابطه در (3-2) داریم.

$$\frac{H}{\pi F_0} \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + P_s \Delta S = 0$$

حل معامله دیفرانسیل مرتبه دوم بالا بستگی به ریشه های معادله مشخصه دارد.

و هنگامی که $P_s > 0$ است یکی از ریشه ها در سمت راست صفحه S قرار گرفته و پاسخ سیستم به

صورت افزایشی نمایی بوده و پایداری از دست می رود وقتی که $P_s < 0$ باشد

دو ریشه روی محور ها قرار گرفته و پاسخ به صورت نوسانی میرا نشده است سیستم دارای پایدار حدی بوده و فرکانس طبیعی نوسان آن بصورت زیر می باشد .

$$W_n = \sqrt{\frac{\pi F_0}{H}} P_s \quad (6-2)$$

مادامی که اختلافی در سرعت زاویه ای بین روتور و میدان دوار منتجه فاصله هوایی ایجاد شود حالت موتور القایی بوجود آمده و گشتاوری روی رتور ایجاد می شود که تمایل دارد اختلاف بین این دو سرعت زاویه ای را کاهش دهد این گشتاور موسوم به گشتاور میرا کننده است توان میرایی تقریباً با تغییرات سرعت متناسب است یعنی :

$$P_d = D \frac{d\delta}{dt} \quad (7-2)$$

ضریب میرایی D را می توان از اطلاعات طراحی یا بوسیله آزمایشی تعیین نمود افزون بر آن گشتاورهای میراکننده ناشی از مشخصه سرعت / گشتاور محرک اولیه دینامیک با راست که در اینجا در نظر گرفته نشده اند هنگامی که ضریب توان همگام ساز P_s مثبت باشد ، به دلیل توان میراکنندگی ، نوسانات در نهایت میرا خواهند شد و عملکرد ماشین به زاویه تعادل اولیه باز خواهد گشت . سیستم همگامی خود را از دست نداده و پایدار باقی می ماند . اگر اثر میراکنندگی در معادله نوسان خطی شده منظور شود نتیجه زیر بدست می آید .

$$\frac{H}{\pi F_0} \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + \frac{\Delta \delta}{dt} + P_s \Delta \delta = 0 \quad (8-2)$$

و یا بشکل استاندارد معادله دیفرانسیل مرتبه دوم داریم :

$$\frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + 2\pi w_n \frac{d\Delta \delta}{dt} + w_n^2 \Delta \delta = 0 \quad (9-2)$$

که در آن w_n فرکانس طبیعی نوسان می باشد و n ضریب بدون واحد نسبت میرایی است آشکار است که برای میرایی مثبت اگر ضریب توان همگام سازی p_s مثبت باشد ریشه های معادله مشخصه دارای قسمت حقیقی منفی بوده و پاسخ کراندار و سیستم پایدار است .

برای معادله نوسان خطی شده ، پایداری کاملاً مستقل از ورودی بوده و برای ضریب میرایی مثبت ، مادامی که ضریب توان همگام ساز مثبت باشد ، سیستم همواره پایدار خواهد بود .

از لحاظ نظری توان را می توان به تدریج تا حد حالت ماندگار افزایش داد . شایان ذکر است که معادله خطی شده تنها برای تغییرات خیلی کوچک توان و انحراف جزئی از شرایط کار معتبر است. در حقیقت برای اختلال بزرگ و ناگهانی ممکن است معادله غیر خطی منجر به پاسخ ناپایدار و از دست دادن پایداری گردد ، حتی اگر اختلال کمتر از حد توان حالت ماندگار باشد .

۲-۴ - پایداری گذرا - معیار سطوح برابر

مطالعات پایداری گذرا مربوط به تعیین حفظ همگامی در شرایطی است که ماشین در معرض یک اختلال شدید قرار می گیرد این اختلال ممکن است اعمال ناگهانی بار از دست رفتن تولید ، از مدار خارج شدن یک بار بزرگ یا رخداد خطا در سیستم باشد .

در بسیاری از اختلالات ، نوسانات دارای چنان اندازه ای هستند که خطی سازی قابل قبول نیست و معادله غیر خطی نوسان باید حل شود .

یک روش شناخته شده تحت عنوان معیار سطوح برابر را می توان برای پیش بینی سریع پایداری به کار گرفت اساس این روش مبتنی بر تفسیر ترسیمی انرژی ذخیره شده در قطعات گردان است که به عنوان ابزار کمکی برای تعیین حفظ پایداری ماشین پس از رخداد اختلال بکار می رود این روش فقط در سیستم با یک ماشین متصل شده به شکل بی نهایت و سیستم با دو ماشین مورد استفاده قرار می گیرد.

از آنجایی که این روش دید فیزیکی مناسبی را برای رفتار دینامیکی ماشین ارائه می دهد، کاربرد این روش برای تجزیه و تحلیل یک ماشین متصل به یک سیستم قدرت بزرگ در اینجا در نظر گرفته می شود.

یک ماشین سنکرون به شئی بی نهایت را در نظر بگیرید. معادله نوسان با چشم پوشی از میرایی مطابق رابطه برابر است با:

$$\frac{H}{\pi F_0} \frac{d^2 s}{dt^2} = p_m - P_e = P_a \quad (10-2)$$

که در آن P_a توان شتاب دهنده می باشد.

$$\frac{ds}{dt} = \sqrt{\frac{2\pi f_0}{H} \int_{\delta_0}^{\delta} (p_m - p_e) d\delta} \quad (11-2)$$

معادله (۱۱-۲) سرعت نسبی ماشینی را نسبت به قاب مرجعی که با سرعت سنکرون می چرخد ارائه می کند. برای رسیدن به پایداری، این سرعت باید در مدتی پس از وقوع اختلال صفر شود. از رابطه بالا برای معیار پایداری خواهیم داشت:

$$\int_{\delta_0}^{\delta} (p_{m1} - p_e) d\delta = A_1 \text{ سطح} \quad (12-2)$$

ماشین نشان داده شده در شکل (۱-۲) را که در نقطه تعادل δ_0 کار می کند و توان مکانیکی ورودی آن $pm_0 = pe_0$ است در نظر بگیرید یک افزایش پله ای ناگهانی را در توان مکانیکی ورودی ماشین که با خط افقی نشان داده شده است در نظر بگیرید.

از آنجائیکه $pm_0 > pe_0$ است، توان شتاب دهنده بر روی رتور مثبت بوده و زاویه توان افزایش می یابد انرژی اضافه ذخیره شده در رتور در هنگام شتاب گیری اولیه برابر است با: (۱۳-۲)

$$\int_{\delta_0}^{\delta} (p_{m1} - p_e) d\delta = A_1 \text{ سطح}$$

با افزایش δ توان الکتریکی افزایش می یابد و هنگامی که $\delta = \delta_1$ شود، توان الکتریکی با توان مکانیکی ورودی جدید p_{m1} برابر می شود. اگر چه توان شتاب دهنده در این نقطه صفر است ولی رتور در سرعتی بالاتر از سرعت سنکرون می چرخد. بنابراین زاویه δ و توان الکتریکی p_e به افزایش خود ادامه خواهند داد حال اگر $p_m < p_e$ بوده که موجب شتاب منفی و کاهش سرعت رتور به سمت سرعت سنکرون می شود تا جایی که $\delta = \delta_{max}$ گردد براساس

رابطه (۲-۱۱)، نوسان رتور باید از نقطه b بالاتر رود تا جایی که قطعات گردان به همان اندازه (۲-۱۳) انرژی از دست بدهند. انرژی از دست رفته رتور هنگام شتاب منفی و بازگشت به سرعت سنکرون عبارتست از:

$$\int_{\delta_0}^{\delta} (p_{m1} - p_e) d\delta = A_2 \text{ سطح}$$

شکل ۱-۲ معیار سطوح برابر - تغییر ناگهانی بار

در نتیجه رتور از نقطه b عبور می کند و به نقطه δ_{max} که رابطه زیر برای آن برقرار است می رسد.

$$|A_1 \text{ سطح}| = |A_2 \text{ سطح}|$$

این رابطه به معیار سطوح برابر موسوم است. در این صورت زاویه رتور با فرکانس طبیعی خود بین $\delta_0 = \delta_{\max}$ نوسان می کند. عوامل میرا کننده موجود در ماشین موجب کاهش این نوسانات می شود تا نقطه کار حالت ماندگار جدیدی در نقطه b ایجاد گردد.

۲-۴-۱ کاربرد معیار سطوح برابر

معیار سطوح برابر برای تعیین حداکثر توان اضافی p_m که می توان به ماشین اعمال کرد تا پایداری حفظ شود بکار می رود. با تخمیر ناگهانی در توان ورودی، پایداری فقط وقتی حفظ می شود که سطح A_2 که در بالای خط p_m قرار گرفته است حداقل با A_1 برابر باشد اگر سطح A_2 کمتر از A_1 باشد، شتاب ماشین گرفته خواهد شد همانطور که در شکل ۲-۲ دیده می شود، حد پایداری هنگامی رخ می دهد که δ_{\max} در محل تقاطع خط p_m یا منحنی توان - زاویه برای $180^\circ < \delta < 90^\circ$ قرار گیرد.

شکل ۲-۲ معیار سطوح برابر - بیشترین حد توان

فصل سوم:

رله فرکانسی و حفاظت ژنراتور

۳-۱ مقدمه

خطاهایی 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 رابطه 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» و «حفاظت در مقابل عوامل خارجی غیرمجاز»

I: حفاظت در مقابل خطاهای داخلی:

خطاهایی که در داخل ژنراتور ممکن است اتفاق افتد، می توان به دو دسته منطقه ای تقسیم کرد. که عبارتند از خطاهای استاتور و خطاهای روتور.

۱- خطاهایی که در سیم پیچی استاتور پیش می آید عبارتست از:

-اتصال بین دو فاز

-اتصال حلقه

-اتصال زمین و اتصال زمین دوبل

۲- خطاهایی که در روتور پیش می آید عبارتست از

-اتصال زمین

-اتصال حلقه یا اتصال زمین دوبل

-قطع شدگی

II: حفاظت در مقابل خطرات خارجی

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

۱- عواملی که در شبکه پیش می آید عبارتست از :

- اتصال کوتاه در شبکه

- بار کج

-ازدیاد ولتاژ در اثر برداشت غیرمترقبه و پیش بینی نشده قسمت بزرگی از بار ژنراتور .

۲) خطاهایی که در وسیله گرداننده رتور ژنراتور پیش می آید عبارتست از :

- خراب شدن توربین

- قطع بخار

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

دستگاههایی که باید در موقع قطع ژنراتور بکار افتد عبارتست از :

۱) دستگاه برداشت تحریک

۲) دستگاه خاموش کننده جرقه

حفاظت قسمت مکانیکی ژنراتور مثل دستگاه تنظیم درجه حرارت یا طاقانها و تنظیم هوای خنک کننده و تمیز و یا هیدروژن ، مربوط به حفاظت الکتریکی ژنراتور می باشد، گرچه اغلب عدم کار صحیح این دستگاهها نیز باعث قطع ژنراتور می شود .

حفاظت در مقابل خطاهای داخلی 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
- رله توان متقابل برای حفاظت کلی ژنراتورهای کوچک
- حفاظت در مقابل عوامل خارجی بوسیله دستگاههای حفاظتی 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 غیرمجاز.
- رله بار نامتعادل برای حفاظت در مقابل نامتعادل غیرمجاز .
- رله برگشت وات برای جلوگیری از حالت موتوری شدن ژنراتور .

۲-۳ رله فرکانسی

رله فرکانسی یکی از تجهیزاتی است که برای استفاده در حفاظت از ژنراتورها و سایر تجهیزات جریان متناوب استفاده می شود و برای مقابله با افزایش فرکانس یا کاهش فرکانس طراحی شده

است و عمل کرد رله می تواند بر اساس اصول زمانی مشخص و اصل درجه تغمیر فرکانس و ترکیب این اصل قرار گیرد.

این رله ها نیز می تواند برای حفاظت از موتورهای بزرگ ستکرون در شبکه بصورت اتوماتیک بکار رود و موتور را از شبکه در هر اتفاقی در موقع خروج، بازگشت وصل خطرناک و خارج از سنکرون شده، جدا کند .

بعضی از این رله ها نیز برای تغذیه مشترک بار در شرایطی که توان مصرفی فراتر از حد ظرفیت توان در شبکه است مطابقت داده شده اند و در هنگام وضعیت نامتعادل فرکانس شبکه، کمتر جلوگیری از استارت می کنند .

عملکرد رله می تواند بصورت تنظیم مقدار فرکانس باشد، مواقعی که فرکانس نامی افزایش یابد و یا فرکانس نامی کاهش یابد و در صورتی که فرکانس شبکه سریع بیافتد، این ویژگی اجازه برای قطع سریع بارهای مختلف را می دهد .

منابع و مأخذ :

- رله و حفاظت سیستم قدرت در تاسیسات صنعتی (ت . دیویس)

- حفاظت و رله ها (دکتر عسگریان ایبانه)

- تولید الکتریسته و بهره برداری (مسعود سلطانی)

- رله و حفاظت سیستمها (مسعود سلطانی)

- بررسی سیستم های قدرت (هادی سعادت)

- استفاده از کاتالوگ شرکت ABB از اینترنت