



توربو ژنراتورها

آکادمی نیروگاه



فهرست مطالب :

فصل اول : ساختار داخلی توربو ژنراتورها

فصل دوم : بهره برداری از توربو ژنراتورها

فصل سوم : بهره برداری از هیدروژنراتورها

فصل چهارم : عدم تعادل بار بر روی ژنراتورها و در نتیجه کار غیر عادی

تاریخچه ورود برق به ایران

اولین مولدهای برق

در سال 1284 محمد حسین امین الضرب ، از رجال و سرمایه داران معروف ایران ، با خرید مولدی که با زغال سنگ کار می کرد . بخشی از شهر تهران را روشن کرد که بسیاری از آن به عنوان مبدا تاریخی ورود برق به ایران یاد می کنند . با اینکه صد سال از تأسیس صنعت برق در ایران می گذرد هنوز بر خی روستاهای دور افتاده برق ندارند و از چراغ های نفتی برای روشنایی استفاده می کنند .

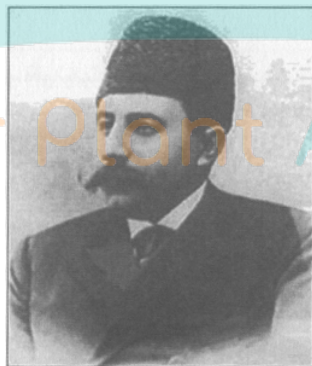
چراغ پیه سوز ، زنبروی ، موشی ، گردسوز و فانوس ممکن است به عنوان اشیا تاریخی در بسیاری از خانه های ایرانی وجود داشته باشد اما همین چراغ ها سفالی ، فلزی و شیشه ای برای روشنایی منازل ، کوچه ها و معابر شهرها استفاده می شد و بلدیة (شهرداری) مسئول روشنایی کوچه ها و معابر بود و چراغچی ها هر شب نردبان به دوش



و ظرف نفتی یا روغن گیاهی و حیوانی در دست چراغ های دیوار کوب و فانوس های اویزان بر روی تیرهای چوبی را روشن می کردند .

در برخی مناطق آنها موظف بودند در اوایل صبح چراغ ها را خاموش و جمع آوری کنند . اغلب این چراغ ها به علت کوچکی مخزن و کمبود سوخت ، تنها در ساعاتی از شب روشن می ماندند و تا سالها تنها منبع نور کوچه ، خیابان و محله به حساب می آمد . هزینه این چراغ های قدیمی کم نور و پر دردسر با روشن شدن چند لامپ در صد و بیست سال پیش کم کم به فراموشی سپرده شدند و به عنوان میراث گذشته در کنج خانه ها جای گرفتند.

اولین مولد برقی که وارد ایران شد تنها سه یا چهار لامپ را روشن می کرد که ناصر الدین شاه در سفر فرنگ با دیدن چراغ های روشن آنجا، آن را وارد کرده بود . این مولد کوچک الکتریکی که در سال 1264 خورشیدی در دربار ناصر الدین شاه و تکیه دولت مورد استفاده قرار گرفت ولی به عنوان مبدأ تاریخی ورود برق به ایران مورد توجه قرار نگرفت .



Power Plant Academy



درست بیست سال بعد از آن بود که محمد حسین امین الضرب با مولدی 400 کیلو

واتی بخشی از شهر تهران را روشن کرد .

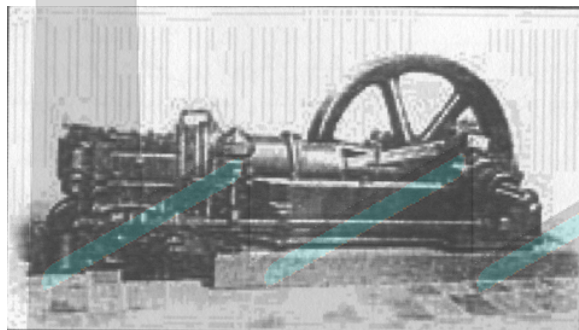
این مولد چندین سال به صورت انحصاری برق مناطقی از تهران را روشن کرد .

این مولد چندین سال به صورت انحصاری برق مناطقی از تهران را تأمین می کرد که تا

مدتها منحصر به ساعاتی از شب بود . البته دو سال پیش از این ، حرم امام رضا با 400

لامپ روشن شده بود اما برق آن جنبه عمومی نداشت و به طور اختصاصی برای روشنایی

حرم استفاده می شد .



مولد برق حرم امام هشتم شیعیان 12 اسب بخار قدرت داشت و با همت حاج محمد

باقر میلانی معروف به ر ضایوف که امتیاز چراغ برق مشهد به او واگذار شده بود با هزینه

بالغ بر هشت هزار تومان نصب شده بود .

Power Plant Academy



در زمینه تأمین هزینه این مولد اختلافاتی میان تاریخ نویسان وجود دارد برخی می گویند مظفرالدین شاه هزینه ان را تزمین کرده اما برخی از بازماندگان آقای میلانی معتقدند جد انها تمام هزینه را تزمین کرده است . برخی منابع عقیده دارند در همان سال ها برق به انزلی نیز وارد شده و یک تاجر روسی به نام خوشتاریاً نخستین لامپ را به شیوه تجاری در ایران روشن کرده است و مردم انزلی از جمله اولین کسانی در ایران بودند که روشنایی برق را دیده اند .

شهر تبریز در شمار اولین شهرهایی بوده که مردمانش زودتر از دیگران برقرار شده اند و " قاسم خان والی " امتیاز تأسیس کارخانه برق را در سال 1281 به دست آورد که بخشی از خیابان مجیدی را روشن می کرد .

از او شیوه نامه ای باقی مانده که در آن چگونگی استفاده از خدمات برق شرح داده شده است . قدیمی ترین سند ارائه خدمات برق در ایران است . در این شیوه نامه توضیح داده شده که هزینه های سیم کشی ، چراغ ها و برق چگونه از مشترکین دریافت می شود و در چه صورتی برق مشترکین قطع خواهد شد . در سال 1287 نخستین چاه نفت در



مسجد سلیمان به نفت رسید و برای انتقال نفت از مسجد سلیمان به پالایشگاه آبادان ،
یک نیروگاه بخاری برای راه اندازی تلمبه خانه و روشنایی ساختمان ها ساخته شد که مبدا
ورود برق به خوزستان است .



مصارف اولیه برق تنها محدود به چند ساعت از شب برای روشنایی بود و مولدهای
اولیه با زغال سنگ ، هیزم و چوب کار می کردند اما به دلیل هزینه بالا بعدها جای خود را
به مولدهای دیزلی دادند . معابر و خیابانهایی که اولین بار در شهرها برقرار شدند به
خیابان چراغ برق معروفند و مردم این خیابانها را در شهرهایی نظیر تهران ، تبریز و
مشهد به این نام می شناسند.

ورود برق مانند دیگر پدیده های تازه غرب گاه با مقاومت هایی همراه بود اما برخی
مردم نیز برای استفاده از برق از همدیگر سبقت می گرفتند.

داستان بیماری سل و ارتباط آن با دود چراغ های نفتی ، روغن سوز و پیه سوز در
مشهد خواندنی است .



اولین لامپ ها منازل ثروتمندان و افراد سرشناس شهر ها را روشن می کرد و به همین جهت دیدن لامپ های روشن و تلاش کارگران برای راه اندازی و روشن کردن مولدهای برق در شهرهای مختلف از جمله سرگرمی ها و تفریحات مردم به حساب می آمد .

تا سال ها مولدهای کوچک عمدتاً وابسته به بخش خصوصی بوده و بخشی از نیازهای روشنایی را در ساعاتی از شب تأمین می کردند و افراد ثروتمند شهرها با وارد کردن مولدهایی برق مناطقی از شهر ها را تأمین می نمودند .



Power Plant Academy



مقدمه

ژنراتورها به عنوان تولید کننده انرژی به صورت سنکرن با شبکه در حال بهره برداری بوده، تحت تأثیر شبکه مصرف و تغییرات مداوم بار واقع می باشند، بهره برداری مرتب و منظم ژنراتورها در هر لحظه به کیفیت بهره برداری شبکه بستگی داشته، در صورت بروز هرگونه اختلال در شبکه، احتمال خارج گشتن ژنراتور از شرایط کار سنکرن موجود می باشد. با توجه به تأثیر شبکه در کار سنکرن ژنراتور، احتمال عیوب الکتریکی و صدمه به ایزولاسیون سیم پیچی های استاتور نیز موجود می باشد.

مقابله با عیوب فوق مستلزم مقابله با عوارض و پدیده های ناشی از آنان و طرق مناسب جدا نمودن ژنراتور از شبکه می باشد. بنابر این باید روش اتصال ژنراتور به شبکه نحوه کنترل ولتاژ روش تعیین مصرف داخلی مد نظر قرار گیرد. برای تفهیم بهتر ابتدا به شرح ساختار داخلی توربو ژنراتورها می پردازیم، سپس به بررسی طریقه بهره برداری و نمودارهای بهره برداری از توربو ژنراتورها و سپس هیدروژنراتورها می پردازیم، سپس به بررسی عدم تعادل بار بر روی ژنراتورها و در نتیجه کار غیرعادی آنها می پردازیم.

Power Plant Academy





اکنون به شرح قسمتهای مختلف یک ژنراتور می پردازیم:

1 - هسته

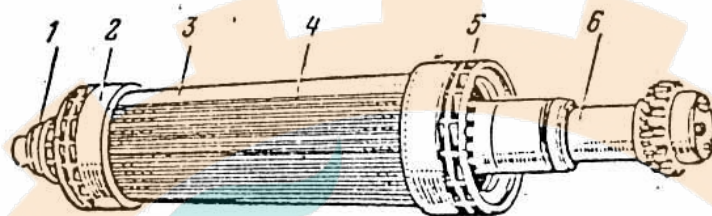
جنس و ساختار هسته روتور ژنراتورها یکی از عمده ترین عوامل تعیین کننده مشخصه ها و پارامترهای مکانیکی و الکترومغناطیسی ژنراتور به شمار می رود. جریان تحریک در سیم پیچ تحریک که در قسمت روتور واقع است، یک میدان مغناطیسی در فاصله هوایی ایجاد می نماید. و چرخش روتور باعث تولید ولتاژ در سیم پیچ آرمیچر می شود. بنابراین روتور باید دارای رلوکتانس کم و خواص مکانیکی مناسب باشد.

1-1- هسته روتور توربوژنراتورها

روتور توربوژنراتورها دو یا چهار قطب دارد و برای ایجاد ولتاژ با فرکانس 50 هرتز لازم است با سرعت 3000 یا 1500 دور در دقیقه دوران نماید. بنابراین با توجه به سرعت بالای این گونه روتورها، برای اطمینان از استحکام و سایر خواص مکانیکی مورد نیاز به منظور عملکرد مناسب، هسته این روتورها از یک قطعه یکپارچه فولادی فورج شده¹ ساخته می شود. محور این روتورها قسمتی از هسته است که ماشین کاری می شود. در حقیقت هسته در ناحیه غیرفعال به عنوان محور عمل می کند. شکل (1-1) یک نمونه روتور یک توربوژنراتور دو قطب و شکل (2-1) مقطع و اجزاء آن را نشان می دهد. در هنگام اتصال کوتاه در خروجی ژنراتور، گشتاوری با حداکثر مقدار حدوداً 4 تا 5 برابر

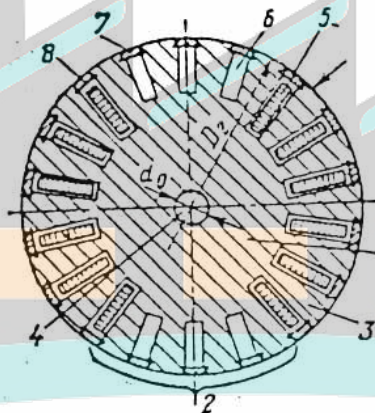
¹-Forged Steel

گشتاور نامی بین توربین و محور ژنراتور اعمال می شود که محور و کوپلینگ باید تحمل این گشتاور حداکثر را با یک فاصله اطمینان داشته باشند.



شکل (۱-۱): روتور قطب صاف

۱- حلقه لغزان ۲- رینگ نگهدارنده ۳- بدنه روتور ۴- گوه ۵- فن ۶- محور



شکل (۲-۱): سطح مقطع روتور قطب صاف

۱- یوغ ۲- صورت قطب ۳- دندان ۴- سوراخ بازدید ۵- سیم پیچ تحریک
۶- شیار متعادل کننده ۷- گوه مغناطیسی ۸- گوه غیر مغناطیسی



1-1-1- جنس و فرآیند ساخت هسته

آلیاژ مورد استفاده در هسته برحسب استحکام از کلاس 1 تا کلاس 8 طبق‌بندی می‌شود که کلاس 8 بالاترین میزان استحکام را دارا می‌باشد. جدول (1-1) ترکیبات شیمیایی و جدول (2-1) نیازمندی‌های مکانیکی را برای کلاس‌های مختلف نشان می‌دهد.





جدوا (I-I) : ترکیبات شیمیایی هسته‌های یکپارچه

درصد ترکیبات						
عنصر	کلاس 1	کلاس 2	کلاس 3	کلاس 4	کلاس 5	کلاس 6, 7, 8
کربن (حداکثر)	0/45	0/25	0/27	0/27	0/31	0/28
منگنز (حداکثر)	0/90	0/60	0/60	0/70	0/70	0/60
فسفر (حداکثر)	0/015	0/015	0/015	0/015	0/015	0/015
گوگرد *	0/015	0/015	0/015	0/015	0/015	0/015
سیلیسیم	0/35 تا	0/30 تا	0/30 تا	0/30 تا	0/30 تا	0/30 تا
	0/15	0/15	0/15	0/15	0/15	0/15
نیکل	000	حداقل 2/50	حداقل 2/50	حداقل 3/00	حداقل	4/00 تا
					3/00	3/25
کرم	000	حداکثر	حداکثر	حداکثر	حداکثر	2/00 تا
		0/50	0/50	0/50	0/50	1/25
مولیبرن	000	0/50 تا	0/50 تا	0/60 تا	0/70 تا	0/60 تا
		0/20	0/20	0/20	0/20	0/30
وانادیوم	0/12** تا	حداقل 0/03	حداقل 0/03	حداقل 0/03	0/15 تا	0/15 تا
	0/3				0/05	0/05
آنتیموان ***	000	000	000	000	000	000



* قابل انتخاب: فولادهای کلاسهای 2 تا 8 ممکن است تحت خلاء اکسیژن

شوند. (مقدار سیلیسیم حداکثر 0/1)

** برای کلاس 1 مقدار وانادیم قابل انتخاب است.

*** برای کلاس 6 و 7 و 8 قابل انتخاب است.

جدول (2-1): خواص مکانیکی کلاسهای مختلف مواد روتور

خواص	کلاس							
	1	2	3	4	5	6	7	8
حداقل استحکام کششی $[MPa]$	515	550	620	690	760	690	760	825
حداقل استحکام تسلیم $[MPa]$ *	240	380	485	550	620	550	620	690
حداقل ازدیاد طول نسبی در 50 میلی متر	20	20	20	17	15	18	17	16
$[%]$								
حداقل کاهش سطح مقطع $[%]$	30	50	50	45	40	55	50	45
حداکثر $FATT_{50} [^{\circ}C]$	80	38	38	49	80	-18	-7	4
انرژی آزمایش ضربه در دمای اتاق $[J]$	13	41	41	34	20	81	68	54

* استحکام تسلیم در 0/02 آفست فرض شده است. و در صورتی که در 0/2 %

آفست مورد نظر باشد، باید $35MPa$ به مقادیر جدول اضافه شود.



روش ساخت به این صورت است که فولاد ابتداء به صورت شمش ریخته گری می شود. مذاب تحت خلاء گاززدایی می شود که این عمل امکان ترک خوردگی اولیه را به حداقل می رساند. سپس فولاد ریخته گری شده تمیزکاری می شود و پس از آن در داخل کوره گرم می گردد و فورج می شود تا شکل اصلی روتور حاصل شود. سپس این قطعه تحت عملیات حرارتی قرار می گیرد. این عملیات از سرد کردن سریع و تمپر کرن یا نرماله کرن و تمپر کردن تشکیل می شود. سپس ممکن است قطعه تنش زدایی شود. در نهایت ماشین کاری اولیه، سوراخ کاری میانی، بمنظور بازدید برروی آن انجام می شود. این سوراخ دارای قطری حدودی $7/5$ تا 10 سانتیمتر (3 تا 4 اینچ) است و از داخل آن می توان ترک خوردگی یا سایر عیوب قطعه فورج شده را از طریق آزمایشی تلسکوپی تشخیص داد. آزمون های مکانیکی و مغناطیسی روی آن انجام می شود. در صورت عدم تطابق خواص مکانیکی با آزمایش های مکانیکی، سازنده می تواند آن را تحت عملیات مجدد قرار دهد.

در مرحله دوم ماشین کاری شیارهای محوری ایجاد می شود و پس از آن نمونه ای از قطعه تحت آزمایش در سرعت بالا تا $1/2$ برابر سرعت نامی قرار می گیرد.

در مرحله ماشین کاری نهایی محل یاتاقان ها و کوپلینگ و شیارهای مربوط به آب بندی روی محور ایجاد می شود. سپس ماشین کاری محل های مورد نیاز برای عبور

سیم پیچ تحریک روی محور انجام می گردد.



کلیه مشخصات این هسته‌ها شامل نیازمندی‌های عمومی، نحوه سفارش، ترکیبات شیمیایی، خواص مکانیکی و مغناطیسی، فرآیندهای ساخت، آزمایش‌ها، عملیات حرارتی مجدد، تصدیق و نحوه گزارش، بسته‌بندی و علامتگذاری باید براساس استاندارد *ASTM A 469-94a* و نیازمندی‌های تکمیلی و مراجع مشخص شده در آن انجام شود.

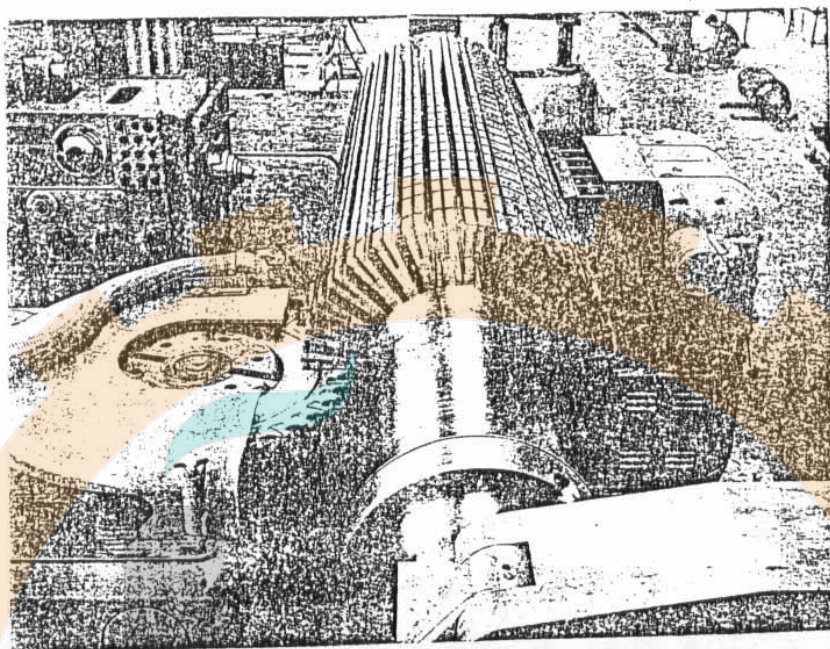
2-1-1- مشخصات شیارهای اصلی روتور

سیم‌پیچی تحریک در شیارهای که جهت آنها به سمت مرکز و روتور قرار گرفته است (به صورت شعاعی) و در سرتاسر طول روتور به صورت محوری توسط ابزارهای شیارزنی مطابق شکل (3-1) ایجاد می‌گردد، قرار می‌گیرد.

این شیارها در جفت‌های مخالف حدوداً 2/3 از محیط روتور را دربر می‌گیرند. شکل (4-1) نحوه ایجاد این شیارها را نشان می‌دهد.

در این شیارها دندان‌هایی نزدیک به سطح روتور تعبیه می‌شود که گوه‌ها در آن قرار می‌گیرند و از خارج شدن سیم‌پیچی تحریک در اثر نیروی گریز از مرکز جلوگیری می‌نمایند.

Power Plant Academy



شکل (3-1) نحوه ایجاد شیارهای اصلی

در تعیین شکل و اندازه شیارها یک نوع بهینه‌سازی با توجه به محدودیت‌های مختلفی از جمله تلفات دمای سیم‌پیچی تحریک، استقامت مکانیکی و الکتریکی عایق سیم‌پیچی تحریک و کانال‌های تهویه از یک طرف و استقامت مکانیکی در اثر نیروهای گریز از مرکز و مقدار افت mmf در روتور از طرف دیگر، دخالت دارد که در زیر تشریح می‌گردد:

برای پایین نگه داشتن چگالی جریان سیم‌پیچی تحریک بمنظور کاهش تلفات و دمای کارکرد آن، به سطح مقطع بیشتری از هادی سیم‌پیچی تحریک نیاز است.



عایق سیم پیچ از حیث مکانیکی باید درمقابل تنش های خمشی^۲ و نیروی گریز از مرکز مقاوم و درمقابل تغییرات بار پایدار باشد. به علاوه باید فواصل عایقی قابل قبولی بین هادی سیم پیچ تحریک و بدنه روتور با توجه به امکان تجمع مواد آلاینده و روغن روی سطوح عایقی، در اثر مجاورت مستقیم با گاز تهویه و نیز امکان ایجاد اضافه ولتاژهای گذرا، در نظر گرفته شود.

- باید سطح مقطع کافی برای عبور مناسب گاز تهویه در بخش مسی سیم پیچ تامین شود. همچنین در برخی از ژنراتورها برای اطمینان از عدم تجاوز درجه حرارت از مقدار تعیین شده، مجراهای تهویه در دندانه روتور در نظر گرفته می شود.

عوامل فوق باعث افزایش مقطع شیار و در نتیجه کاهش مقطع دندانه می شوند. اما دندانه نیز باید به دلایل زیر دارای مقطع کافی باشد:

- کاهش سطح مقطع دندانه باعث ایجاد افت mmf در روتور و کاهش چگالی شار در فاصله هوایی و در نتیجه کاهش ولتاژ القاء شده در سیم پیچ آرمیچر خواهد شد.

- نیروی گریز از مرکز وارد شده به سیم پیچی تحریک به گوه های نگهدارنده و کل نیروهای وارد شده به این مجموعه و خود دندانه به باریک ترین بخش دندانه (اساساً ته

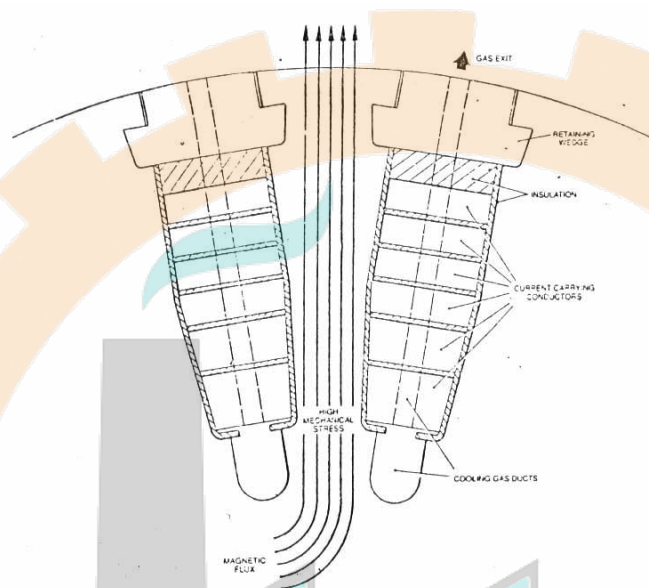
دندانه) وارد می شود. لذا باید یک فاصله اطمینان قابل قبول بین بیشترین تنش در ته دندانه در سرعت بالا و تنش قابل تحمل فولاد بکار رفته در هسته موجود باشد. برای کاهش تنش در انتهای دندانه قسمت انتهای شیار به صورت ذوزنقه ای ساخته می شود

²- Bending Stress



تقسیم بندی شکل شیارها با توجه به ملاحظات فوق و نوع سیستم تهویه نیز می تواند انجام

شود.



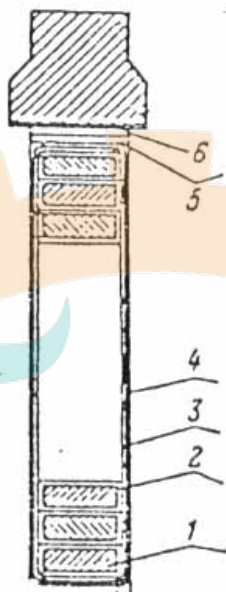
شکل (۱-۴): شیار با مقطع دوزنقه‌ای

۱- خروج گاز ۲- گود ۳- هادیهای حامل جریان ۴- مجاری گاز خنک کننده ۵- میدان مغناطیسی ۶- ناحیه دارای نشست مکانیکی بالا

- روتورهایی که به صورت غیرمستقیم با هوا خنک می شوند دارای شیارهای مستطیل

شکل هستند.

Power Plant Academy



شکل 1-5: شیارهای روتور با خنک کنندگی غیرمستقیم

1- هادی 2- عایق سیم پیچی 3- عایق شیار 4- پوشش فلزی 5- ورقه های شیشه

اپوکسی 6- گوه

- شیار روتورهایی که به صورت مستقیم با هوا یا هیدروژن خنک می شوند، مستطیل

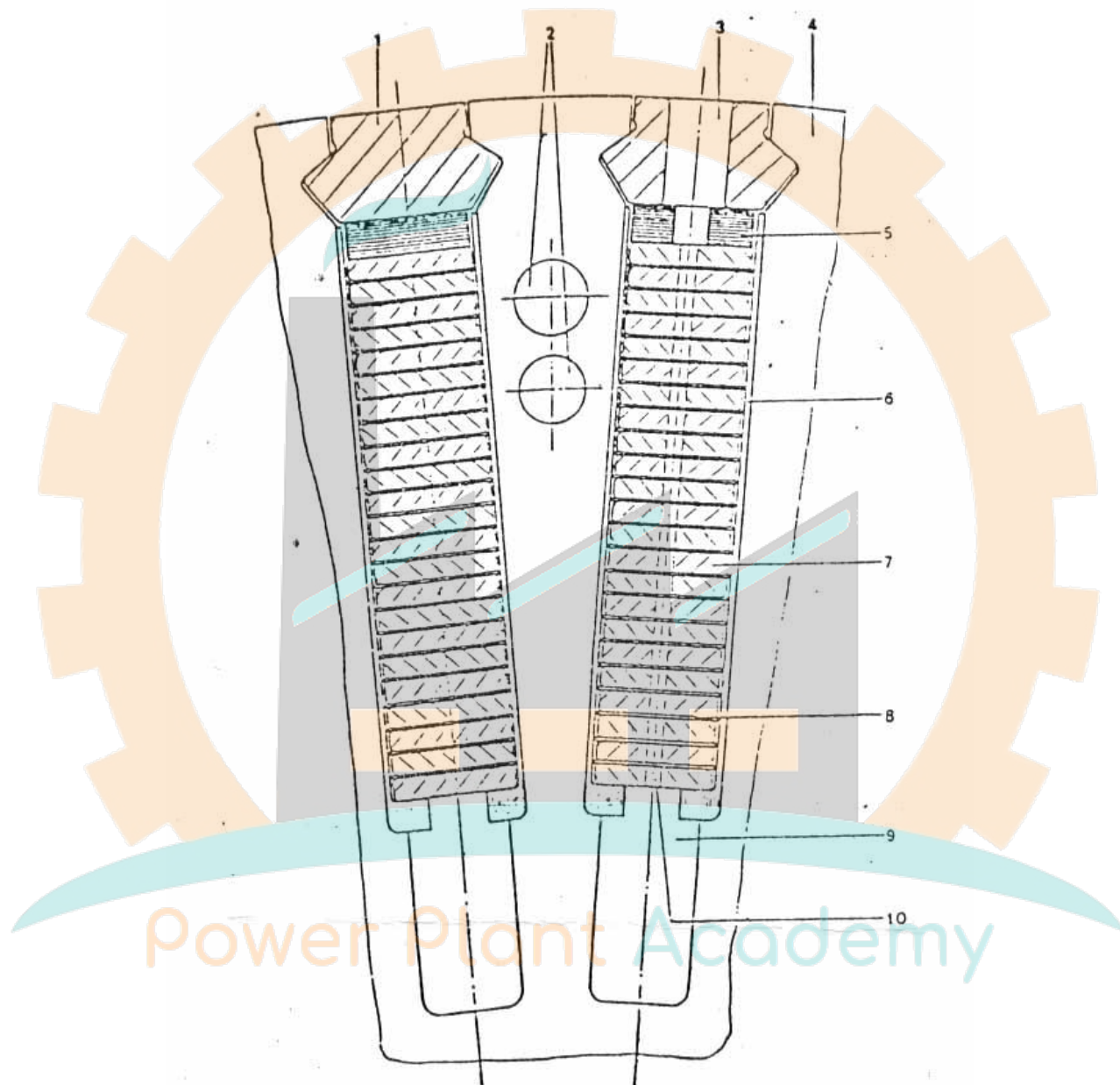
شکل بوده و دارای یک مجرای تهویه محوری در زیر شیار و به منظور تهویه قسمت

پیشانی کلاف سیم پیچ ها دارای مجراهای تهویه محوری در دندان واقع در قسمت دو

انتهای بدنه روتور می باشد. به منظور تهویه مناسبتر، در روتورهای با تهویه شعاعی،

سوراخ های شعاعی روی گوه ها و سیم پیچ تحریک ایجاد می گردد تا از طریق آن گاز

خنک کننده از مجرای تهویه محوری زیر شیار با فاصله هوایی ارتباط داشته باشد. (شکل



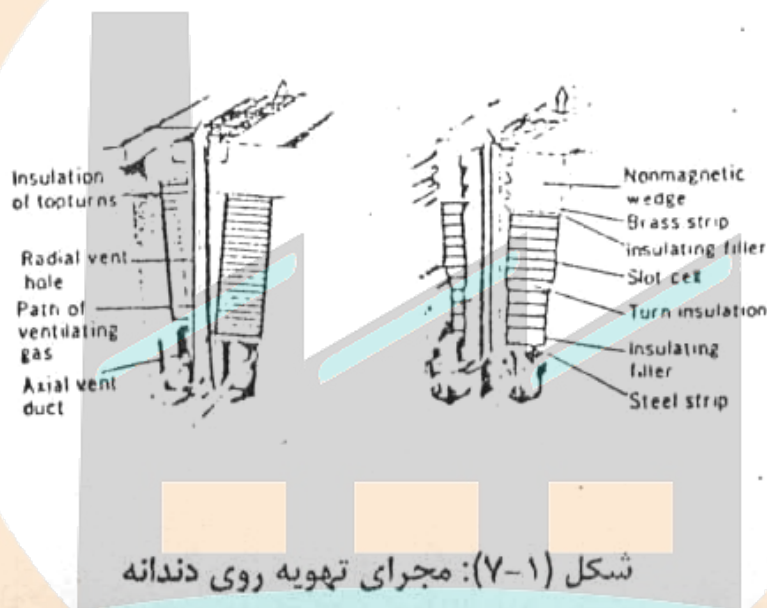
شکل (۱-۶): شیارهای روتور با خنک کنندگی مستقیم



1- گوه 2- مجرای تهویه در دو انتهای بدنه 3- مجرای خروج هوا 4- بدنه 5- نوار بالایی 6- عایق شیار 7- هادی 8- عایق سیم پیچی 9- مجرای کف شیار 10- شیار تهویه در داخل هادی

- در برخی از روتورهایی که با هیدروژن خنک می‌شوند، مجاری تهویه شعاعی روی دندانه ایجاد می‌شود و این مجاری به مجرای تهویه محوری زیر شیار متصل می‌گردد.

شکل (1-7)



1- گوه مغناطیسی 2- عایق بالای دندانه 3- مجرای تهویه شعاعی 4- مجرای تهویه محوری

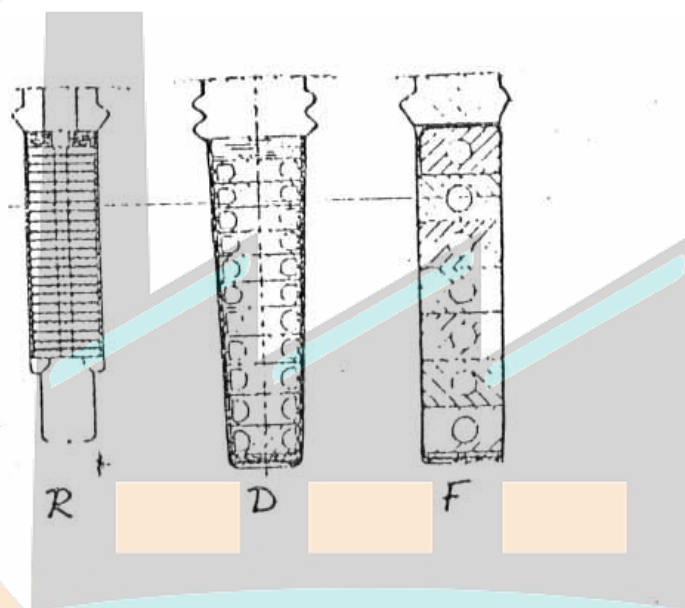
Power Plant Academy

- در روتورهایی که مستقیماً و به صورت محوری از داخل هر سیم‌پیچ، به وسیله هیدروژن خنک می‌شوند، شکل (1-8 الف) اگر روتور دو قطب باشد به دلیل استفاده حداکثر از سطح هادی‌ها، شیار به صورت دوزنقه‌ای با پهنای زیاد در سطح روتور و پهنای

کم در انتهای شیار ایجاد می شود. و اگر روتور چهار قطب باشد، به دلیل افزایش قطر روتور و امکان استفاده از شیارهای عمیق، شیارها در سطح روتور به صورت مستطیل و در انتهای شیار به صورت دوزنقه ای ساخته می شود.

- برای روتورهایی که مستقیماً با آب خنک می شوند، به دلیل امکان استفاده از چگالی جریان بالا و در نتیجه کاهش سطح مقطع هادی، شیارها به صورت مستطیل ایجاد می شود.

شکل (1-8 ب)



ب- خنک کنندگی توسط آب

الف- خنک کنندگی توسط هیدروژن

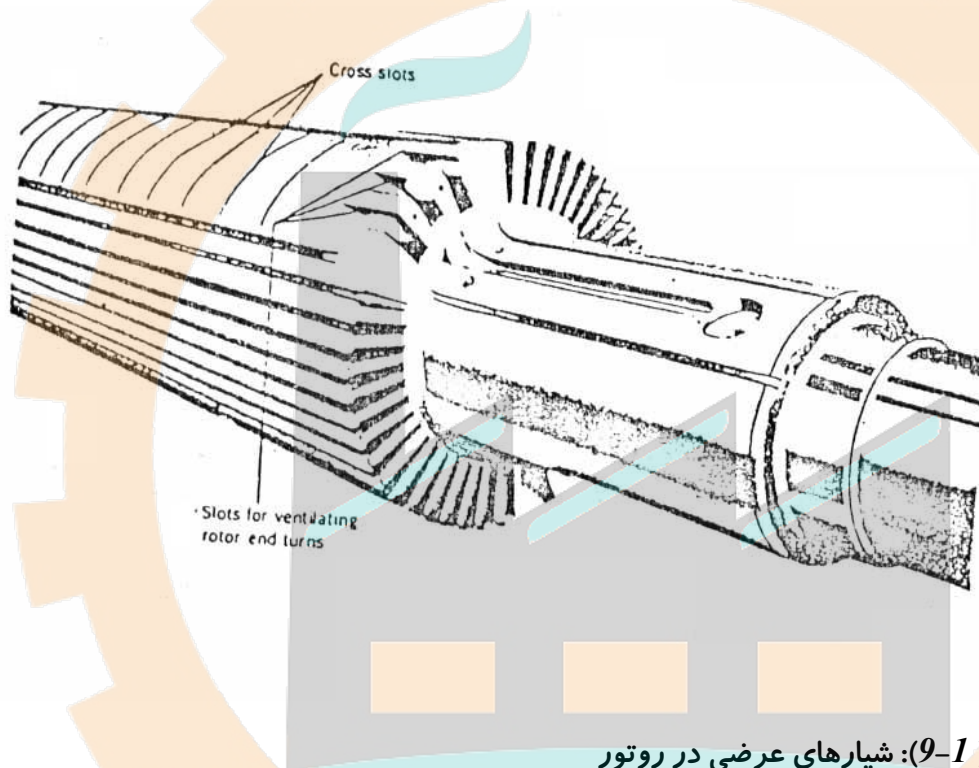
شکل (1-8): شکل شیارهای روتور

1-3- مشخصات شیارهای متعادل کننده

شیارهای متعادل کننده به منظور حذف یا کاهش ارتعاش ناشی از چرخش روتور ایجاد می گردد بدلیل اینکه مرکز قطب ژنراتورهای دو قطبی فاقد شیارهی اصلی است لذا



اختلاف در سفتی^۳ دو محور متعامد که یکی از آنها بر مرکز قطب منطبق است باعث ایجاد ارتعاش با مضرب ۲ در هر دور گردش خواهد شد و جهت جلوگیری از این امر تعدادی شیار نیم دایره (شیارهای عرضی) روی سطح قطب و در جهت عمود بر محور برای ایجاد یکنواختی در گشتاور ماند ایجاد می شود. شکلهای (۹-۱) و (۱۰-۱)

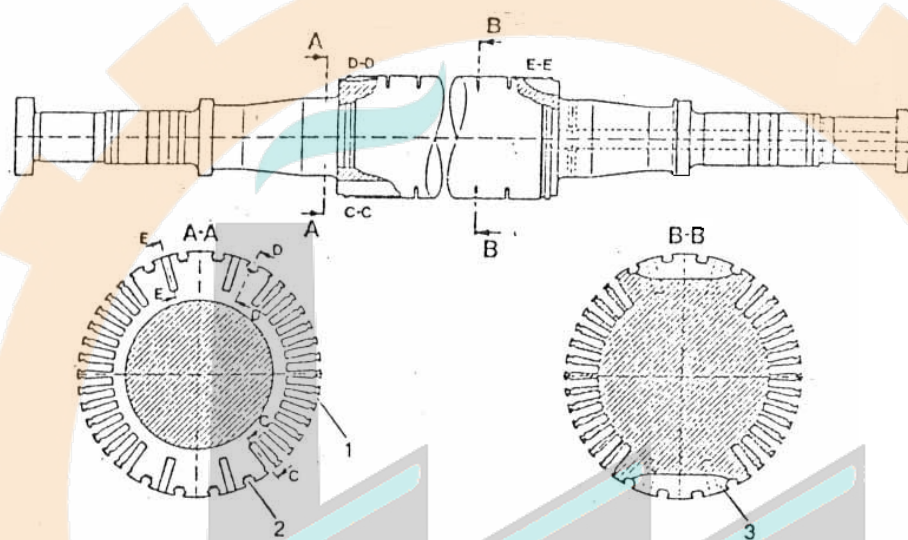


شکل (۹-۱): شیارهای عرضی در روتور

۱- شیارهای عرضی ۲- شیارهای تهویه پیشانی کلافها

^۳- Stiffness

همچنین تعدادی شیار متعادل کننده در روی سطح قطب ایجاد می شود که این شیارها مشابه شیار سیم پیچی است و با بلوک فولادی کوتاه برای حفظ خواص مغناطیسی پر می گردد.



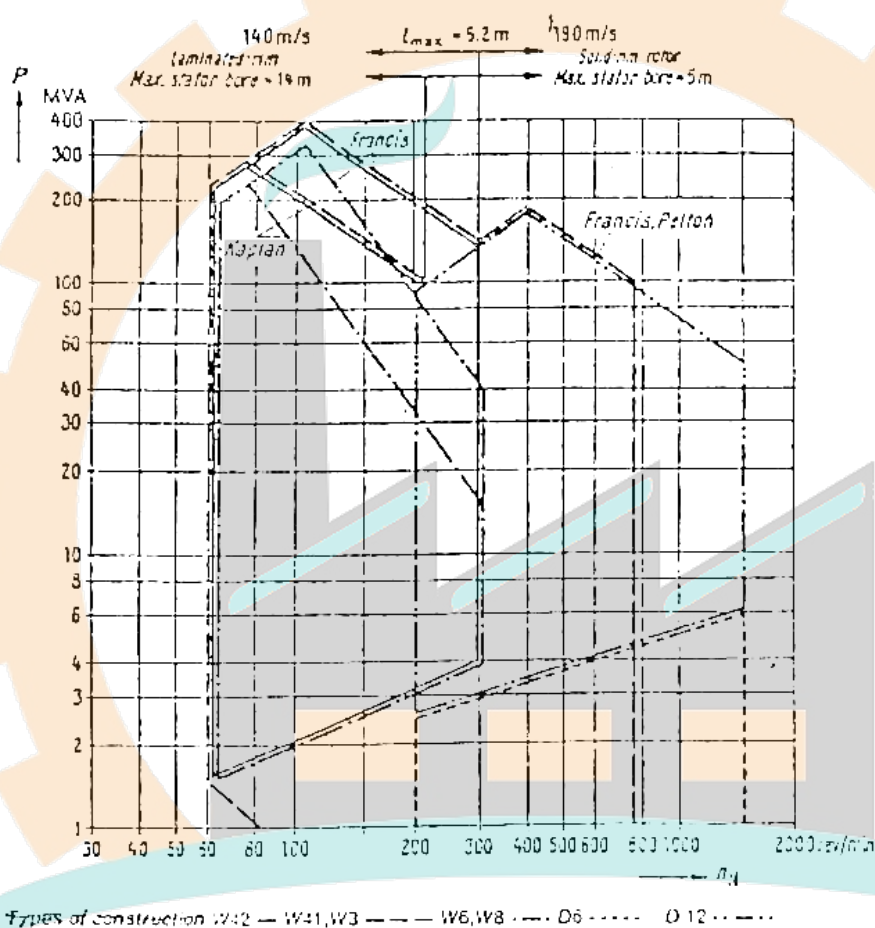
شکل (۱-۱): برش عرضی مقطع روتور

1- شیارهای اصلی 2- شیارهای متعادل کننده روی قطب 3- شیار عرضی
به علاوه یک شیار کمکی ساختگی در محل شیار انتهایی برای ایجاد تقارن کلی، ایجاد می گردد. در ژنراتورهایی که فاصله هوایی کم است، شیارهای کوچک و باریکی روی کل سطح بدنه روتور به منظور کاهش جریانهای گردابی در سطح روتور تراشیده می شود.

2-1 مشخصات هسته روتورهای هیدروژنراتورها

مشخصات هسته هیدروژنراتورها به ساختار هیدروژنراتور وابسته است و اساساً ساختار این گونه ژنراتورها به نوع توربین بکار رفته ارتباط دارد. جدول 1-3 طرح های

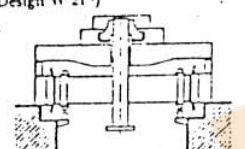
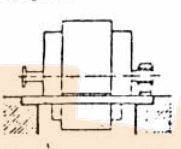
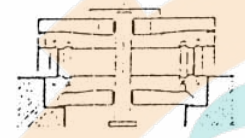
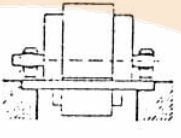
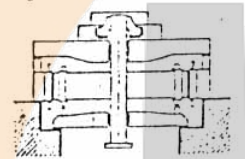
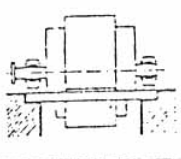
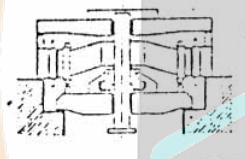
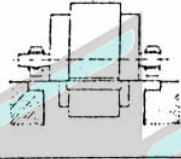
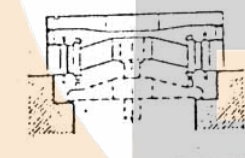
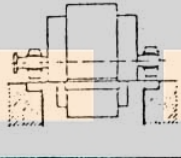
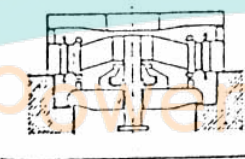
مختلف هیدروژنراتورها را نشان می دهد. برای اعمال محدودیت های موجود در هنگام انتخاب یک طرح مناسب از بین این طرح ها، می توان از نمودار شکل (11-1) استفاده نمود.



شکل (11-1): دامنه کاربرد عادی طرح های مختلف هیدروژنراتورهای بزرگتر از 1 MVA



جدول (۳-۵): طرح‌های هیدروژنراتورها

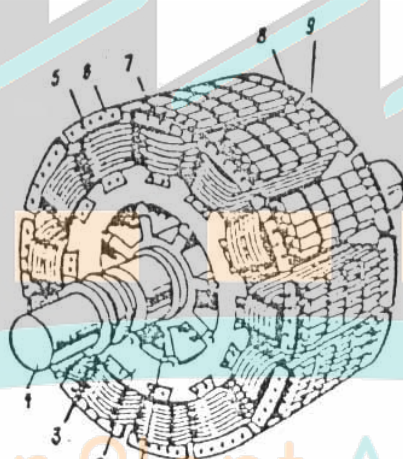
 Design W 21 1/2	Generator: 1 Guide bearing 1 thrust bearing 1 Flanged shaft Turbine: 1 Guide bearings 1 Flanged shaft	 Design D 2	Generator: 1 Pedestal bearing 1 Flanged shaft Common base plate for housing and bearings
 Design W 3	Generator: 2 Guide bearings 1 Flanged shaft Turbine: 1 Guide bearing 1 thrust bearing 1 Flanged shaft	 Design D 5	Generator: 2 Pedestal bearings 1 Shaft with free shaft extension Common base plate for housing and bearings
 Design W 41 1/2	Generator: 2 Guide bearings 1 thrust bearing 1 Flanged shaft Turbine: 1 Guide bearing 1 Flanged shaft	 Design D 6	Generator: 2 Pedestal bearings 1 Flanged shaft Common base plate for housing and bearings
 Design W 42 1/2	Generator: 2 Guide bearings 1 thrust bearing 1 Flanged shaft Turbine: 1 Guide bearing 1 Flanged shaft	 Design D 11	Generator: 2 Pedestal bearings 1 Shaft with free shaft extension 2 Housing bedplates 2 Bearing bedplates
 Design W 6	Generator: without bearing without shaft Turbine: 2 Guide bearings 1 thrust bearing 1 generator shaft	 Design D 12	Generator: 2 Pedestal bearings 1 Flanged shaft 2 Housing bedplates 2 Bearing bedplates
 Design W 8	Generator: 1 Guide bearing 1 thrust bearing 1 Flanged shaft Turbine: 1 Guide bearing 1 Flanged shaft		

* عدد ۱ در دومین رقم بمعنای یاتاقان کف گرد بالا می و عدد ۲ بمعنای یاتاقان کف گرد پایینی می باشد.

طرح های دارای محور افقی برای توربین های ضربه ای (نوع پلتون) استفاده می شود و در دسته بندی سرعت های بالا قرار می گیرد. طرح های دارای محور عمودی به توربین های کاپلان و فرانسیس متصل می شود و ممکن است دارای سرعت بالا یا پایین باشد.

1-2-1 اجزاء روتور

شکل 12-1 اجزاء روتور یک ژنراتور دارای قطب های برجسته را نشان می دهد. در این روتور، قطب های 8 روی طوق (یوغ) روتور نصب شده اند. معمولاً برای روتورهای دارای قطر بیش از 4 متر، طوق روی چرخ یا عنکبوتی 1 نصب می گردد در حالی که برای قطرهای کمتر طوق به صورت یکپارچه و مستقیماً روی محور قرار می گیرد. برای تهویه بهتر، مجاری تهویه شعاعی قطب ها تعبیه می شود.



شکل (1-12): اجزاء روتور قطب برجسته

1- چرخ عنکبوتی 2- یوغ 3- حلقه لغزان 4- محور 5- سیم پیچ تحریک 6- صفحات

اتصال کوتاه کننده میله های میرا کننده 7- میله های میرا کننده 8- قطب

9 - مجرای تهویه

1-2-2- بدنه

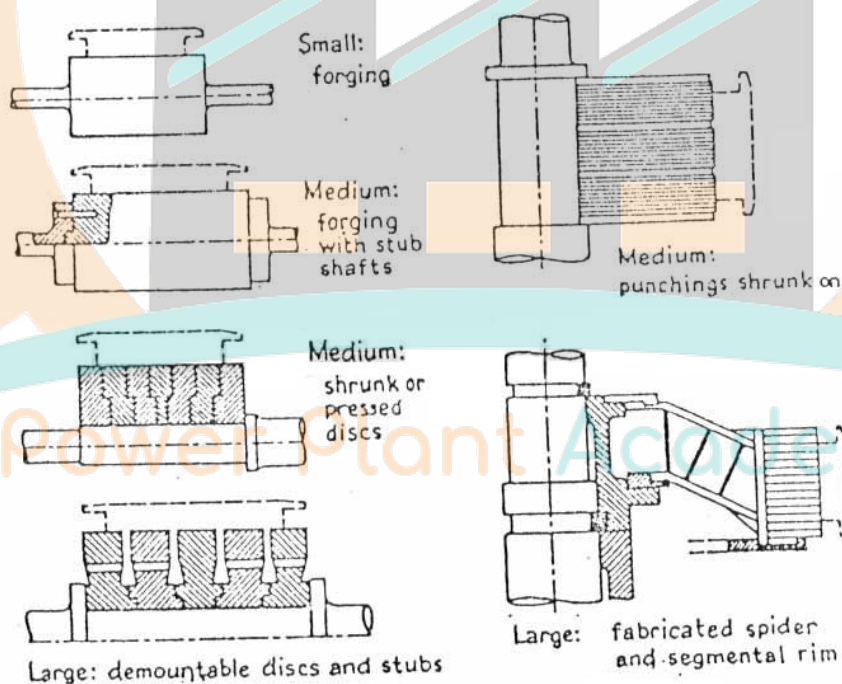
شکل 1-13 ساختار بدنه روتورهای قطب برجسته را بر حسب سرعت و قدرت ژنراتور نشان می دهد. بدنه ژنراتورهای سرعت بالا ممکن است به یکی از شکل های زیر ساخته شود:

الف: به همراه محور به صورت یکپارچه فورج و ماشینکاری شود.

ب: جداگانه تراشیده شود و به تنه محور متصل گردد.

ج: از چند دیسک ساخته شود و به محور متصل گردد.

د: به صورت چند دیسک قابل تفکیک روی تنه محور سوار شود.



شکل (۱-۱۳): ساختار بدنه روتور قطب برجسته



برای ژنراتورهای با سرعت پایین یا متوسط ممکن است روتورهای با قطر حدود 4 متر به روش ج یا د ساخته شود یا این که ممکن است بدنه شامل یک چرخ عنکبوتی فولادی باشد که از صفحات مورق تکه تکه و دارای همپوشانی که در نهایت یک حلقه ایجاد می کند، تشکیل می شود. این صفحات برای جلوگیری از لغزش روی یکدیگر با پیچ محکم می شود

ضخامت این صفحات بین 2 تا 6 میلی متر (در صورت برش به وسیله پانچ یا پرس) یا تا 100 میلی متر در صورت برش توسط گاز تغییر می کند.

طوق روی بازوهای چرخ عنکبوتی از طریق خارهای شناور سوار می شود و بنابراین گریز از مرکز به نسب نیروهای ناشی از وزن، از اهمیت بیشترین برخوردار هستند. برای سرعت های محیطی کمتر از 80 متر بر ثانیه استفاده از چرخ های عنکبوتی تکه تکه عملی تر است در حالی که برای سرعت های بالاتر (تا 110 متر بر ثانیه در حالت عادی)، دیسک های صلب و یکپارچه مطمئن تر و اساسی تر است.

سرعت رهایی یعنی سرعت روتور در هنگام قطع ناگهانی ژنراتور در بار نامی، پارامتر مهمی در طراحی به شمار می ورد. سرعت رهایی به نوع توربین و ژنراتور بستگی دارد. نسبت سرعت رهایی به سرعت نامی (nd/nm) برای توربین های مختلف در جدول I-4 آورده شده است.

جدول (1-4): نسبت سرعت رهایی به سرعت نامی برای توربین های مختلف

نوع توربین	W_D/n_m
پلتون	$\approx 1/8$
فرانسيس	$\approx 1/8$ تا $2/4$
کاپلان	$\approx 2/5$ تا $3/5$

به دلیل ساختارمخصوص روتور توربین و روتور ژنراتور، اثر چرخ طیارى ناشى از قطع ژنراتور تقریباً توسط روتور ژنراتور ایجاد می شود. بنابراین روتور ژنراتور به گونه ای طراحی می شود که تحت این شرایط، تنش در قسمت های مختلف در سرعت رهایی از حدود دو سوم تنش تسلیم آن قسمت بیشتر نشود. واضح است که تنش در سرعت نامی روتور بسیار پایین خواهد بود.

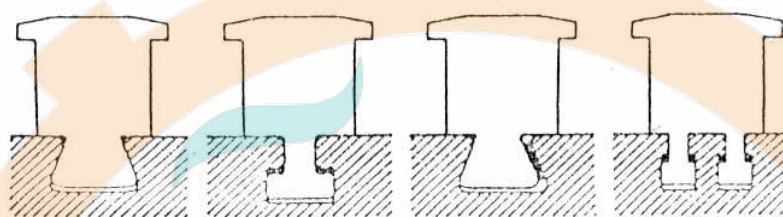
1-2-3- قطب

در این ساختارهای سرعت پایین و سرعت متوسط، قطب ها به صورت مورق ساخته می شوند و ممکن است برای سرعت های بالا قطب های مورق از جنس فولادهای مغناطیسی و عموماً دارای ضخامت یک تا دو میلی متر می باشند. ورقه ها بین صفحات انتهایی محکم قرار می گیرند. و به وسیله پیچ های دو سر رزوه یامیخ پرچ به یکدیگر فشرده می شوند. شکل صفحات انتهایی با شکل ورقه ها یکسان است و وظیفه توزیع یکنواخت نیروی اتصال شده به وسیله پیچ ها یا پرچ های مذکور را بر عهده دارند. در صورتی که رعت

خطی از حدود 25 متر ثانیه تجاوز نکند، می توان قطب ها را روی بدنه روتور پیچ کرد.

برای سرعت های بالاتر قطب ها با استفاده از شیارهای T شکل یا دم چلچله ای به طوق

متصل می گردند. شکل (14-1)



شکل (14-1): نحوه اتصال قطب به روتور

T شکل T شکل دم چلچله ای دم چلچله ای

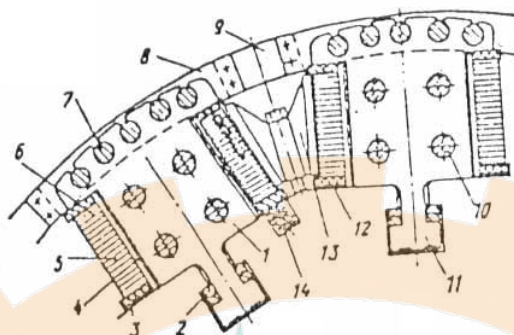
(ساده) (چندگانه) (با فشار جا زده می شود) (به کمک خار جا زده

می شود)

شکل 15-1 یکی از متداولترین طرح های مورد استفاده برای قطب های قابل جدا

شدن را نشان می دهد. فنر واقع بین یوغ و واشر فولادی و واشر عایق از هر گونه جا به

جایی قطب در سرعت های پایین جلوگیری می کند.



شکل (۱-۱۵): سطح مقطع یک قطب

1- قطب 2- گوه دم چلچله ای 3- واشر عایق 4- عایق زمین قطب 5- های سیم پیچ
تحریرک 6- عایق حلقه یا هادی 7- سیم پیچ میرایی 8- صفحه اتصال کوتاه کننده میله های
میرایی 9- رابط بین صفحات اتصال کوتاه کننده میله های میرایی 10- پیچ دو سر رزوه
11- اتصال T شکل 12- واشر فولادی 13- نگهدارنده بین قطب ها 14- فنر

1-2-4- محور

مشخصات محور ژنراتور با توجه به ملاحظات سفتی یعنی توانایی مقاومت در برابر
انحراف ناشی از نیروهای وارد شده به آن از قییل وزن روتور و کشش مغناطیسی
نامتقارن تعیین می گردد و این ملاحظات برای انتقال قدر نسبت به استقامت محور تعیین
کننده تر است. به طور کلی محور ژنراتور باید نیازمندی های زیر را پاسخگو باشد:

- محور باید به قدر کافی محکم باشد تا در اثر بارهای مختلف هیچ تنش باقیمانده ای

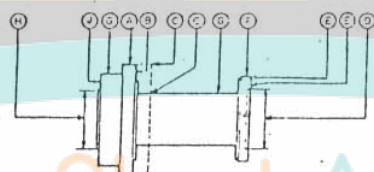
در آن ظاهر نشود.



- محور باید از نظر صلب بودن به گونه ای باشد که انحراف آن تحت عملکردهای مختلف، باعث برخورد روتور و استاتور نگردد.
- سختی باید به گونه ای انتخاب شود که سرعت بحرانی حداقل 30 درصد با سرعت نامی متفاوت باشد.

1-4-2-1- تُلرانس ها

در صورتی که قطر محور بین 90 تا 1800 میلی متر (3/5 تا 72 اینچ) باشد، می توان در محل نصب ژنراتور تُلرانس های خمیدگی آن را اندازه گیری نمود. اندازه گیری تُلرانس ها باید با چرخاندن محور در روی یک گهواره یا میز مخصوص عمودی که برای مستقیم الخط بودن محور استفاده می گردد، اندازه گیری شود. یک شاخص ثابت که بر حسب گهواره یا میز مدرج شده است مقدار تُلرانس را نشان می دهد. مقدرا خمیدگی محور در هنگامی که محور در مکانی غیر از کارخانه سازنده نصب می گردد نباید از مقادیر جدول (1-5) بیشتر باشد.



- * علامت گذاری سطح استوانه های فلنج محور با H به منظور نشان دادن نقطه بالای سطح کوپلینگ است. این علامت به نمایشگرهایی که بعداً روی محور نصب می شوند یا به نصب محافظ کوپلینگ، ارتباطی ندارد. ابعاد کوپلینگ هایی که با محور به صورت یکپارچه ساخته می شوند به همراه تُلرانس های خمیدگی مربوط به محور ژنراتورهایی که



مستقیماً یا از طریق یک محور واسط به توربین متصل گردیده و با آنها همراه شده اند،

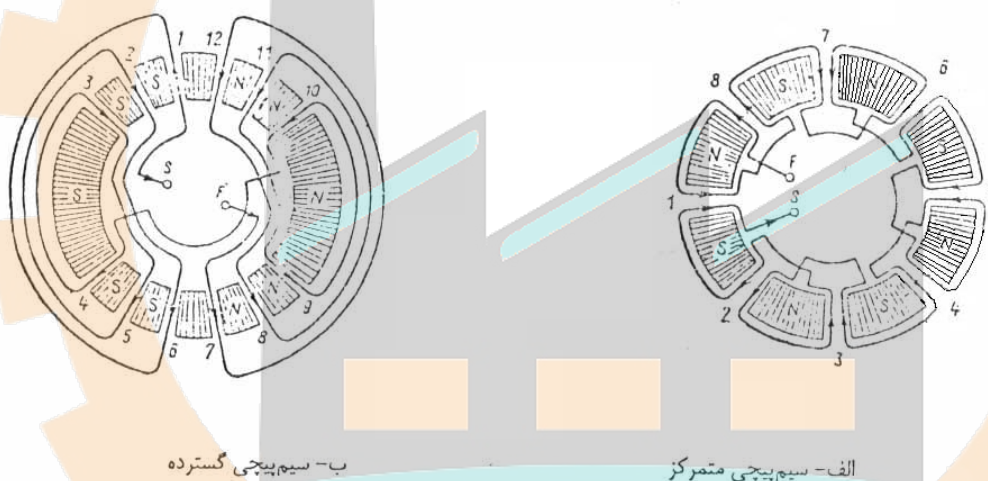
باید بر اساس استاندارد ANSI/IEEE Std 810-1987 باشد.

جدول 1-5: تolerانس خمیدگی

تولرانس		نقطه نمایش داده شده	ردیف
اینچ	میلیمتر		
0/002	0/05	سطح استوانه ای همه ژورنال های یاتاقان های راهنما	A
0/00075	0/019	سطح خارجی بلوک هایکف گرد قبل از اتصال قسمت متحرک یاتاقان به صورت مجزا، بلوکهای کف گرد از نوع قابل برداشتن باید هنگام قرائت در محل قرار داده شوند.	B
0/0005	0/0127	داخلی و خارجی اندازه گیری می شود	C
0/001	0/0254	قسمت مادگی کوپلینگ	D
		سطح خارجی کوپلینگ (داخل و خارج دایره پیچ ها)	E
0/002	0/051	سطح استوانه ای خارجی فلنج های کوپلینگ یا سطوح مرجع دیگر	F
0/015	0/38	بالانس محور منحصر در نقاط نمایش داده شده (اگر ماشین کاری شده باشد)	G
0/001	0/0254	قسمت نری کوپلینگ محور (اگر جزئی از سیستم محور باشد)	H
0/001	0/0254	سطح خارجی کوپلینگ در انتهای محور ژنراتور	J

2- سیم پیچ

وظیفه سیم پیچ روتور عبارت از ایجاد مسیر مناسب جهت عبور جریان DC به منظور ایجاد میدان مغناطیسی این میدان در روتورهای قطب برجسته به وسیله سیم پیچی متمرکز و در روتورهای قطب صاف توسط یک سیم پیچی توزیع شده، ایجاد می گردد. شکل (1-2-الف) یک سیم پیچی متمرکز برای یک ژنراتور 8 قطب و شکل (1-2-ب) یک سیم پیچی توزیع شده را برای توربوژنراتور 2 قطب که روتور آن دارای 6 شیار در هر قطب است نشان می دهد.



ب- سیم پیچی گسترده

الف- سیم پیچی متمرکز

شکل (1-2): نحوه ایجاد میدان مغناطیسی در روتور

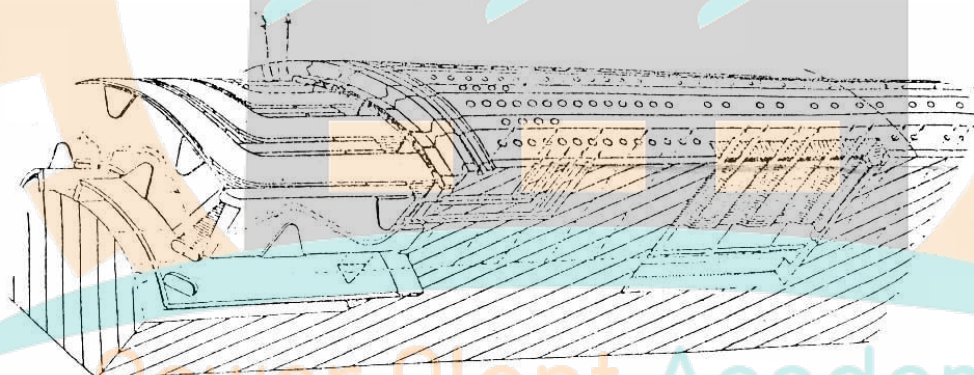
1-2 سیم پیچ روتور توربوژنراتورها

سیم پیچ روتور توربوژنراتورها به طور قابل ملاحظه ای تحت تاثیر نیروهای گریز مرکز و تنش های حرارتی می باشد. لذا هادی ها و عایق های آن با در نظر گرفتن این ملاحظات ساخته می شود.

2-1-1- هادی‌ها

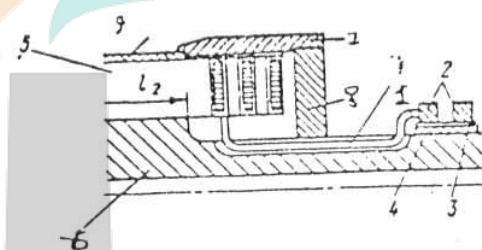
هادی‌ها از جنس آلیاژ مس و نقره که مقدار نقره در آن حدود $0/1$ درصد است ساخته می‌شود. در مقایسه با مس الکترولیز، آلیاژ مس نقره دارای استقامت مکانیکی بالاتر در دماهای زیاد است و بدین صورت از تغییر شکل مس در اثر تنش‌های حرارتی جلوگیری می‌گردد.

هادی‌ها معمولاً به صورت دو نیم حلقه در شیارهای روتور جا داده می‌شود. و سپس به یکدیگر متصل می‌گردد. شکل هادی‌های روتور با توجه به سیستم خنک‌کنندگی آن انتخاب می‌شود. شکل‌های مختلف هادی‌های روتور در شکل‌های (1-5) تا (1-9) نشان داده شده‌اند. شکل (2-2) چگونگی عبور گاز مبرد در هادی‌های روتور را در سیستم خنک‌کنندگی مستقیم نشان می‌دهد.



شکل (۲-۲): عبور گاز مبرد در هادی‌های روتور

اتصال بین حلقه‌ها لغزان و سیم‌پیچی روتور به وسیله نوارهایی^۴ که در داخل فرورفتگی‌های مخصوص در بدنه روتور جاسازی و توسط عایق از آن ایزوله شده است، انجام می‌گیرد. به منظور پیشگیری از جا به جایی این نوارها در داخل فرورفتگی‌ها در اثر نیروهای گریز از مرکز از گوه‌های فولادی قفل کننده استفاده می‌شود. شکل (۲-۳) نحوه اتصال سیم‌پیچی روتور به حلقه‌های لغزان را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳): اتصال هادی‌های روتور به حلقه‌های لغزان

۱- سیم پیچ تحریک ۲- حلقه لغزان ۳- عایق زیر حلقه لغزان ۴- استوانه زیر حلقه لغزان ۵- اتصالات مربوط به هادیهای سیم پیچ تحریک و حلقه لغزان ۶- یوغ روتور ۷- رینگ نگهدارنده ۸- رینگ انتهایی

برای اتصال حلقه‌ها به یکدیگر و تشکیل مدار الکتریکی روتور، از لحیم نقره استفاده

می‌شود. جدول (۱-۲) نحوه استفاده از لحیم نقره را نشان می‌دهد.

Power Plant Academy

جدول (۱-۲): مشخصات لحیم نقره

نام	کد	دمای	ترکیبات	کاربرد
-----	----	------	---------	--------

^۴- Strap



		ذوب (°C)		
لحیم نقره 8	LA_g8	860	Zn بقیه، Cu: 55٪، Ag: 9٪	لحیم بزرگ قطعات ضخیم
			7٪	
لحیم نقره 12	LA_g12	830	Zn بقیه، Cu: 52٪، Ag: 13٪	لحیم بزرگ برای قطعات با ضخامت متوسط
			11٪	
لحیم نقره 20	LA_g20	750	Zn بقیه، Cu: 13٪ - 17٪، Ag: 19٪ - 21٪	لحیم کوچک برای ورق نازک
			43٪	
لحیم نقره 25	LA_g25	780	Zn بقیه، Cu: 43٪، Ag: 26٪	ورق های نازک و سیم ها
			24٪	

2-1-2- عایق

شکل (2-4) یک نمونه از عایق بندی سیم پیچ روتور توربوژنراتورها را نشان می دهد.

عایق های بکار رفته را می توان بدین صورت طبقه بندی نمود:

- عایق شیار که به صورت نوار از الیاف شیشه اپوکسی⁵ و با ضخامت حدود یک

میلی متر ساخته می شود. به علاوه ممکن است یک پوشش حفاظتی فولادی نیز بین بدنه شیار و عایق شیار قرار گیرد که در قسمت (4) شکل (1-6) نشان داده شده است.

- عایق سیم پیچی از جنس شیشه اپوکسی و با ضخامت حدود 0/5 میلی متر و پهنای

متناسب با عرض هادی انتخاب می گردد. در روی این عایق به منظور ایجاد مسیر مناسب

⁵- Epoxide Class

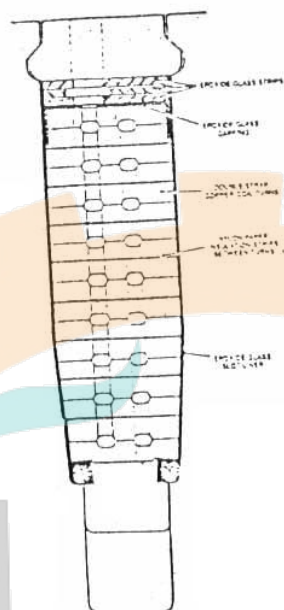


برای عبور گاز مبرد سوراخ‌هایی به شکل مجراهای تهویه شعاعی در هادی‌ها ایجاد می‌شود.

- در صورتی که از تسمه مسی لخت به عنوان هادی روتور استفاده شده باشد، علاوه بر شیشه اپوکسی و ورقه‌های نایلونی از میکا نیز می‌توان به عنوان عایق حلقه استفاده کرد.
- در داخل شیار و در پایین و بالای هادی‌ها عایقی با ضخامت بیشتر از عایق سیم‌پیچ و عایق حلقه، استفاده می‌گردد.

- برای پر کردن فضاهای خالی بین هادی‌ها در قسمت آزاد (خارج از شیار) از گوه‌های عایقی استفاده می‌شود. جنس این گوه‌ها از موادی مانند الیاف شیشه‌ای و رزین و روش ساخت آن به کمک قالب‌گیری و پختن^۶ در اثر حرارت می‌باشد.
- عایق زیر رینگ نگهدارنده به شکل استوانه ساخته می‌شود و روی هادی‌ها را در قسمت خارج از شیار می‌پوشاند. این عایق با استفاده از قالب‌گیری از الیاف شیشه‌ای و رزین و یا ورقه‌های رزین اپوکسی که توسط مواد مخصوص به یکدیگر چسبانده شده‌اند، ساخته می‌شود.

^۶- Cure



شکل (۲-۴): عایق بندی سیم پیچ روتور

- 1- نوار های شیشه اپوکسی 2- شیشه اپوکسی بصورت درپوش 3- هادی های سیم پیچ 4- صفحه نایلونی 5- عایق شیار از جنس شیشه اپوکسی

2-2- سیم پیچ روتور هیدورژنراتورها

هادی مورد استفاده در سیم پیچ روتور هیدورژنراتورها از جنس مس و به شکل مستطیل و با سطح مقطع نسبتاً زیاد (بین 200 تا 800 میلی متر مربع) ساخته می شود و هادی های روتر هیدورژنراتورهای خیلی بزرگ که به صورت مستقیم با هوا یا آب خنک می شوند، به شکل تسمه های شیاردار یا لوله های مسی توخالی ساخته می شوند.

در شکل (2-4) نحوه قرار گرفتن هادی ها و عایق نشان داده شده است. عایق سیم پیچی یا عایق حلقه از نوع رزین سخت شونده حرارت^۷ (یا آزبست آغشته به

⁷- Thermosetting



وارنیش) انتخاب می شود. استفاده از هادی لخت و عایق حلقه باعث می شود که عمل تهویه در لبه خارجی هادی بهتر انجام شود. بدنه قطب توسط میکائیت از هادی عایق می گردد.

3- سیم پیچ میراکننده

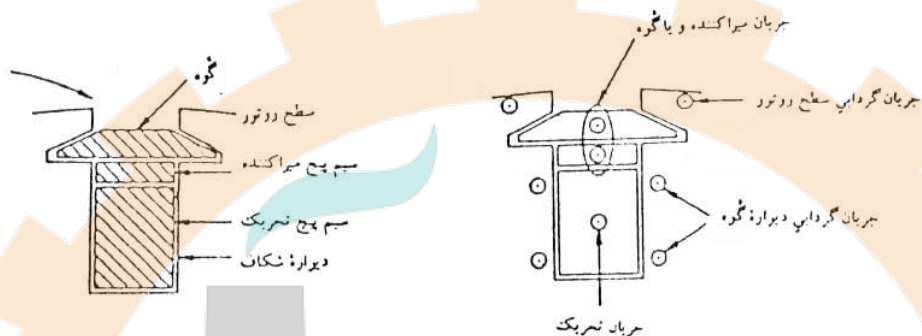
هدف از تعبیه سیم پیچ های میرا کننده، بهبود خواص میرایی الکتریکی و مکانیکی و افزایش قابلیت اطمینان روتور می باشد. این کار از طریق امکان ایجاد جریان های کنترل شده در مسیرهای مشخصی در روتور عملی می شود. به علاوه استفاده از سیم پیچ های میرایی، رفتار گذاری ژنراتور در شرایط غیرماندگار (مانند اتصال کوتاه) را نیز بهبود می بخشد. معمولاً سیم پیچ های میرایی روی صورت⁸ قطب موتورها و کندانسورهای سنکرون و بیشتر ژنراتورهای قطب برجسته، با استفاده از میله های قطور مسی با برنجی جاسازی می گردد. این سیم پیچ ها ممکن است توسط صفحه های اتصال دهنده، به یکدیگر اتصال کوتاه می شوند و مداری را شبیه به روتور موتورهای قفس سنجابی پدید می آورند. استفاده از سیم پیچ های میرایی پیوسته رفتار گذاری بهتری را برای ژنراتور ایجاد می کند و از سیم پیچ های میرایی ناپیوسته معمولاً در ژنراتورهای کوچکتر استفاده می گردد.

در ژنراتورهای دارای هسته یکپارچه (قطب صاف) معمولاً سیم پیچی میرایی تعبیه نمی شود، زیرا جریان های گردابی مورد نیاز در قسمت یکپارچه بدنه القاء می شود. با این حال برخی از سازندگان به منظور ایجاد تاثیر میرایی بیشتر و قابلیت عبور جریان توالی

⁸-Pole Face



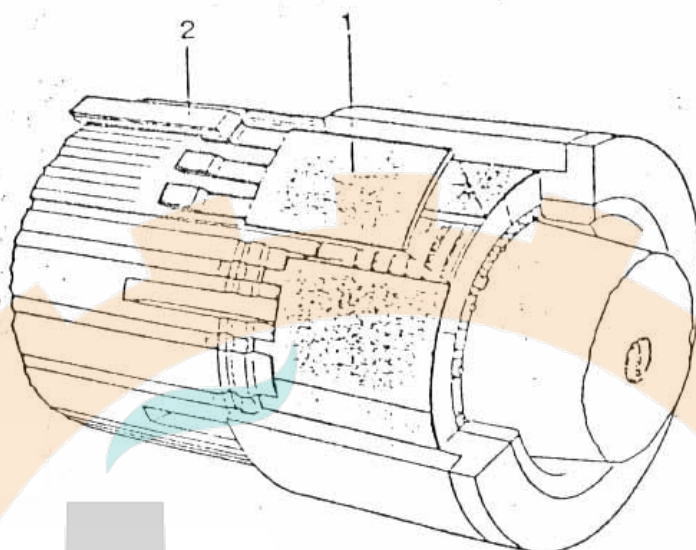
منفی، از گوه‌های فلزی و یا از میله‌های مسی زیر گوه‌های نگهدارنده سیم پیچ تحریک استفاده می‌کنند. شکل (3-1) نحوه انجام این کار را نشان می‌دهد.



شکل (3-1): سیم پیچ میرایی در روتورهای یکپارچه

1- گوه 2- سطح روتور 3- سیم پیچ میراکننده 4- سیم پیچ تحریک 5- جریان میراکننده 6- جریان گردابی دندان 8- جریان تحریک

این گوه‌ها از طریق قطعات مسی سخت که روی عایق رینگ نگهدارنده جاسازی شده‌اند به یکدیگر متصل می‌شوند و به همراه هسته روتور یک قفس کامل را ایجاد می‌نمایند (شکل 3-2).



شکل (۳-۲): اتصال گوه‌های فلزی به یکدیگر

1- قطعه مسی 2- گوه آلومینیومی

گوه‌های فلزی معمولاً از جنس آلومینیوم یا آلیاژهای آلومینیوم (از قبیل دور آلومین که از استحکام مکانیکی زیادی برخوردار است) و به روش فورج و ماشین کاری تهیه می‌گردد. در روی این گوه‌ها سوراخ‌هایی برای عبور گاز مبرد ایجاد می‌شود (شکل 2-3)).

در هر حال ساختار سیم‌پیچی میرایی در کنار سایر مشخصات استاتور و روتور نقش مهمی را در عملکرد بار نامتعادل و حالت‌های گذرا در ژنراتور برعهده دارد. جدول (3-1) مقادیر مجاز جریان توالی منفی را بر اساس استاندارد IEC 34-1 در حالت عملکرد نامتعادل و شرایط بروز خطا در ژنراتورهای سنکرون نمایش می‌دهد. لذا باید ملاحظات لازم



بمنظور ارضای شرایط مندرج در این جدول در هنگام طراحی و ساخت روتور نیز در نظر

گرفته شود.

جدول (I-3): مقدار مجاز جریان توالی منفی نسبت به جریان نامی

نوع ماشین	بیشینه $(\frac{I_2}{I_N})$ در عملکرد دائم	بیشینه $(\frac{I_2}{I_N})^2.t$ در شرایط بروز خطا
ماشین قطب برجسته		
با سیستم خنک کننده غیر مستقیم		
- موتور		
- ژنراتور		
- کندانسور		
با سیستم خنک کننده مستقیم		
- موتور		
- ژنراتور		
- کندانسور		
ماشین قطب صاف		
روتور با سیستم خنک کننده		
غیر مستقیم		
هوا خنک		



هیدروژن خنک	
روتور با سیستم خنک کننده مستقیم	
$\leq 350 \text{ MVA}$	
$> 350 \leq 900 \text{ MVA}$	
$> 900 \leq 1250 \text{ MVA}$	
$> 1250 \leq 1600 \text{ MVA}$	

(1) در این ماشینها مقدار $(\frac{I_2}{I_N})$ با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{I_2}{I_N} = 0.08 - \frac{S_N - 350}{3000}$$

(2) در این ماشینها مقدار $(\frac{I_2}{I_N})$ با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$(\frac{I_2}{I_N})^2 = 8 - 0.00545(S_N - 350)$$

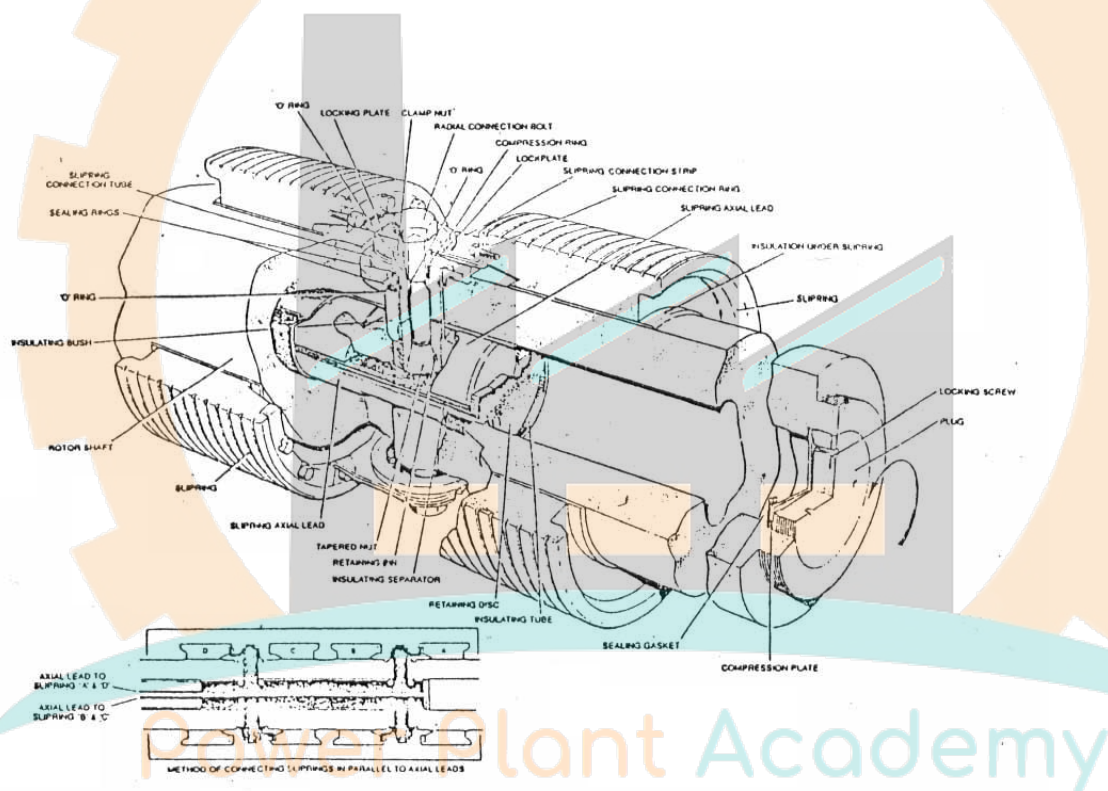
که S_N مقدار توان ظاهری برجسب مگاوات آمپر می باشد.

Power Plant Academy

4- حلقه‌های لغزان (اسلیپ رینگ)، ذغال و نگهدارنده‌های آن

1-4 - حلقه‌های لغزان

حلقه‌های لغزان وظیفه جذب جریان تحریک عبوری از ذغال‌های متصل به تحریک کننده^۹ را به منظور انتقال به سیم پیچ تحریک ژنراتور، بر عهده دارند. جنس این حلقه‌ها اغلب از فولاد سخت مخصوص می‌باشد (شکل ۱-۴) یک نمونه از حلقه‌های لغزان را با جزئیات آن نشان می‌دهد.



شکل (۱-۴): حلقه‌های لغزان و اتصالات آن

^۹- Exciter



در صورتی که سطح مقطع مورد نیاز (با در نظر گرفتن سیستم تهویه مناسب)، برای عبور جریان زیاد کافی نباشد، با شرط یکسان بودن پلاریته، از چند حلقه لغزان موازی با یکدیگر استفاده می شود.

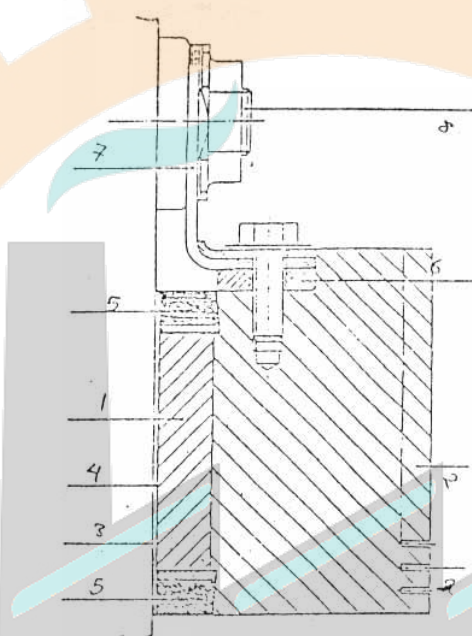
شکل (4-2) نمونه دیگری از یک حلقه لغزان را که برای ژنراتورهای بزرگ بکار می رود، نمایش می دهد. این حلقه خود شامل دو حلقه می باشد، حلقه داخلی روی محور و حلقه خارجی (حلقه لغزان) روی حلقه داخلی سوار می شود. به منظور عایق کردن حلقه لغزان از محور، از یک عایق مخصوص¹⁰ استفاده شده است که ضخامت آن به ولتاژ کار بستگی دارد و یک لایه ضدکرونا نیز در کنار عایق مذکور قرار گرفته است. دو حلقه عایق روی دو قاعده حلقه ها و وظیفه طولانی کردن مسیر خزشی¹¹ و محکم کردن لایه های (3) و (4) را بر عهده دارند.

به منظور پیشگیری از ایجاد نقاط داغ موضعی و اطمینان از انتقال مطلوب جریان در سطح خارجی حلقه لغزان شیارهایی به صورت مارپیچ تعبیه شده است. این شیارها حرارت ناشی از عبور جریان و نیز اصطکاک ذغال با حلقه لغزان را به خارج منتقل می نمایند. هوای مورد نیاز برای تهویه از طریق یک فن تامین می شود.

1- این عایق با نام تجاری کاپتون (Kapton) و نام علمی Polymid Film بوده و دارای استقامت حرارتی بالا است.

11- Creepage

توزیع یکنواخت جریان بین حلقه لغزان وميله تغذيه كننده^{۱۲} با استفاده از يك حلقه اتصال دهنده كه از طريق نوارهاى قابل انعطاف به قاعده حلقه لغزان وميله تغذيه كننده متصل است، ايجاد مى گردد.



شكل (۲-۴): ساختمان حلقه لغزان

جدول (1-4) قطرهای خارجی حلقه‌های لغزان برای سطوح پرداخت شده^{۱۳} را براساس توصیه استاندارد (IEC 356 (1998 نشان می دهد.

جدول (1-4): قطر خارجی استانداردهای لغزان بر حسب میلی متر

5	40	315
5/6	45	355

¹²- Feeder Pin

¹³- Finished



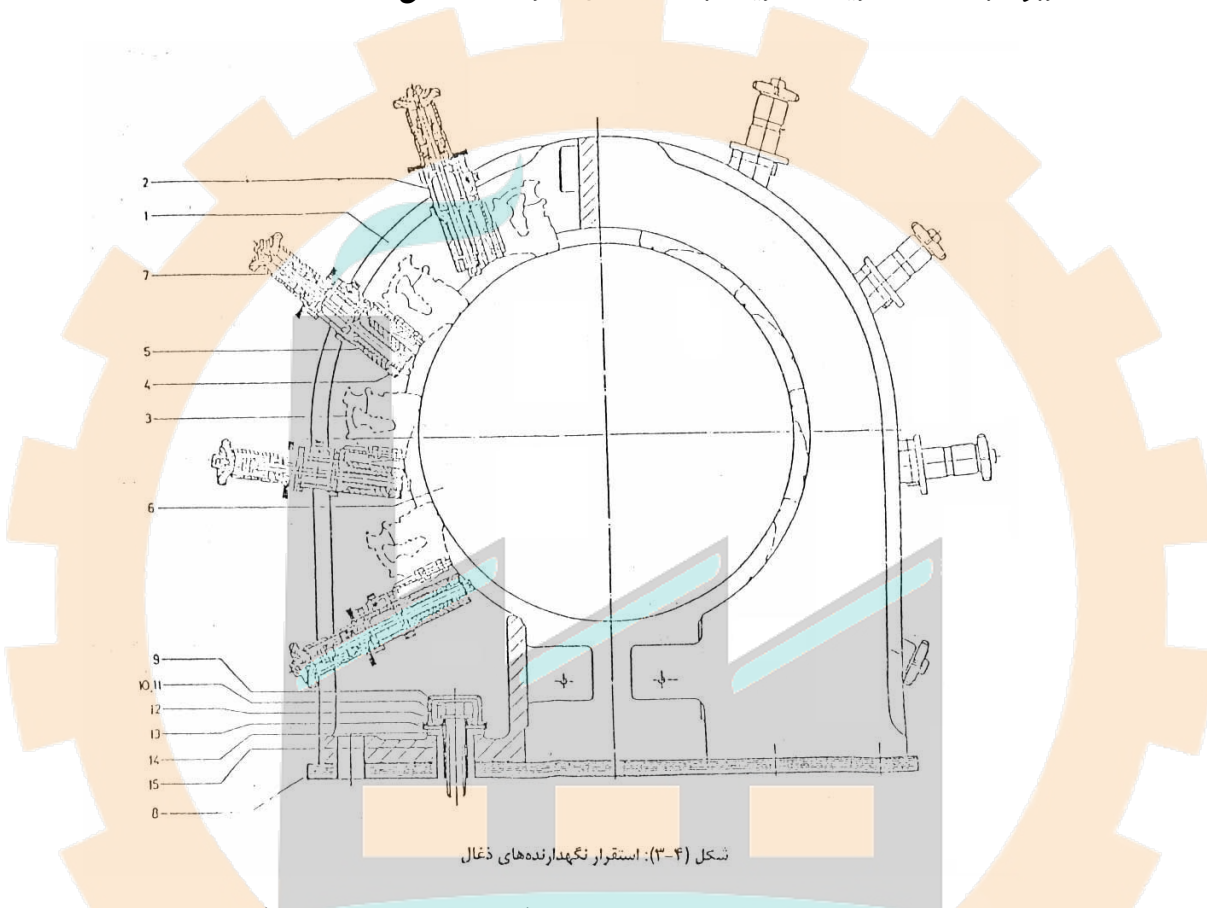
6/3	50	400
7/1	56	500
8	63	560
9	71	630
10	80	710
/2	90	800
11		
/5	100	900
12		
14	112	1000
16	125	1120
18	140	1250
20	160	1400
/4	180	1600
22		
25	200	1800
28	224	2000
/5	250	2240
31		
/5	280	2500
35		

Power Plant Academy

2-4- نگهدارنده ذغال^{۱۴}

شکل (3-4) یک نمونه از نحوه استقرار نگهدارنده‌های ذغال را در کنار سایر تجهیزات

مربوط به انتقال جریان تحریک به حلقه‌های لغزان نشان می‌دهد.



این تجهیزات عبارت است از پل‌های ذغال^{۱۵} (I)، بازوهای ذغال^{۱۶}، نگهدارنده‌های

ذغال و ذغال‌ها، پل‌های ذغال روی یک صفحه پایه^{۱۷} به وسیله پیچ‌های عایق قرار گرفته

اند ((9) تا (15)) و توسط صفحه عایق (8) از صفحه پایه عایق شده‌اند. نگهدارنده‌های

¹⁴ - Brush Gear

¹⁵ - Brush Bridge

¹⁶ - Brush Arm

¹⁷ - Base Plate

ذغال (3) به وسیله بلوک‌های قابل تعویض (2) به بازوهای پل ذغال‌ها (I) متصل گردیده‌اند.

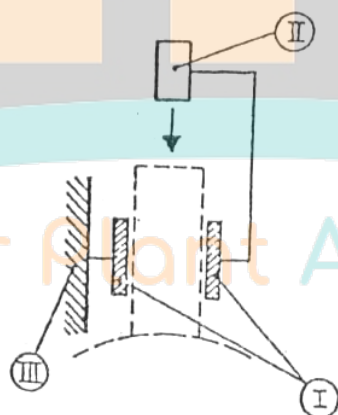
در این طرح امکان تعویض ذغال‌ها حتی در هنگام کار ژنراتور نیز میسر است. ذغال‌ها توسط فنرهای تعبیه شده در نگهدارنده های ذغال و تحت فشار مشخصی به سطح خارجی لغزان فشرده می شوند. پل ذغال امکان توزیع یکنواخت جریان تحریک را برای تک تک ذغال‌ها فراهم می‌نماید.

به طور کلی یک نگهدارنده ذغال مطابق شکل (4-4) از سه قسمت اساسی نیز تشکیل گردیده است.

I- محفظه قرار گرفتن ذغال،

II- سیستم فشار،

III- نحوه نصب.



شکل (4-4): قسمت‌های اساسی نگهدارنده‌های ذغال

با توجه به طرح یک ژنراتور و ولتاژ و جریان تحریک مورد نیاز، طرح‌های متعددی برای ذغال و نگهدارنده‌های آن از سوی سازندگان مختلف ارائه شده است.

در پیوست (الف) مشخصات مواد مورد استفاده در ذغال‌های ماشین‌های الکتریکی و در پیوست (ب) ابعاد استاندارد ذغال‌ها بر اساس استاندارد *IEC 136-1986* آورده شده است.

5- رینگ نگهدارنده (ری تینینگ رینگ)¹⁸

نیروهای گریز از مرکز که به صورت شعاعی به سیم‌پیچ تحریک واقع در شیارهای روتور وارد می‌شوند از طریق گوه‌ها به دندان‌ها منتقل و جذب می‌گردد. در حالی که نیروهای گریز از مرکز وارد شده به پیشانی کلاف‌ها از طریق رینگ نگهدارنده جذب می‌گردد (2) در شکل (1-1) و (7) در شکل (2-3) در توربو ژنراتورهای کوچک، رینگ نگهدارنده از فولادهای دارای استحکام مکانیکی بالا ساخته می‌شود که بین این رینگ‌ها با هسته روتور یک فاصله هوایی قرار گرفته است، به گونه‌ای که از ایجاد یک مسیر بسته مغناطیسی در قسمت پیشانی کلاف جلوگیری شود و در این گونه رینگ‌ها بندرت از رینگ انتهایی ((10) در شکل (2-3)) استفاده می‌شود و رینگ نگهدارنده مستقیماً روی محور نصب

می‌شود. کلیه مشخصات استاندارد این چنین رینگ‌هایی باید بر طبق استاندارد 91-ASTM A288 باشد. در توربو ژنراتورهای بزرگ رینگ‌های نگهدارنده از فولادهای

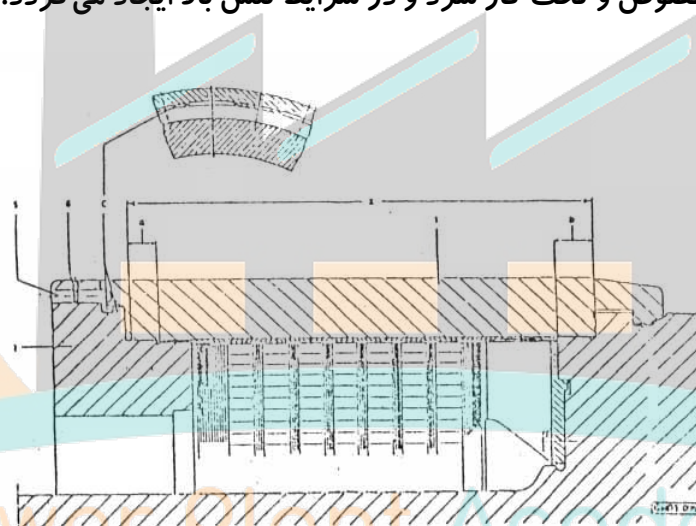
غیرمغناطیسی ساخته می‌شوند و بر روی رینگ انتهایی قرار می‌گیرند. رینگ‌های نگهدارنده چنین ژنراتورهایی باید به گونه‌ای طراحی شود تا در مقابل انواع نیروهای

¹⁸ - Retaining Ring

مماسی، محوری، خمشی و برشی که در طی بهره‌برداری از ژنراتور ایجاد می‌شود، از مقاومت کافی برخوردار باشد.

شکل (1-5) یک نمونه از رینگ‌های نگهدارنده توربو ژنراتورهای بزرگ را نشان می‌دهد. رینگ نگهدارنده (1) و رینگ انتهایی (2) در ناحیه "a" کاملاً به یکدیگر متصل و در ناحیه "c" به یکدیگر قفل شده‌اند. پیچ نگهدارنده (2) و پین محکم کننده (6) رینگ انتهایی را در موقعیت نهایی خود قرار می‌دهد.

خواص رینگ نگهدارنده و رینگ انتهایی غیرمغناطیسی از قبیل استحکام، ازدیاد طول و مقادیر آزمایش ضربه به همراه همگن بودن مواد تشکیل دهنده آن، با استفاده از ابزارهای مخصوص و تحت کار سرد و در شرایط تنش بالا ایجاد می‌گردد.



شکل (1-5): رینگ‌های نگهدارنده

ناحیه "X" باید عاری از هر گونه سوراخ، شیار و فرورفتگی باشد تا از حفظ خواص مکانیکی آن اطمینان حاصل شود. آزمایشها و بازیبنی‌های متعدد این اطمینان را فراهم

می‌کند که مواد انتخاب شده نیازمندی‌های مشخص شده را ایجاد می‌کند.

رینگ‌های نگهدارنده غیرمغناطیسی بر حسب استحکام مکانیکی از کلاس 1 تا کلاس 8 طبقه‌بندی می‌شوند که کلاس 8 دارای بالاترین استحکام مکانیکی می‌باشد. جدول (1-5) درصد ترکیبات شیمیایی رینگ‌های نگهدارنده غیرمغناطیسی را نشان می‌دهد.

جدول (1-5): درصد ترکیبات شیمیایی رینگ‌های نگهدارنده غیرمغناطیسی

عناصر تشکیل دهنده	درصد ترکیبات
کربن	حداکثر 0/13
منگنز	17/5 تا 20
فسفر	حداکثر 0/06
گوگرد	حداکثر 0/015
سیلیسیم	حداکثر 0/8
نیکل	حداکثر 2
کرم	17/5 تا 20
نیتروژن	حداقل 0/45
تیتانیوم	حداکثر 0/1
آلومینیوم	حداکثر 0/04



جدول (2-5) نیازمندی‌های مکانیکی کلاس‌های مختلف رینگ‌های نگهدارنده

غیرمغناطیسی را نشان می‌دهد.

جدول (2-5) : خواص مکانیکی کلاس‌های مختلف رینگ‌های نگهدارنده دردمای اتاق

(20 تا 27 درجه سانتی‌گراد)

درجه استحکام	حداقل استحکام کششی [Mpa]	حداقل استحکام تسلیم [Mpa]	حداقل ازدیاد طول نسبی (در 50 میلی‌متر) [%]	حداقل کاهش سطح مقطع [%]	حداقل انرژی ضربه برای آزمایش شکاف V چارپی [J]
1	1000	930	28	60	95
2	1070	1000	25	55	88
3	1140	1105	20	50	81
4	1170	1140	19	48	79
5	1205	1170	17	45	75
6	1275	1240	14	40	68
7	1345	1310	12	35	54
8	1380	1345	10	30	47

سایر مشخصات رینگ‌های نگهدارنده غیرمغناطیسی اعم از روش ساخت، عملیات

حرارتی، ماشین‌کاری، ترکیبات شیمیایی، آنالیز، تست‌های مخرب و غیرمخرب،



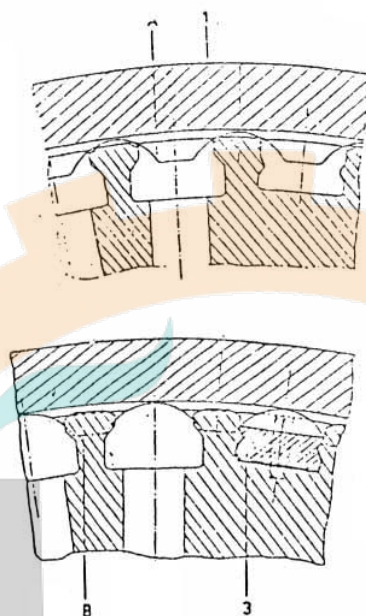
مشخصات الکتریکی، بازبینی، عدم پذیرش، علامت گذاری، عملیات حرارتی مجدد و الحاقیه‌های آن باید مطابق با استاندارد *ASRTMA A 289-91* باشد.

شکل (2-5) طرحی را برای قفل کردن رینگ نگهدارنده به منظور ممانعت از حرکت‌های محوری آن نشان می‌دهد. دندانه‌های موجود روی رینگ نگهدارنده (I) در محل "A" ثابت نگه داشته می‌شود. سپس هنگامی که رینگ در محل نهایی خود کاملاً با بدنه روتور هم محور شد، رینگ نگهدارنده به میزان نصف شیار چرخانده می‌شود. در این وضعیت، موقعیت دندانه در محل "B" قرار می‌گیرد و از حرکت محوری رینگ جلوگیری می‌شود. به علاوه به منظور قفل کردن رینگ، شیارهای باریکی روی درپوش انتهایی¹⁹ تراشیده می‌شود، سپس گوه نگهدارنده²⁰ (3) دقیقاً بین دو دندانه قرار می‌گیرد و سپس با پیچ قفل می‌شود. این کار از هرگونه حرکت مماسی رینگ جلوگیری می‌کند.

بیرون کشیدن رینگ توسط ابزارهای مخصوصی که به وسیله سازنده ژنراتور برای آن طرح تهیه شده است، انجام می‌گردد.

¹⁹ - End Bell

²⁰ - Retainer Wedge



شکل (۵-۲): قفل کردن رینگ نگهدارنده

یک طرح دیگر برای قفل کردن، استفاده از میله‌های کوچکی است که به وسیله فنر تحت فشار هستند و در داخل شیارهای کوچکی قرار گرفته‌اند. برای قفل کردن این گونه رینگ‌ها باید آنها را چرخاند و در محل خود قرارداد [3].

در طرح دیگری که با این دو طرح متفاوت است، از یک رینگ پیچ‌دار^{۲۱} به منظور هل دادن رینگ نگهدارنده به محل نهایی خود به میزان چند میلی‌متر، استفاده می‌گردد و

سپس رینگ به صورت محیّطی قفل می‌شود.

رینگ را باید حدوداً تا 300 درجه سانتی‌گراد حرارت داد تا برای قرار گرفتن در محل نهایی و درگیر شدن با روتو منبسط گردد. حرارت از طریق گرمکن^{۲۲} برقی استوانه‌ای

²¹- Screwed

²²- Heater



مخصوصی اعمال می گردد. اگر از مشعل های گازی برای گرم کردن استفاده شود، لازم است به منظور حفاظت رینگ از شعله مستقیم، روی آن با یک ورق فلزی نازک پوشانده شود.

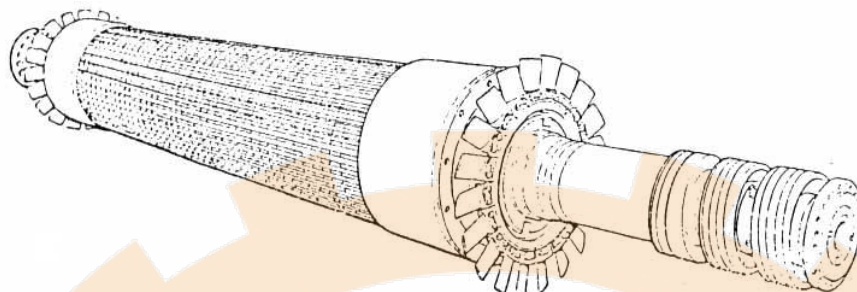
به منظور تسهیل در جازدن و خارج ساختن رینگ، سطح داخلی آن به صورت مخروطی تراشیده می شود. هیچ گونه تماسی بین رینگ انتهایی و محور مجاز نیست، زیرا خاصیت انعطاف پذیری محور باعث خستگی^{۲۴} و سایش زود هنگام محل های تماس خواهد شد. به علاوه روی رینگ تسهیلاتی برای تنظیم و بالانس مکانیکی روتور در نظر گرفته می شود.

6- فن

فن ها اختلاف فشار مورد نیاز را بمنظور حرکت سیال مبرد در مجراهای عبور سیال فراهم می نمایند، برای توربوژنراتورهای بزرگ معمولاً دو فن مشابه در دو انتهای محور نصب می شود که هر یک از آنها نیمی از طول ژنراتور را خنک می کند. فن ها می توانند مانند (5) در شکل (1-1) بصورت شعاعی (سانتریفوژ) یا مطابق شکل (1-6) بصورت محوری ساخته می شوند. جنس فن ها غالباً از آلایاژ آلومینیوم و در برخی موارد از فولاد است. پس از ساخت لازم است فنی از لحاظ دینامیکی بالانس شود.

²³ - Tapered

²⁴ - Faigue



شکل (۶-۱): فن محوری

7- زمین کردن روتور

در شرایط عملکرد عادی ژنراتورهای بزرگ، در اثر عدم تقارن مغناطیسی و عوامل دیگر، ولتاژی بین 10 تا 50 ولت بین دو طرف محور ژنراتور ایجاد می‌گردد. این ولتاژ باعث جاری شدن جریانی درمحور و بدنه روتور می‌شود که از طریق ژورنال ها و یاتاقان‌ها مسیر خود را می‌بندد و باعث تخریب سطح فلز بایت و نیز روغن روانکاری یاتاقان خواهد شد. لذا لازم است با عایق کاری مناسب مسیر این جریان چرخشی مسدود گردد. این هدف با عایق کاری یک سمت (سمت تحریک کننده) عملی می‌شود، اما هرگاه سمت دیگر محور با یک فلز زمین شده (مثلا دریاتاقان‌ها، سیل‌ها، لوله‌های روغن و ...) اتصال پیدا کند دوباره جریان برقرار می‌شود. در برخی از طرح‌ها از عایق‌های دو لایه بایک جزء فلزی شناور^{۲۵} بین آن دو استفاده می‌شود به گونه‌ای که مقاومت اندازه‌گیری شده

²⁵ - Floating



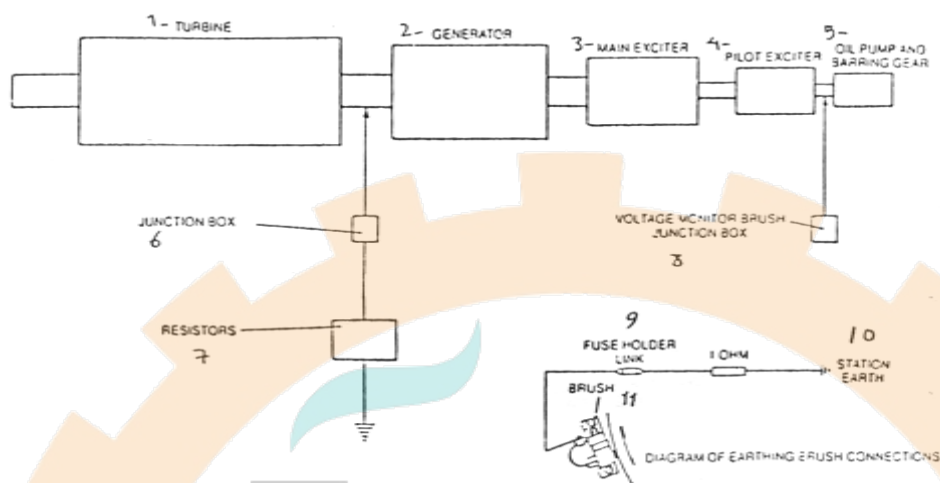
بین جزء شناور و زمین عایق مورد نیاز را ایجاد کند. به علاوه ممکن است از یک صفحه عایقی زیر پایه^{۲۶} یا تاقان و زمین نیز استفاده شود.

هنگامی که عایق‌ها تمیز و بی‌عیب باشند، ولتاژی بین انتهای محور در سمت تحریک کننده و زمین وجود خواهد داشت که این امر می‌تواند نشان دهنده سلامت عایق باشد. غالباً استفاده از یک ذغال (یا در برخی موارد ترکیبی از ذغال و فلز یا نوار فلزی بافته شده) لغزان روی محور می‌تواند این ولتاژ را جهت نمایش^{۲۷} انتقال دهد و هنگامی که ولتاژ از یک مقدار پیش تعیین شده کمتر شد، فرمان اعلام خطر^{۲۸} صادر گردد. ذکر این مطلب حائز اهمیت است که ولتاژ محور را در انتهای توربین از طریق یک جفت جاروبک لغزان روی محور و یک مقاومت زمین شده می‌توان صفرنگه داشت. به دلیل این که روی سطح جاروبک‌های ذغالی در هنگامی که به مدت زیادی از آنها جریانی عبور نکند، یک پوشش با مقاومت بالا ایجاد می‌شود، لازم است مدار مخصوصی از طریق ذغال‌ها یک جریان نشتی را به داخل و خارج از محور تزریق نماید. این مدار همچنین می‌تواند خطای ناشی از عدم تماس جاروبک را نیز تشخیص دهد. شکل (I-7) نحوه انجام کار را نشان می‌دهد. راه دیگر این است که در هر محلی از مسیر عبور جریان در طول محور، جریان عبوری تشخیص داده شود.

²⁶ - Pedestal

²⁷ - Monitoring

²⁸ - Alarm



شکل (۷-۱): زمین کردن محور و مدار نمایش وضعیت زمین

- 1- توربین 2- ژنراتور 3- تحریک کننده اصلی 4- تحریک کننده پیلوت 5- پمپ روغن 6- جعبه اتصال 7- مقاومت 8- جعبه اتصال نمایش ولتاژ ذغال فیوز 10- زمین نیروگاه 11- ذغال

Power Plant Academy





مقدمه:

هر ژنراتوری دارای یک پلاک (صفحه مشخصات) است که شرایط بهره برداری را که ژنراتور برای آن شرایط طراحی و ساخته شده است بیان می کند.

مادامی که ژنراتور مطابق با وضعیت های پیشنهادی در پلاک از لحاظ خروجی الکتریکی، دمای خنک کننده، فشار و سرعت گردش عمل کند، دما از مقادیر توافق شده در زمان خرید ژنراتور فراتر نخواهد رفت.

علاوه بر محدودیت های دما که توسط استاندارد تحمیل می گردد. سازنده محدودیت هایی برای کمیت های بحرانی از قبیل چگالی شار، تنش مکانیکی، نیروهای مکانیکی و الکترومغناطیسی و تنش دی-الکتریک منظور می نماید.

این محدودیت ها براساس تحلیل طرح و تجربه سازنده و به منظور تداوم قابلیت اطمینان مناسب ژنراتور تنظیم می شوند.

بار گذاری ژنراتور براساس قابلیت مشخص شده روی پلاک، آن را در محدوده طراحی نگه داشته و در نتیجه قابلیت اطمینان آن بهینه می شود.

از ژنراتور باید با توجه کامل به امکان بالقوه کاهش عمر ژنراتور در اثر دماهای بیش از مقادیر مجاز، یا تنش الکتریکی بیش از محدوده الکتریکی طراحی شده، بار گرفت.

1-2- بار گذاری ژنراتورها

2-2- محدودیت های بار گذاری

2-3- مقادیر نامی روی پلاک ژنراتور



2-1-1- بار گذاری ژنراتورها

2-1-1- اثر بار گذاری ژنراتور بر دمای قسمت های مختلف آن

یکی از اثرات بار گذاری اشتباه²⁹ ژنراتور در محدوده فراتر از مقادیر نامی پلاک، افزایش دمای نقاط داغ است. معمولاً، نسبت دمای نقاط داغ به دمای مشاهده شده تقریباً³⁰ ثابت باقی می ماند. البته، در صورتی که به منظور دستیابی به خروجی بیشتر، دمای سیال خنک کننده سرد، بدون فراتر رفتن از دمای عادی مشاهده شده، کم شود، ممکن است دمای نقاط داغ از دمای مطلوب فراتر رود. این وضعیت در شکل (2-1) نشان داده شده است. اگر دمای خنک کننده ورودی 46 درجه سانتی گراد و بار تولیدی یک دهم پریونیت باشد، دمای مشاهده شده، 110 درجه سانتی گراد (نقطه 'A') و دمای نقطه داغ 130 درجه سانتی گراد خواهد بود. (نقطه 'B')

2-1-2- سایر اثرات بار گذاری بیش از مقادیر نامی پلاک

مهمترین اثر بهره برداری بیش از مقادیر نامی قید شده بر روی پلاک ژنراتور افزایش دما می باشد، البته موارد دیگری هم مورد توجه هستند که عبارتند از: نیروهای هادی استاتور، تنش ها در دیواره های مجاری خنک کننده و لرزش اجزای حامل جریان.

²⁹-Misunderstood

³⁰-Fairly



همچنین گرم شدن طرفین هسته استاتور و سایر اثرات حاصل از پراکندگی شار بیشتر بوده و به اثرات معکوس دمای سیم پیچ ها اضافه می شوند.

3-1-2- عمر بهره برداری از ژنراتور ها

با بار گذاری ژنراتور بر اساس مقادیر نامی و نگهداری مناسب و بهره برداری در حدود مقادیر نامی می توان عمر مفید 30 تا 40 سال را برای ژنراتور انتظار داشت.

برای اطمینان از اینکه افزایش دما ها، نیروها و تنش ها در حد قابلیت تحمل مواد بکار رفته در ژنراتور هستند، محدوده مناسبی در طراحی، در نظر گرفته می شود تا قبل از بار گذاری بیش از مقادیر نامی، همه عوامل مرتبط با اضافه بار مدنظر بوده و اطلاعات³¹ (Awareness) کافی از اثرات آنها بدست آید.

ژنراتور می تواند فراتر از مقادیر نامی پلاک کار کند اما در این صورت حاشیه های طراحی رعایت نشده و عمر مفید آن کاهش خواهد یافت. محاسبه کمی میزان کاهش عمر مشکل است و به مقدار زیادی به طراحی ژنراتور بستگی دارد و با افزایش بار، کاهش عمر شدیدتر خواهد شد. در صورت نیاز به بهره برداری غیر معمول ژنراتور باید با سازنده مشورت شود.

4-1-2- بار گذاری با مقادیر نامی

حداکثر عمر مورد انتظار یک ژنراتور با روشهای بهره برداری که طی آن دمای عملکرد پائین بوده و دما کمترین تغییرات را دارد، بدست می آید.

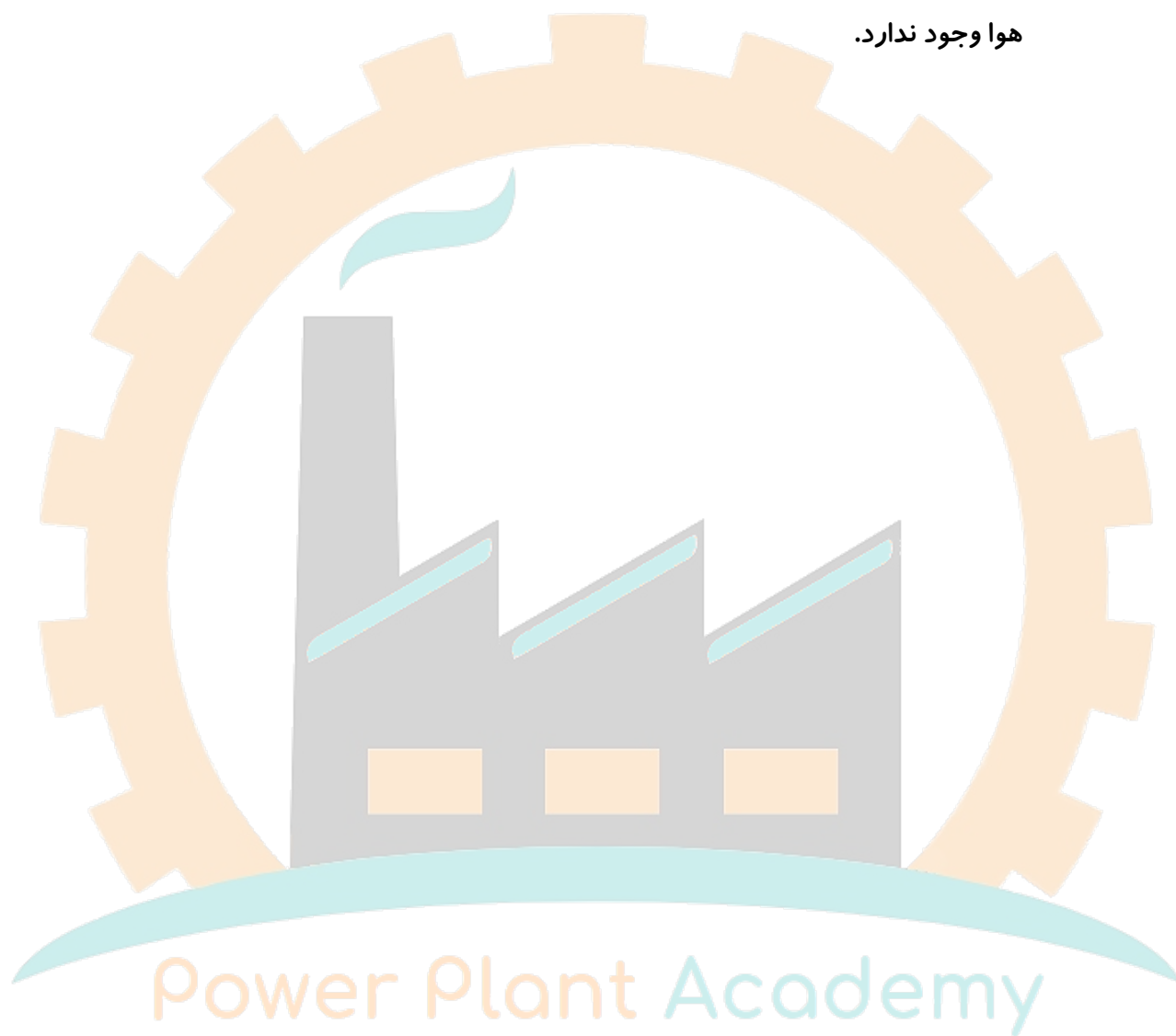
³¹-Awareness



بنابراین، وجود تجهیزاتی برای کنترل دمای سیستم خنک کننده منطقی است.

گاهی اوقات در ژنراتورهای خنک شونده با هوا هیچ گونه وسیله ای برای کنترل دمای

هوا وجود ندارد.





در ژنراتور های با سیستم خنک سازی بسته و خنک شونده با هوا یا هیدروژن، کنترل سیستم خنک کننده از طریق کنترل گردش آب خالص کولرها و در ژنراتور های خنک شونده با مایع، از طریق کنترل دمای خنک کننده مایع، برای سیم پیچ ها امکان پذیر است. در بهره برداری از یک ژنراتور، دماسنج ها یا ثبات های دما اطلاعات با ارزشی را فراهم می کنند.

2-2- محدودیت های بار گذاری

2-2-1- منحنی های مشخصه بی باری

بهره برداری از ژنراتور موقعی که باری به ترمینال آن متصل نیست، از طریق دو منحنی اشباع بی باری و مشخصه اتصال کوتاه مورد بررسی قرار می گیرد. منحنی اشباع بی باری شکل (2-2) رابطه بین ولتاژ ترمینال و جریان تحریک را هنگامی که ترمینال های خروجی ژنراتور باز می باشد، در سرعت نامی نشان می دهد. (نقطه A) قسمت خطی منحنی مشخصه "خط فاصله هوایی" نام دارد و انحراف از شرایط خطی در ولتاژ های بالاتر به دلیل اشباع مغناطیسی آهن می باشد. جریان تحریک در ولتاژ نامی ترمینال که به جریان تحریک بی باری معروف است، اغلب یک پریونیت جریان تحریک نامیده می شود.

Power Plant Academy



منحنی مشخصه اتصال کوتاه رابطه جریان استاتور با جریان تحریک را زمانی که ترمینال های ژنراتور اتصال کوتاه بوده و در سرعت نامی کار می کند، نشان می دهد. جریان تحریک در جریان نامی استاتور (نقطه B) جریان تحریک اتصال کوتاه نامیده می شود.

نسبت جریان تحریک بی باری به جریان تحریک اتصال کوتاه، نسبت اتصال کوتاه SCR ³² ژنراتور نامیده می شود و مقدار آن شاخصی برای ارزیابی پایداری ذاتی ژنراتور در حالت ماندگار است. در حالت کلی، ژنراتوری که SCR بزرگتری دارد، پایداری آن بیشتر است.

مشخصه ضریب قدرت صفر نیز در شکل (2-2) نشان داده شده است. این منحنی رابطه ولتاژ ترمینال با جریان تحریک را هنگامی که ژنراتور در سرعت نامی جریان نامی استاتور را به یک بار راکتیو خالص تزریق می کند، نشان می دهد این منحنی برای استخراج راکتانس پوتیر³³ بکار می رود، بوسیله این راکتانس می توان بار تحریک را تخمین زد. این منحنی به منظور تخمین مواردی از تحریک بوده و به موازات منحنی اشباع بی باری با فاصله ای به میزان جریان تحریک اتصال کوتاه، رسم شده است. نقطه C' روی شکل (2-2)، نقطه بار نامی است یعنی نقطه ای از بهره برداری که در آن جریان، ولتاژ و ضریب قدرت در مقادیر نامی می باشند.

³²-Short Circuit Ratio (SCR)

³³-Potier

2-2-2 منحنی های مشخصه بار

اگر ژنراتور به یک بار مجزا متصل باشد، ضریب قدرت آن توسط بار تعیین می شود. در حالتی که چندین ژنراتور باری را تغذیه می کنند، ضریب قدرت هر ژنراتور می تواند از بقیه متفاوت باشد. قدرت حقیقی (کیلو وات) تغذیه شده توسط هر ژنراتور بوسیله محرک اولیه تعیین می شود. و قدرت راکتیو (کیلو وار) تغذیه شده توسط هر ژنراتور بوسیله جریان تحریک مشخص می گردد.

شکل (2-3) رابطه نمونه ای بین جریان تحریک، کیلو ولت آمپر و ضریب قدرت در ولتاژ و فرکانس نامی را نشان می دهد منحنی های مربوط به کیلو وات ثابت نیز نشان داده شده اند. محدودیت های روی این منحنی های حدود عملکرد حرارتی بوده که در طراحی ژنراتور لحاظ شده اند. حداکثر جریان طراحی شده برای تحریک، حد بالای بار گذاری در ناحیه فوق تحریک (ضریب قدرت پیش فاز) را تعریف می کند (سمت راست شکل). این حد در شرایط جریان تحریک ثابت، از ضریب قدرت صفر پیش فاز تا ضریب قدرت نامی پیش فاز بصورت یک خط عمود در شکل مشخص می باشد، قابلیت عبور جریان تحریک در یک ژنراتور خنک شونده با هیدروژن به فشار گاز وابسته می باشد و تعدادی از این خطوط که مربوط به فشارهای مختلف گاز هیدروژن هستند در این شکل نشان داده شده اند:

بطور مشابه، سیم پیچ استاتور برای حداکثر جریان متناظر با مقادیر نامی ژنراتور طراحی می شود.

حد تحمل شده توسط گرمای سیم پیچ استاتور یک خط افقی بوده (قسمت بالایی شکل (2-3)) و به علت تأثیر جریان در اجزای خنک شونده (با خنک کننده گازی) این محدودیت به فشار گاز در هر دو نوع ژنراتور با سیستم خنک سازی مستقیم و غیرمستقیم بستگی دارد. در ناحیه زیر تحریک (ضریب قدرت پس فاز)، یعنی سمت چپ شکل (2-3)، قابلیت بار گذاری توسط گرمای انتهای هسته استاتور محدود می شود. این ناحیه توسط خطوط مورب روی قسمت سمت چپ در بالای شکل، مشخص شده است.

محل این محدودیت ها به طراحی ژنراتور و نوع خنک کنندگی بکار رفته وابسته است، بنابراین شکل منحنی ها و محل محدودیت ها از ژنراتوری به ژنراتور دیگر تغییر خواهد کرد. این منحنی ها و حدود نشان داده شده بر روی آنها، نواحی را که ژنراتور بدون فراتر رفتن دما از مقادیر تضمین شده می تواند بطور مطمئن بار گذاری شود، مشخص می کند. منحنی های شکل (2-3) را می توان، با منحنی های وابسته به توان حقیقی و راکتیو (شکل 2-4) مرتبط کرد. در این منحنی ها، حد جریان تحریک، حد جریان سیم پیچ استاتور و حد گرمای انتهای هسته استاتور به شکل مرزهایی مشخص شده اند و خطوط مربوط به ضریب قدرت ثابت خطوط مستقیمی بوده که در مرکز شکل یکدیگر را قطع می کنند. برای هر فشار گاز یک مرز جداگانه وجود دارد.

این منحنی ها قابلیت ژنراتور اصلی را در ولتاژ و فرکانس نامی نشان می دهند. سایر محدودیت های تحمل شده توسط تجهیزات دیگر نظیر توربین، از طریق ولتاژ های



سیستم و در برخی مواقع از طریق محدودیت های پایداری تعیین می شوند یک منحنی حد پایداری نوعی مربوط به حالت ماندگار در (شکل 2-4) نشان داده شده است. منحنی ها را می توان از کتابچه راهنما یا از طریق سازنده بدست آورد و برای مباحث مربوط به قابلیت ژنراتور باید از آنها استفاده شود.

2-2-3 روش تخمین منحنی قابلیت راکتیو

برای تعیین دقیق منحنی قابلیت راکتیو، فرآیند محاسبات تقریباً پیچیده ای برای تعیین خط جریان تحریک ثابت در ناحیه فوق تحریک و حدود گرمای انتهایی در ناحیه زیر تحریک لازم است. به این دلیل برای بار گذاری در این نواحی باید از منحنی های سازنده استفاده شود.

البته، می توان منحنی قابلیت راکتیو در ناحیه فوق تحریک را تخمین زد. این روش از اثرات اشباع مغناطیسی و تخمین های دقیق قابلیت ژنراتور در ضریب قدرت های کم و پیش فاز صرف نظر می کند. زیرا قابلیت راکتیو در ناحیه زیر تحریک به محدودیت گرمایی انتهایی هسته استاتور وابسته است. روش تشکیل این منحنی در (شکل 2-5) نشان داده شده است و براساس دیاگرام فازوری ژنراتور می باشد.

1- یک خط از مرکز (صفر کیلووات، صفر کیلووار) با زاویه ای که کسینوس آن معادل ضریب قدرت نامی باشد رسم می‌شود. زاویه باید در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت و نسبت به محور عرض ها که کیلووات را نشان می‌دهد اندازه گیری شود.

2- نسبت به محور عرض ها یک قوس تا خط ضریب قدرت نامی و با شعاعی معادل کیلوولت آمپر نامی ژنراتور رسم شود.

3- در روی محور ضریب قدرت پس فاز نقطه ای پیدا شود که معادل نسبت اتصال کوتاه تخمینی ژنراتور ضرب در کیلوولت آمپر نامی است. با استفاده از این نقطه (بعنوان مرکز)، یک قوس از نقطه ضریب قدرت نامی زده شود.

یادآوری: SCR (نسبت اتصال کوتاه) واقعی، لزوماً معادل SCR نامی ژنراتور نیست و باید با استفاده از منحنی اشباع بی باری و منحنی اتصال کوتاه (شکل 2-2) و با تقسیم جریان تحریک در نقطه A روی منحنی اشباع بی باری به جریان تحریک در نقطه B روی منحنی اشباع اتصال کوتاه، محاسبه شود.

تفاوت بین روش توصیف شده برای تخمین منحنی قابلیت ژنراتور و منحنی حقیقی سازنده در مثال (شکل 2-5) نشان داده شده است. خط چین، منحنی ای است که از روش تقریبی بدست آمده است در حالی که خط پر منحنی حقیقی سازنده را مشخص می‌نماید. از نقطه ضریب توان نامی به محور عرضی که نماینده توان اکتیو است دو منحنی همگرا می‌شوند.



2-3- مقادیر نامی روی پلاک ژنراتور

2-3-1- بار گذاری خارج از مقادیر نامی روی پلاک

ممکن است لازم باشد که از ژنراتور در شرایط زیر بهره برداری شود:

1- در فرکانس نامی و در ولتاژ غیرنامی و (ANSI C50.13-1989)

2- در نسبت ولت به هرتز نامی و فرکانس غیرنامی و (ANSI C50.13- 1989)

3- بالاتر از کیلوولت آمپر نامی و در ولتاژ و فرکانس نامی (ANSI C50.13- 1989)

4- در شرایط غیر عادی اتصال کوتاه استاندارد ANSI C50.13- 1989 قابلیت های

ژنراتور را با توجه به مشخصات زیر تعیین می کند:

(a) نیازمندیهای حرارتی کوتاه مدت سیم پیچ آرمیچر.

(b) نیازمندیهای حرارتی کوتاه مدت سیم پیچ تحریک.

(c) نیازمندیهای حرارتی کوتاه مدت سیم پیچ روتور برای خطاهای نامتعادل.

(d) نیازمندیهای مکانیکی برای اتصال کوتاه.

5- نسبت ولت بر هرتز و فرکانس غیرنامی

6- بار متعادل پیوسته

بطور کلی برای حل این موارد باید با سازنده مشورت شود. برای بررسی حداکثر

جریان توالی منفی که ژنراتور می تواند بدون خسارت دیدن تحمل کند و یا استاندارد

ANSI C50.13- 1989 مراجعه شود.



2-3-2- بهره برداری در ولتاژهای غیر نامی

عملاً همه ژنراتورها طوری طراحی می‌شوند که در کیلوولت آمپر، ضریب قدرت و فرکانس نامی و همچنین با تغییرات ولتاژی به میزان 5 درصد بالاتر پایین تر از ولتاژ نامی بطور مطمئن بهره برداری شوند. یک افزایش زیاد در نسبت ولت بر هرتز باعث اشباع بالا در هسته مغناطیسی استاتور می‌شود و شارهای القایی پراکندگی در اجزای غیر موقر بدنه که باعث اضافه حرارت جدی می‌شود، باید بطور خاص مورد توجه قرار گیرد. چون دستگاههای معمولی نشان دهنده دما نمی‌توانند اطلاعاتی از این پدیده ها را ارائه دهند، ممکن است قبل از با خبر شدن بهره بردار خرابی به بار بیاید. اگر در شرایط غیر معمولی بهره برداری از ژنراتور با ولتاژی با تغییرات بیش از 5 درصد، ضروری باشد، باید برای محدود نمودن خروجی ها با سازنده مشورت شود.

جهت مبحوس نگه داشتن هیدروژن خنک کاری ژنراتور از یک سیل بندی 4 استفاده می‌شود. این سیل بندی روغنی است که روغن از دو فضا وارد فضایی در منتهی الیه شفت توربین می‌شود. یکی از این ورودی ها سیل بندی هیدروژن داخل ژنراتور است که خروج هیدروژن جلوگیری می‌کند یکی دیگر سیل بندی هوا است که از ورود هوا به داخل ژنراتور جلوگیری می‌کند.

Power Plant Academy



2-3-3 بهره برداری در فرکانس غیرنامی

کاهش فرکانس ژنراتور بطوریکه نسبت ولت بر هرتز ثابت بماند، ایجاب می‌کند، که مقادیر نامی ژنراتور کاهش یابند^{۳۴} میزان کاهش به نوع سیستم خنک کنندگی و کاهش سرعت ژنراتور بستگی دارد. در مورد قابلیت هر ژنراتور خاص در فرکانس کاهش یافته باید با سازنده مشورت شود. انحراف از نسبت ولت بر هرتز نامی. قابلیت های ژنراتور را کاهش می‌دهد.

2-3-4 بهره برداری از ژنراتور در کیلو ولت آمپر غیرنامی

اکثر ژنراتور های توربین بخار، در حداکثر قابلیت خود بصورت پیوسته کار می‌کنند. تعدادی نیز، با افزایش فشار گاز قابلیت های اضافی بدست می‌آورند. در هر حالت، از منحنی های قابلیت ارائه شده توسط سازنده باید پیروی شود و بهره برداری از ژنراتور فراتر از این حدود توصیه گردد.

گاهی اوقات ژنراتور ها برای اینکه در شرایط حداکثر قابلیت توربین گاز سرویس بدهند، قابلیت های بالاتر از مقادیر نامی دارند. تا برای دوره های کوتاه مدت حداکثر بار سیستم را بتوانند تغذیه کنند. حدود افزایش دما از طریق استاندارد ها یا توسط سازنده تنظیم می‌شود به طریقی که نرخ گرمای متوسط پیش بینی شده در مدت زمان مقتضی^{۳۵}

متناسب با عمر مورد انتظار و نیازهای اقتصادی باشد.

³⁴-Derate

³⁵-Elapse



در ژنراتور های خنک شونده با هوا و با تهویه باز که برای سرویس دهی ممتد به یک توربین گاز بکار می روند، طبق استاندارد *ANSI C50.14- 1977* مقادیر نامی ژنراتور در ضریب قدرت نامی و سطح دریا باید برابر یا بزرگتر از مقادیر نامی توربین گاز با دمای هوای خطی 15 درجه سانتی گراد باشد. یک قابلیت حداکثر معادل با حداکثر قابلیت توربین احتراق نیز مشخص می شود. ژنراتور معمولاً قادر به بهره برداری در دمای هوای بین 18- تا 49+ درجه سانتیگراد است و قابلیت های آن در دماهای کمتر از 15+ درجه سانتیگراد بالاتر و در دماهای بالاتر از 15+ درجه سانتیگراد کمتر می شود.

در ژنراتور های با تهویه هیدروژن و به منظور سرویس دهی در پیک توربین گاز، مقادیر نامی پیک و پایه (براساس اصولی مشابه با ژنراتورهای با تهویه ساز) طبق استاندارد *ANSI C50.14- 1977* مشخص می شود. در نیروگاه بخار 1000MW مفتاح غرب که دارای 4 واحد 250MW است سیستم خنک کننده هیدروژن آن دارای دو کولر با سیال خنک کننده آب است. هیدروژن با فشار 3 بار که داخل فاصله هوایی ژنراتور و لابلای سیم پیچ ها محسوس شده بر اثر عبور از کولر ها خنک می شوند. دمای هیدروژن در حالت عادی حدود 60 درجه نکه داشته می شود و با تغییر بار این دما تغییر می کند.



ملاحظات بهره برداری از توربوژنراتورهای سنکرون

2-4- نیازمندیهای عمومی در بهره برداری

در بهره برداری از یک توربوژنراتور پارامترهای متعددی مانند قابلیت های طراحی، امکانات خنک سازی، تعداد کمیت های نظارت شده و روش و کیفیت نظارت کمیت ها باید مدنظر قرار گیرد. ریز پردازنده ها، کنترل کننده های قابل برنامه ریزی، ثبات های^{۳۶} داده، ثبت کننده ها و نمایش دهنده های ترتیب حوادث، اسیلو گراف^{۳۷} و غیره ابزار با ارزشی در دسترس پرسنل بهره برداری هستند.

ریز پردازنده های مدرن قابلیت پردازش صدها ورودی آنالوگ و دیجیتال را دارند. مقادیر قابل اندازه گیری ژنراتور بسته به تنوع پارامترها اندازه گیری و نمایش داده می شود. کنترل کننده های قابل برنامه ریزی مقادیر متوسط، میانه، حداکثر تغییرات، نرخ افزایش، حداکثر مطلق و معیارهای متعدد دیگری را محاسبه می کنند. سیستم های جدیدتر نظارت داده ها را می توان در نیروگاههای قدیمی نیز به کار برد. و این عمل برای تشخیص وسایل کهنه و فرسوده و تعویض آنها مفید می باشد در ضمن باعث افزایش قابلیت اطمینان ژنراتور خواهد شد.

همه اطلاعات مرتبط با ژنراتور، سیستم های جانبی و ملاحظات بهره برداری و تعمیر و نگهداری در کتابچه راهنما ارائه می شود. اکیداً توصیه می شود که این مرجع بطور کامل مطالعه شود و همواره در مورد مسایل مرتبط با ژنراتور به آن مراجعه گردد. ژنراتور باید

³⁶-Loggers

³⁷-Osilograph



متناسب با منحنی قابلیت راکتیو و سایر منحنی های بهره برداری مربوطه، کار نماید. گردش آب خالص³⁸ در تمام مبدل های حرارتی مربوط به سیستم خنک سازی باید تنظیم شود تا در صورت تغییر بار ژنراتور دمای نقاط داخلی آن افزایش نیابد.

ژنراتورهای خنک شونده با هوا، در وضعیتی مشابه با ژنراتور هایی که سایر روش های خنک کنندگی را به کار می برند، بهره برداری می شوند. البته توضیحات مربوط به خنک سازی خصوصاً در مورد خنک سازی با هیدروژن تنها در مورد ژنراتورهایی که با هیدروژن خنک می شوند، اعمال می شود.

2-4-1- دمای سیم پیچ استاتور

بهره برداری از ژنراتور تنها با استفاده از نشان دهنده های دمای سیم پیچ استاتور که در بخش قبلی شرح داده شد معقول نمی باشد. دستگاه های ناظر بر دمای سیم پیچ استاتور به همراه ثباتی که ثبت پیوسته دما را انجام می دهد، وسایل با ارزشی هستند بطوریکه هر گونه انحرافی از عملکرد مربوط به دماهای قبلی، نشانه تغییر وضعیت ژنراتور بوده و موضوع باید بررسی شود.

دو وسیله اساسی برای نظارت بر دمای سیم پیچ ژنراتورهایی که بطور مستقیم یا غیرمستقیم خنک می شوند وجود دارد. دمای استاتور و سیال خنک کننده باید توسط دستگاه های مربوطه نمایش داده شوند یا در ثبات ذخیره شده و یا برای پردازش به یک ریز پردازنده ارسال شود. میزان گرم شدن سیم پیچ های استاتور و سیال خنک کننده

³⁸-Raw

باید نمایش داده شده، یا در ثبات ذخیره شده و یا برای پردازش به یک ریز پردازنده ارسال شود. میزان گرم شدن سیم پیچ های استاتور با رعایت حد کیلو ولت آمپر مجاز (که در منحنی قابلیت راکتیو حد آن داده شده است) محدود می شود. (شکل 2-4 را

بینید)

2-4-2- دمای سیم پیچ روتور

بهره برداری از ژنراتور در ناحیه فوق تحریک و ضریب توان کمتر از مقدار نامی، توسط دمای سیم پیچ میدان محدود می شود. این حد توسط قسمت بالایی منحنی قابلیت مشخص می شود.

با توجه به وسیله به کار رفته برای نمایش دمای تحریک، ثبات دمای میدان وسیله تشخیص مفیدی می تواند باشد. ثبات دمای میدان را می توان برای تشخیص جرقه زدن رینگ کلکتور یا جاروبک بکار برد. این جرقه می تواند نشانه ای از مشکلات جدی بر روی رینگ کلکتور باشد در صورتیکه نویز AC که سیگنالهای جریان و ولتاژ DC را همراهی می کند، فیلتر نشده باشد. تغییرات سریع در ولتاژ تحریک یا جریان آن با توجه به شرایط سیستم یا مسایل تنظیم ولتاژ، را هم می توان روی ثبات دمای تحریک مشخص کرد.

تعداد زیادی از ژنراتورهای سنکرونی که امروزه در حال سرویس دهی هستند، به تحریک های از نوع بدون جاروبک، مجهز هستند. ولتاژ و جریان تحریک این ژنراتورها برای انجام محاسبات دمای میدان در دسترس نیست. لذا در این واحد ها، دمای محیط



خنک کننده روتور (هوا یا هیدروژن) باید با دقت بیشتری جهت آشکار سازی دمای سیم پیچ روتور، آشکار سازی و نمایش داده شود.

2-4-3- دمای هسته استاتور

بهره برداری از ژنراتور در ناحیه زیر تحریک توسط گرمای اضافی در منتهی الیه دو طرف هسته استاتور و ساختار نگهدارنده هسته محدود می شود. این حد توسط منحنی مختلطی که قسمت پایین منحنی قابلیت است، نشان داده می شود. اکثر ژنراتورها برای نمایش دمای هسته وسیله ای ندارند، بنابراین زمانی که بهره برداری در این ناحیه صورت می گیرد، باید توجه ویژه ای به ماندن در منحنی قابلیت صورت می گیرد. تعداد زیادی از استاتورهای طویل، برای به حداقل رساندن گرمای زیاد اطراف هسته محفظه های شار ویژه ای در هسته دارند و این محفظه ها معمولاً به تجهیزات ناظر بر دما مجهز می باشند.

2-4-4- انبساط حرارتی

قابلیت سیم پیچ استاتور نه تنها با کل دمای آن محدود می شود بلکه بوسیله اختلاف مقدار انبساط بین کلافهای استاتور یا کلاف ها و هسته استاتور نیز محدود می گردد. این اختلاف در مقدار انبساط تابعی از دمای کلی سیم پیچ و هسته است. این عامل در ژنراتورهای طویل بحرانی تر از ژنراتورهای کوتاه است. در طی تغییرات بار، تغییرات دمای مس سریعتر از دمای هسته است، بنابراین مشکل اختلاف در مقدار انبساط اهمیت پیدا می کند. بهره برداری خارج از کیلوولت آمپر نامی اثرات انبساط را زیاده تر می کند و بنابراین باید از آن جلوگیری شود. سیکل های متناوب اختلاف در انقباض و انبساط ممکن



است باعث خرابی عایق کلاف استاتور و سیستم نگهدارنده سیم پیچ استاتور شوند. سیستم های مدرن نگهدارنده نسبت به سیستم های قبلی سیم پیچ ها را در مقابل این اثرات بیشتر حفاظت می کنند.

روتور هم درگیر مشکلات مشابه مرتبط با اختلاف در میزان انبساط می باشد. سیم پیچ های میدان و سیستم عایقی در معرض اثرات مرکب انبساط حرارتی، نیروی گزیز از مرکز، نیروهای مغناطیس و پیچش هستند. برآیند این نیروها در یک دوره زمانی می تواند مشکلات جدی برای روتور ایجاد کند. ترکیب معمولی راه اندازی، بار گذاری، گرما دادن، بی بار کردن، خنک کردن و خروج از مدار، منجر به افزایش طول مس سیم پیچ تحریک در راستای مسیر محصور^{۳۹} بین سیم پیچ مسی و عایق کلاف می شود.

مشکلات متعدد انبساط حرارتی ناشی از عوامل غیرمعمولی (علاوه بر مسئله مسدود کنندگی که در بالا به آن اشاره شد) وجود دارند، که معمولاً در ابتدا با لرزش زیاد محور قابل شناسایی هستند. مسیرهای مسدود در خنک کننده روتور یا هادیهای تحریک، همانند انبساط غیر منتظره^{۴۰} گوه های تحریک می تواند باعث خمیدگی^{۴۱} روتور شوند. حلقه های اتصال در سیم پیچ تحریک، می توانند انبساط حرارتی نامتعادلی در قطب های

میدان و روتور فورج شده^{۴۲} تولید کنند.

³⁹-Ratcheting

⁴⁰-Uneven

⁴¹-Bending

⁴²-Forging



2-4-5- تعادل محور

محور ژنراتور، تحریک و توربین معمولاً توسط کوپلینگ های میله ای و فلنج شده^{۴۳} به هم متصل می شوند. در زمان بهره برداری این محورها باید در حالت تعادل نگه داشته شوند. عدم تعادل آنها باعث افزایش تنشهای محور خواهد شد و اگر توزیع مجدد بار گذاری یاتاقان بیش از حد باشد، لرزش مکانیکی افزایش خواهد یافت و ممکن است منجر به شکست مکانیکی یا اضافه گرمای یاتاقان شود.

تغییر ارتفاع^{۴۴} نقاط مختلف محور ژنراتور تابعی از دمای اجزای نگهدارنده آن است. در جایی که براکت و یاتاقانها یکپارچه باشند، دمای براکت و بدنه که آن را نگه می دارد مستقیماً با دمای سیال خنک کننده سرد تغییر می کند در نتیجه، تغییر ارتفاع محور ژنراتور را می توان با ثابت نگه داشتن دمای سیال خنک کننده سرد به حداقل رساند.

2-4-6- تغییر شکل بدنه

تغییرات زیاد دمای سیال خنک کننده ممکن است باعث تغییر ابعاد اطراف بدنه شده و اثراتی روی اتصالات مکانیکی و عایق ها داشته باشد. در ژنراتور هایی که با هیدروژن خنک می شوند، این حالت ممکن است باعث افزایش نشت هیدروژن و در نتیجه افزایش هزینه خنک سازی گردد. همچنین عملکرد عایق ها با دمای بالا ارتباط نزدیکی دارد. در نتیجه سفارشات سازنده در مورد محدوده دمای سیال خنک کننده باید پیگیری و اجرا شود.

⁴³-Ratcheting

⁴⁴-Elevation



2-5-منحنی های قابلیت راکتیو ژنراتور

منحنی های بهره برداری نوعی ژنراتور در (شکل 2-4) نشان داده شده اند. برای هر ژنراتور خاص منحنی مشابهی وجود دارد که باید به عنوان راهنمای بار گذاری آن به کار رود. دمای سیال خنک کننده ژنراتور، جریان سیال و فشار آن باید مطابق مقادیر سفارش شده سازنده باشد. بهره برداری از ژنراتور در محدوده منحنی های قابلیت راکتیو آن و با استفاده از وسایلی که توان اکتیو و راکتیو، ولتاژ ترمینال، جریان خط و جریان تحریک را اندازه گیری می کنند، انجام می شود. ژنراتورها معمولاً بین ضریب توان نامی و ضریب توان واحد کار می نمایند.

2-5-1-سیم پیچ استاتور

از آنجا که آشکارسازهای دمای سیم پیچ استاتور مقدار صحیحی از دمای نقاط داغ را ارائه نمی نمایند، ژنراتور باید در محدوده مشخص شده توسط سازنده بار گذاری شود. منحنی قابلیت ژنراتور، حدود بهره برداری مرتبط با دمای سیم پیچ استاتور در ناحیه فوق تحریک (ضریب قدرت پس فاز) و ناحیه زیر تحریک (ضریب قدرت پیش فاز) را نشان می دهد. این منحنی محدودیتی برای خروجی (کیلوولت آمپر) ایجاد می کند که در نتیجه آن گرمای سیم پیچ استاتور محدود می شود.

Power Plant Academy



2-5-2-دمای سیم پیچ روتور

منحنی قابلیت ژنراتور باید در محدوده فوق تحریک و زیر ضریب قدرت نامی جهت قرار دادن ژنراتور در محدوده مجاز گرمای روتور و به عنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد.

2-5-3-دمای انتهای هسته استاتور

در شرایط کاری در ناحیه زیر تحریک (ضریب قدرت پیش فاز)، میزان بار گذاری، مجاز محدود شده توسط گرمای تولیدی هسته استاتور و ساختمان آن را نیز مشخص می کند. بهره برداری از ژنراتور در ناحیه زیر تحریک ممکن است منجر به ایجاد مشکلاتی در پایداری شود. پایداری تابعی از مشخصات سیستم بوده و ممکن است محدودیت بار گذاری در این ناحیه را بیشتر کند.

2-6-فشار هیدروژن

بطور متداول در ژنراتورهای خنک شونده با هیدروژن فشار در مقداری متناسب با حداکثر کیلوولت آمپر مورد انتظار و با صرف نظر از تغییرات موقتی بار نگه داشته می شود. کاهش این فشار به ازای کاهش های کوتاه مدت بار، مقرون به صرفه نیست.

منحنی های قابلیت یک ژنراتور خاص توانایی کیلوولت آمپر آن را به ازاء فشارهای هیدروژن مختلف نشان می دهد. بهره برداری از ژنراتور در فشار هیدروژن کمتر از حداقل فشار مشخص شده روی منحنی، تا زمانی که با سازنده مشورت نگردیده و کیلوولت آمپر قابل اعتماد متناظر با آن فشار تعیین نشده است، مجاز نیست.



در ژنراتورهایی که کلاف استاتور آنها بصورت مستقیم و با مایع خنک می‌شود، فشار هیدروژن باید همواره به حد کافی بالای فشار خنک کننده نگه داشته شود بطوریکه نشتی های سیستم خنک کنندگی کلاف استاتور منجر به تخلیه خنک کننده مایع به داخل ژنراتور نگردند. اگر فشار آب خنک کننده استاتور برای ردیابی تغییرات فشار هیدروژن کنترل می‌شود، باید از ردیابی قابل اعتماد و مطمئن استفاده گردد و عملکرد آن بصورت دوره ای بررسی شود.

2-6-1- استفاده از منحنی های تنظیم فشار هیدروژن

در شکل (2-6) یک منحنی نمونه ای تنظیم فشار هیدروژن برای یک ژنراتور خنک شونده با گاز معمولی با مقدار نامی $41/34$ کیلو پاسکال و 35 درجه سانتی گراد آب خالص نشان داده شده است. این منحنی رابطه بین حداکثر بار، حداکثر دمای گاز سرد، دمای آب خالص و فشار هیدروژن برای بهره برداری ایمن از یک ژنراتور مخصوص را نشان می‌دهد. کمیت و دمای نامی آب مورد نیاز خنک کننده های گاز ژنراتور طوری طراحی شده اند که تلفات بار کامل ژنراتور را جذب کنند و دمای گاز سرد را در مقدار مناسب نگه دارند. باید توجه داشت همانگونه که با تغییر دمای آب خنک کننده بر طبق منحنی های داده شده فشار هیدروژن باید تغییر کند، بار گذاری مجاز نیز با تغییر فشار هیدروژن باید تغییر کند.



2-6-2-درجه خلوص هیدروژن

اگر چه حد بالای هیدروژن در مخلوط هوا- هیدروژن قابل احتراق⁴⁵ 75 درصد است، درجه خلوص گاز هیدروژن در یک ژنراتور خنک شونده با هیدروژن باید مطابق راهنماییهای سازنده نگه داشته شود تا به مؤثرترین شیوه از هیدروژن به عنوان عامل خنک کنندگی استفاده شود. تجربه نشان داده است که درجه خلوص هیدروژن تقریباً در مقادیر 96 تا 99 (متناسب با طول زمانی سرویس دهی) درصد تغییر می کند. در صورت لزوم، محدوده بهره برداری بین 90 تا 96 درصد مجاز و بی خطر است. البته بهره برداری زیر درجه خلوص پیشنهادی باعث افزایش تلفات گردشی می شود.

به منظور جلوگیری از احتراق مخلوط گاز هیدروژن- هوای داخل ژنراتور زمانی که هیدروژن به داخل پمپ شده یا از ژنراتور خارج می شود، یک گاز بی اثر مانند دی اکسید کربن بکار رود تا هوا یا هیدروژن داخل بدنه⁴⁶ ژنراتور را بطور کامل پاکسازی کند.

عملکرد ژنراتورهای خنک شونده با هیدروژن در حالت خنک سازی با هوا یا دی اکسید کربن نباید بدون مشورت با سازنده از ژنراتورهای خنک شونده با هیدروژن در سرعتی بیش از 50 درصد سرعت نامی و در حالیکه سیال خنک کننده هوا یا گاز دی اکسید کربن است، حتی برای دوره های زمانی کوتاه مدت بهره برداری کرد. احتمال خرابی یا اضافه گرمای تعدادی از اجزای ژنراتور با توجه به چگالی بالاتر این گازها وجود دارد.

⁴⁵-Explosive

⁴⁶-Casing



2-7- سیستم آب بندی هیدروژن با روغن

در همه ژنراتورهای خنک شونده با هیدروژن به منظور جلوگیری از نشت هیدروژن از بین محور و بدنه ژنراتور، از یک سیستم آب بندی با روغن تحت فشار استفاده می-شود.

در مورد هر ساختار، سفارشات متعددی در مورد نحوه عملکرد آن وجود دارد.

1- هرگز موقعی که سیستم آب بندی روغن کار نمی-کند به محور روتور اجازه گردش داده نشود. برای جلوگیری از خوردگی و آسیب محور لازم است که بین رینگ ها و محور روغنکاری شود.

2- زمانیکه هیدروژن در ژنراتور است باید از کار کردن سیستم آب بندی روغن اطمینان باشد. (چه محور در حال گردش باشد و چه نباشد).

3- سیستم های تغذیه روغن همیشه باید دارای مخزن ذخیره روغن باشند.

4- همیشه از ژنراتور چنان بهره برداری شود که فشار هیدروژن آن کمتر از فشار هیدروژن منبع ذخیره باشد اگر منبع ذخیره موجود نباشد، ژنراتور باید از مدار خارج شده و هیدروژن آن تخلیه شود.

Power Plant Academy

2-8-سیستم خنک کن

2-8-1-پر کردن اولیه سیستم خنک کن

هنگام پر نمودن اولیه سیستم خنک کن، گردش آب خالص باید چنان کنترل شود که کل سیستم خنک کننده تهویه گردد و نرخ پر شدن آن بقدری باشد که با توجه به فشار چکشی⁴⁷ آب، فشار وارده به سیستم از مقدار مجاز طراحی شده بیشتر نشود.

در خنک کننده های چند جزئی که آب بصورت سری و موازی در آن گردش می کند، باید دقت شود که گردش آب در این قسمت ها متعادل شود. این متعادل سازی را با بکار بردن شارسنج یا فشارسنج در اجزایی که آب در آنها گردش می کند، می توان انجام داد. در حالیکه با کنترل و تعدیل دمای آب یا گاز چنین کاری میسر نیست.

2-8-2- عملکرد عادی خنک کننده

جریان آب خنک کننده ها باید چنان کنترل شود که کل خنک کننده به کمک تهویه ممتد از آب پر شود و فشار آن از مقادیر مجاز طراحی شده بیشتر نشود.

2-8-3-کنترل آب خالص در طول تغییرات بار

ژنراتورها دارای حد بار گذاری پایین ذاتی نمی باشند، اگر چه ممکن است محرک اولیه و تجهیز مربوطه چنین حدی را تحمیل کنند. هنگام بهره برداری در بارهای متغیر از یک مقدار کم به بار نامی، درجه طراحی کنترل سیستم خنک کننده به مدت زمان و دامنه نوسانات بار بستگی دارد. وقتی که نوسانات بار کم و بیش غیرقابل پیش بینی و نامنظم

⁴⁷-Hammer



هستند، برخی از روش های تنظیم اتوماتیک گردش آب خالص مفید است. هر روش کنترل گردش آب خالص باید از رسیدن هوا یا گاز خنک کننده به نقطه شبنم، جلوگیری کند.

2-8-4-آزمایش شیمیایی آب خنک کننده روتور و استاتور

آب از میان هادیهای توخالی⁴⁸ یا تیوپ ها جاری می شود تا گرمای بوجود آمده در کلاف های استاتور، کلاف های روتور و سایر عناصر حامل جریان را به بیرون ژنراتور هدایت کند. برای به حداقل رساندن جریان نشتی، پایین بودن رسانایی آب از اهمیت زیادی برخوردار است. خواص شیمیائی آب باید بطور منظم نظارت شده و مطابق دستورالعمل های سازنده و با توجه به چگالی اکسیژن تجزیه شده، مس و آهن باقی بماند.

2-8-5-توقف گردش ماده خنک کننده

هرگاه گردش آب خنک کننده سیم پیچ استاتور در ژنراتورهایی که بطور مستقیم یا غیرمستقیم خنک می شوند متوقف شود، خروجی ژنراتور باید به مقدار سفارشی سازنده مربوط به شرایطی که متناظر با قابلیت ژنراتور در حالت بدون گردش خنک کننده است کاهش یابد. البته این قابلیت تنها درصد کوچکی از قابلیت نامی ژنراتور است. این کاهش بار باید در زمان کوتاهی انجام شود. بار کاهش یافته ممکن است تنها برای مدت کمی در

⁴⁸-Hollow Conductors



راستای سفارشات سازنده تغذیه شود. تعداد زیادی از ژنراتورهای بزرگ امروزی بدون گردش خنک کننده هیچ قابلیت برای تحویل بار ندارند.

بسته به طراحی سیستم خنک کننده توقف یا گردش آب خالص در یک یا تعداد بیشتری از مبدل‌های حرارتی آب خنک کننده استاتور، ممکن است بر میزان بار مجاز تحمیل کند. در مورد قابلیت ژنراتورهایی که مبدل حرارتی آنها آسیب دیده است، باید با سازنده مشورت شود.

2-9- عملکرد مجموعه کلکتور

جاروبک‌های مربوط به رینگ‌های کلکتور برای تغذیه جریان مستقیم به سیم پیچ روتور، در محدوده چگالی‌های جریان نوعی 25 تا 60 آمپر بر اینچ مربع به بهترین شیوه عمل می‌کنند. اگر چگالی جریان در یک جاروبک از حداکثر مقدار سفارش شده فراتر رود، می‌تواند منجر به گرمای زیاد در وسط جاروبک و کلکتور، جاروبک یا سیم جاروبک شود و در بهره برداری عادی باید از آن جلوگیری شود. بهره برداری از ژنراتور در حالی که چگالی جریان آب برای دوره‌های زمانی طولانی زیر مقدار حداقل پیشنهادی باشد می‌تواند منجر به لعاب دادن سطحی از جاروبک که در تماس با کلکتور است، شود که در این صورت برای جلوگیری از مشکلات جاروبک، تعویض هادی جاروبک بیشتری لازم است. این مشکلات عبارت از سر و صدای جاروبک یا صدای ناشی از جرقه هستند. محدوده سفارشی چگالی جریان جاروبک برای یک کلکتور مخصوص باید با توجه به راهنمایهای سازنده تعیین شود.



وقتی که بهره برداری در بار کم و به مدت طولانی مورد نیاز است می توان به منظور حفظ چگالی جریان در بالاتر از حداقل مقدار تعدادی از جاروبکها را حذف کرد. البته برای کنترل حداکثر بار پیش بینی شده باید تعداد جاروبک ها کافی باشد. منحنی های V شکل ژنراتور را می توان برای تعیین جریانهای تحریک مورد انتظار در بارهای مختلف بکار برد. هر محدودیتی که در اثر حذف جاروبک ها در قابلیت ژنراتور ایجاد می شود، باید به اطلاع بهره بردار برسد.

توصیه های مشخصی در رابطه با تغییر تعداد جاروبک ها در طول بهره برداری توصیه های مشخص را باید در نظر گرفت.

2-10- راه اندازی و نرخ تغییرات بار

اگر چه در این قسمت راهنماییهای کاملی در مورد راه اندازی توربوژنراتورها ارائه نمی شود، لیکن برخی از مهمترین جنبه های آن بیان می گردد. هنگام راه اندازی یک توربوژنراتور، نرخ افزایش سرعت از حالت سکون تا دور کامل موضوعی است که فقط به محرک اولیه وابسته است، مگر اینکه سازنده حدود مشخصی تعیین کرده باشد. روند راه اندازی و تغییر بار به روش خنک سازی ماشین و نوع سیستم تحریک بکار رفته بستگی دارد.

Power Plant Academy



به علاوه فرآیند های خاصی برای ژنراتورهای با محرکه توربین محور مجزا⁴⁹ لازم است. فرآیند های سفارشی سازنده باید دنبال شود. در فرآیند و بار گذاری یک ژنراتور، ملاحظات زیر باید بدقت مورد توجه قرار گیرند:

2-10-1-تحریک

در حالت فوق تحریک ممکن است به ژنراتور و تجهیزات متصل به آن آسیب برد لذا حدود ولت بر هرتز سفارشی باید رعایت شده و از مقادیر تعیین شده فراتر نرود.

2-10-2-سنکرونیزاسیون

این مسأله که طراحی ژنراتور بتواند نیروهای مکانیکی و جریان های ناشی از سنکرون کنندگی و توالی فاز نادرست را تحمل کند، الزاماً مطابق استانداردها نیست. برای سنکرون کردن دستی، باید به موارد زیر دقت شود:

1- در لحظه بستن کنتاکت های کلید قدرت سنکرون کننده، زاویه فاز بین ولتاژ ژنراتور و ولتاژ باس تا حد ممکن نزدیک صفر درجه (10 درجه الکتریکی به عنوان حداکثر انحراف مجاز حداکثر) باشد.

2- سرعت واحد باید بگونه ای با سرعت سیستم تطبیق داده شود که سنکروسکوپ،

ترجیحاً در جهت عقربه های ساعت بگردد و سرعت آن بزرگتر از یک دور در هر 15 ثانیه (67٪ هرتز) نباشد.

⁴⁹-Cross- Compound



3- ولتاژ ژنراتور در حال ورود به سیستم نباید با ولتاژ سیستم بیشتر از $\pm 5\%$ درصد اختلاف داشته باشد. (بلافاصله قبل از سنکرون کردن).
استفاده از تجهیزات سنکرون کننده اتوماتیک یا افراد ناظر توصیه می‌شود، زیرا این تجهیزات قادر است زمان بستن کلید قدرت را هماهنگ کند.
توجه: سنکرون سازی ناصحیح می‌تواند باعث وارد آمدن خسارت شدید و سریع به ژنراتور شود.

2-10-3-واحدهای با محور مجزا

- به طرق زیر نباید از این واحدها بهره برداری شود:
- 1- در حالی که فقط یک ژنراتور تحریک شده باشد.
 - 2- در حالی که ژنراتور با هم سنکرون نیستند و تحریک اعمال شده باشد.
 - 3- در حالتی که ژنراتور با یکدیگر و یا هر دو ژنراتور در حال سنکرون نباشند.

2-11- بار گذاری ژنراتور

فرآیند راه اندازی توربوژنراتورها به جز در موارد سنکرون کردن، روابط فازها و گرم نمودن اولیه⁵⁰، مقدماً با توجه به شرایط محرک اولیه تعیین می‌شود و چنین فرآیندی معمولاً از دستورالعمل‌های سازنده و تجربه بهره بردار نتیجه می‌شود.

وقتی که یک ژنراتور بار ایزوله ای را به تنهایی تغذیه می‌کند، نرخ تغییر توان مکانیکی ژنراتور منحصراً به نرخ ورود و خروج بارها بستگی داشته و گاورنر باید طوری

⁵⁰-Preheating



تنظیم شود که سرعت نامی را حفظ کند. در این نوع سیستم، ضریب قدرت ژنراتور و قدرت اکتیو و راکتیو از طریق تقاضای بار تعیین می‌شود.

در سیستمی که بوسیله چند توربوژنراتور موازی تغذیه می‌شود، مقدار توان الکتریکی تولیدی توسط هر ژنراتور به گشتاور مکانیکی اعمال شده به آن بستگی داشته و این گشتاور از طریق توربین تولید و بوسیله گاورنر کنترل می‌شود. تقسیم بار اکتیو (کیلووات) بین ژنراتورها عملاً مستقل از تحریک است، اگر چه تقسیم توان راکتیو (کیلووار) بین ژنراتورها تابعی از تحریک است. روابط و محدودیت های بار گذاری اکتیو و راکتیو ژنراتورها قبلاً ارائه شده است.

توانایی هر ژنراتور در پیروی و انطباق با تغییرات بار اکتیو، منحصراً توسط حساسیت و سرعت پاسخ دهی گاورنر توربین مشخص می‌شود. گاورنر ممکن است به یک مبدل سرعت الکتریکی مجهز شده و برای کنترل دستی یا اتوماتیک فرکانس آرایش یافته باشد.

2-12- خارج کردن ژنراتورها از مدار

مشابه حالت راه اندازی، فرآیند های توقف یا خروج از مدار توربوژنراتورها هم با توجه به شرایط محرک اولیه تعیین می‌شود. راه اندازی و توقف متناوب و پیاپی، وظیفه سنگینی برای ژنراتور بوده و باید به عنوان عاملی در عمر مورد انتظار سیم پیچی و قسمت های مکانیک گردان در نظر گرفته شود. فرآیند خروج از مدار معمولاً توسط سفارشات سازنده و تجربه های بهره بردار تعیین می‌شود.



2-13- نظارت، مدیریت و حفاظت

برای دستیابی به مدیریت و حفاظت کافی و جلوگیری از خرابی یا حداقل کرن خرابی احتمالی ژنراتور، رله های حفاظتی وجود دارند که اعلام خطر نموده و یا در صورتی که یک واحد به محدودیت های مشخصی برسد آن را از مدار خارج می نمایند. به همراه این رله های حفاظتی وسایل دیگری برای نظارت وضعیت ژنراتور و سیستم های جانبی آن و تجهیزات بکار می روند. میزان نظارت و حفاظت ممکن است به عواملی مانند عمر ژنراتور، نوع، مقادیر نامی و اهمیت آن در سیستم بستگی داشته باشد. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد *IEEE C37.102- 1987* مراجعه شود.

2-13-1- نظارت

وضعیت ژنراتورها باید همیشه معلوم باشد. وضعیت ژنراتور را از طریق نظارت بر پارامتر های خاص آن و پارامتر های سیستم جانبی به شرح زیر، مشخص می نمایند:

1- بار اکتیو

2- بار اکتیو

3- ولتاژ تحریک

4- جریان تحریک

5- نوع زمین تحریک

6- دمای تحریک

7- درجه خلوص هیدروژن

8- میزان رطوبت هیدروژن

Power Plant Academy



9- اختلاف فشار روغن

10- فشار گاز

11- دمای گاز ورودی و خروجی خنک کننده های هیدروژن

12- دمای آب ورودی و خروجی خنک کننده های هیدروژن

13- مصرف هیدروژن

14- ولتاژ استاتور

15- جریان استاتور

16- فرکانس

17- دمای RTD استاتور

18- دمای خنک کننده در حالتی که سیم پیچ استاتور مستقیماً خنک می شوند.

19- گردش آب (روغن) خنک کننده استاتور

20- فشار آب (روغن) خنک کننده استاتور در ورودی ژنراتور

21- دمای آب (روغن) خنک کننده استاتور در ورودی و خروجی ژنراتور

22- هدایت آب (روغن) خنک کننده استاتور

23- دمای (روغن) ورودی و خروجی خنک کننده ها

24- دمای محافظ انتهایی (صفحه انگشتی)

25- دمای یاتاقان ها

26- دمای روغن آب بندی



27- فشار روغن آب بندی

انحراف از این شاخص ها نشانه پائین آمدن رتبه ماشین یا سیستم های جانبی از مقدار مورد نظر است و بهره بردار را به اتخاذ تصمیم اصلاحی مناسب قادر می سازد. ارزیابی بلادرنگ^{۵۱} این پارامتر ها از طریق سیستم خبره می تواند وضعیت غیرعادی را سریعاً مشخص سازد و بهره بردار را از خرابی احتمالی ژنراتور آگاه کند. سپس با انجام عملیات اصلاحی، از صدمه دیدن ژنراتور جلوگیری می شود.

2-14- حفاظت از سیم پیچ استاتور و روتور

برای تدارک مقدمات خروج از مدار ژنراتور، تخلیه انرژی تحریک، و در اکثر حالات صدور فرمان قطع شیرهای متوقف کننده توربین، تجهیزات حفاظتی برای سیم پیچ های استاتور و روتور در نظر گرفته می شود.

این تجهیزات عموماً برای شرایط زیر در نظر گرفته می شوند:

1- خطاهای پشت کلید های قدرت ژنراتور

2- خطاهای بین ژنراتور و کلیدهای قدرت آن

3- خطاهای داخلی ژنراتور

4- بهره برداری در شرایط غیرعادی^{۵۲}

5- آتش سوزی در ژنراتور (مواردی که با هوا خنک می شوند)

6- از دست دادن تحریک

⁵¹-On Line

⁵²-Out-of-Step



7- جریان توالی منفی گذرا

برای محدود نمودن تحت شرایط خطای نامتعادل کوتاه مدت به بخش مربوط به اتصال

کوتاه در استاندارد *ANSI C50.13- 1989* مراجعه شود.

1-14-2- سایر حفاظت های ژنراتور

تجهیزات آشکارساز خطا اغلب برای وضعیت های زیر و نیز تعداد زیادی از وضعیت های مذکور در بندهای قسمت 3-2-6-1 اعلام خطر نموده و یا به ژنراتور فرمان قطع می دهند:

1- جریان زیاد استاتور و روتور

2- بهره برداری در حالت ماندگار با جریان نامتعادل

3- نسبت ولت بر هر تزی خیلی زیاد

4- لرزش زیاد

5- شکست در عایق یاتاقان

6- دمای زیاد یاتاقان

7- بهره برداری فراتر از حد زیر تحریک

8- از دست رفتن آب گردش خنک کننده استاتور

9- هدایت بالای آب خنک کننده استاتور

10- بهره برداری در حالت برگشت توان



11- دماهای داخلی زیاد

12- تمرکز ذرات گاز هیدروژن

1-15-2 بهره برداری از ژنراتور در شرایط نامتعادلی بار

بهره برداری از یک ژنراتور با جریانهای نامتعادل، موجب تولید جریان های توالی منفی (I_2) در سیم پیچهای استاتور می گردد، که به نوبه خود در سطوح روتور و در گوه های آن جریانهایی را القا می کند. فرکانس این جریانها دو برابر فرکانس نامی ژنراتور (100 هرتز برای ماشین 50 هرتز) بوده و اندازه آنها نه تنها به عدم تعادل بین جریان های آرمیچر بلکه به مقادیر حقیقی آنها نیز بستگی دارد. جریان های توالی منفی ممکن است در طول گوه ها، سطح دندانه ها از

Power Plant Academy



گوه ها به دندانه ها، در عرض گوه ها، در اطراف بدنه روتور به داخل رینگ نگهدارنده و در سیم پیچ میرا کننده (در صورت وجود) جاری شوند. علاوه بر گرمای ایجاد شده در سطح روتور، در محل اتصال گوه ها و رینگ نگهدارنده گرما ایجاد می شود.

در شکل (2-7) منحنی هایی برای محاسبه جریان توالی منفی و با فرض معلوم بودن دامنه های سه جریان نامتعادل آرمیچر، نشان داده شده است. یک روش ساده و مفید برای محاسبه مؤلفه جریان با مقدار عدم تعادل کوچک این است که جریان توالی فاز مثبت تقریباً میانگین جریانهای سه فاز است و جریان توالی فاز منفی دو سوم حداکثر انحراف از هر جریان فاز نسبت به میانگین است. میزان قابلیت واقعی در حین عدم تعادل، حالت ماندگار و در حالت بروز خطا به وضوح در استاندارد *ANSI C50.13-1989* مشخص شده است. تنوع سیستم یا شرایط باری مانند بارهای نامتعادل، خطوط انتقال جابجا نشده یا کاملاً جابجا نشده و وجود عدم تعادل در بارهای جانبی نیروگاه علل ایجاد جریانهای مؤلفه منفی هستند.

2-15-2 بهره برداری در شرایط فوق اضطراری

تحت شرایط فوق اضطراری ممکن است سیستم قدرت تحت اغتشاشات بزرگی در ولتاژ، جریان، نوسان قدرت و فرکانس قرار گرفته و حتی تعدادی از ژنراتورهای آن سنکرونیزم خود را با سیستم قدرت از دست بدهند، تصمیم گیری سریع در مورد اینکه چگونه و چه وقت یک ژنراتور مشخص را از سیستم خارج کند ممکن است برای بهره بردار ضروری باشد. با ادامه در مدار بودن ژنراتور در سیستم، بهره بردار سیستم قدرت



را پشتیبانی نموده و احتمالاً از فروپاشی آن جلوگیری می‌کند ولی به دلیل احتمال خسارت دیدن تجهیزات، یک ریسک غیرمعمول انجام شده است. زیرا غیرممکن است که همه حالات احتمالی که شرایط اضطراری را بوجود می‌آورد پیش بینی شود. و همچنین غیرممکن است که خطرات ناشی از عکس العمل دو یا تعداد بیشتری از تنش های همزمان را کم کرد.

با توجه به روابط پیچیده و عوامل زیاد موجود، توصیه می‌شود که برای هر واحد تولید خاص، دستورالعمل هایی برای چنین وضعیت هایی فراهم گردد.

این دستورالعمل ها باید نتیجه تحقیقات دقیق در مورد اثرات بهره برداری در شرایط فوق اضطراری بوده و نه تنها براساس مشورت با کاربران تجهیزات بلکه (در جائیکه ممکن است)، براساس نتایج آزمایشهای غیرمخرب مرکب بر روی واحدهای حقیقی و وسایل جانبی آن باشد، این آزمایش ها برای تعیین شرایط حدی خاص انجام می‌شود. انجام چنین آزمایش هایی ممکن است مشکل باشد، زیرا بعنوان مثال وسایلی حرارتی مرسوم ممکن است تغییرات سریع دما را نتواند دنبال کند و یا در نواحی که تحت شرایط غیرطبیعی قرار دارند ممکن است محدود شوند.

همچنین برای شناسایی تعدادی از نقاط که تحت تنش های بحرانی هستند، وسیله ای وجود ندارد.

در صورت پذیرش ریسک بهره برداری از ژنراتور در بالاتر از مقادیر نامی، باید به موارد زیر به دقت توجه شود.



1- مدت زمان

2- عدم تعادل فاز و ولتاژ استاتور

3- فرکانس

4- نسبت ولت بر هرتز

5- جریان استاتور

6- ولتاژ تحریک

7- جریان تحریک

8- خروجی تنظیم کننده ولتاژ

9- خروجی تحریک کننده

10- پارامترهای قابل مشاهده و نرخ های افزایش

11- حدود پایداری

12- حدود لرزش

13- شرایط بازگشت توان

همچنین باید به مشخصات ترانسفورماتورهای اصلی، کمکی و تجهیزات جانبی نیروگاه

توجه شود. و همچنین به نحوه استفاده دستگاهها خصوصاً آنهاییکه تحت تأثیر ولتاژ و

فرکانس کم واقع می شوند، توجه گردد. (برای رسیدن به حداقل خطر در روند بهره

برداری اضطراری) ممکن است نیاز به در نظر گرفتن شرایط تشدید پره و توربین در

سرعت های غیرنامی نیز باشد.



مدت زمان وقوع شرایط اضطراری سیستم، نظیر زمانی که پارامترهای بهره برداری به سرعت تغییر می‌کند، تجهیزات تنظیم اتوماتیک (شامل حفاظت ولت بر هرتز) باید همیشه در سرویس باشد.

2-15-3 بهره برداری در شرایط خروج از سنکرونیسم (با حفظ تحریک)

در شرایط خروج از سنکرونیسم با حفظ تحریک در حین بهره برداری از ژنراتور شرایط بسیار سختی حاصل می‌گردد. در این شرایط جریانهای موجی سنگین در سیم پیچ آرمیچر ایجاد می‌شود دامنه این جریانها می‌تواند از قابلیت تجهیزات مربوط به اتصال کوتاه ژنراتور (به *ANSI C50.13- 1989* مراجعه شود) فراتر رود و خرابیهای جدی برای سیم پیچ به بار آورد. تحت این شرایط گشتاورهای منفی بوجود می‌آید که این گشتاورها در قسمت های زیادی از واحد، تنش های مکانیکی بالا بوجود می‌آورند. دامنه این گشتاورها چندین برابر دامنه گشتاور نامی است.

ولتاژها و جریانهای القایی زیاد در مدار تحریک می‌تواند باعث جرقه زدن رینگ های کلکتور و کموتاتور مدار تحریک مربوطه شده و به سیستم ها و اجزای تحریک استاتیک آسیب برساند.

2-15-4 بهره برداری در شرایطی که مدار تحریک زمین شده است

معمولاً سیم پیچ روتور و کل مدار تغذیه تحریک آن به صورت یک سیستم کاملاً ایزوله از زمین عمل می‌کند. در چنین سیستمی وجود یک اتصال زمین در هر نقطه از سیستم تداخلی با بهره برداری عادی از ژنراتور نخواهد داشت. وجود این اتصال زمین را



با یک رله زمین مناسب و اعلام خطر می توان آشکار کرد. براساس تحقیقات انجام شده منطقی است که پس از اتصال زمین اولیه ژنراتور از مدار خارج شده و مشکل بلافاصله دفع گردد.

اگر اتصال زمین اولیه در نقطه ای از سیم پیچ روتور ژنراتور ظاهر شد، زمین شدن ثانویه در مدار تحریک ممکن است خطرناک باشد. هنگامیکه دو نقطه زمین شده باشد، قسمتی از سیم پیچ تحریک از طریق محور فورج شده روتور بهم مرتبط شود. این وضعیت باعث ایجاد یک عدم تعادل مغناطیسی یا حرارتی می شود که باعث نوسانات شدیدی می گردد و در صورتیکه به مدت زیاد ادامه داشته باشد، به شکست روتور منجر خواهد شد.

حفاظت از دست دادن تحریک به آشکارسازی اتصال زمین دوگانه در روتور یا آشکارسازی حلقه های اتصالی آن و یا به حفاظت ژنراتور در مقابل خطرات از چنین حالاتی وابسته نیست. دلیل این موضوع، طراحی رله ها برای آشکارسازی قدرت راکتیو زیر تحریک در ترمینالهای ژنراتور می باشد. یک اتصال زمین دوگانه جدی و یا حتی حلقه های اتصالی زمین نشده در روتور می تواند باعث تغییرات کوچکی در توان راکتیو خروجی شود، که این تغییرات با عملکرد تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ جبران خواهد شد. حتی اتصال کوتاه شدن قسمت اعظم حلقه های روتور ممکن است تحریک را به حد کافی جهت آشکارسازی خطا با تنظیم رله از دست دادن تحریک، کاهش ندهد.



2-16- از دست دادن تحریک^{۵۳}

از دست دادن کامل تحریک یک ژنراتور در حال کار، اضافه گرمای خطرناکی در روتور بوجود می آورد. مقدار داغی به میزان بار اولیه ژنراتور، نوع قطع جریان تحریک، روش بروز اضافه سرعت و عملکرد ژنراتور بصورت ژنراتور القایی، بستگی دارد. این اضافه سرعت با توجه به مشخصات گاورنر توربین باعث کاهش بار و به دلیل ولتاژ کم در ترمینال های ژنراتور باعث عبور زیاد جریان در استاتور می گردد و این وضعیت با عبور جریانهای زیاد در روتور نیز همراه است. این جریانها از طریق سیم پیچ روتور (اگر مدار تحریک باز نشده باشد) و از میان بدنه روتور جاری می شود و مدار در انتهای بدنه روتور کامل می گردد.

از آنجا که وضعیت از دست دادن تحریک به بهره برداری در حالت زیر تحریک بسیار شبیه است، در قسمت های انتهایی هسته استاتور ممکن است اضافه حرارت بوجود آید.

بعضی از بهره برداران از یک رله مخصوص از دست دادن تحریک که در شرایط خاص با صدور فرمان قطع به کلید قدرت و نیز به شیرهای توقف توربین، سیستم را متوقف می کند، استفاده می کنند. در حالیکه سایر بهره برداران فقط رله اعلام خطر مربوط به این وضعیت را دارند. وقتی که هیچکدام از این دو رله موجود نباشد بهره بردار باید وضعیت را درک نموده و واحد را به صورت دستی قطع نماید.

⁵³-Loss of Field



در چنین وضعیت هایی باید با مد نظر قرار دادن طول دوره زمانی فقدان تحریک و انحراف از سرعت سنکرون محاسبه شده و قبل از باز گرداندن واحد به سرویس، از روتور بازدید به عمل آید.

تقریباً همواره از دست دادن باعث قطع واحد می گردد. در چنین وضعیت هایی اکیداً توصیه می شود که دلیل قطع قبل از اعمال مجدد و لتاژ تحریک مشخص شود. حفاظت مربوط به از دست دادن تحریک در استاندارد *ANSI C37.102- 1987* ارائه شده است.

2-17- پیش گرم نمودن میدان^{۵۴}

گاهی اوقات به منظور کاهش حساسیت روتور نسبت به شکنندگی ممکن است قسمت فورج شد، روتور هنگام راه اندازی یا پیش از آزمایش اضافه سرعت گرم شود. در صورت نیاز این عمل باید مطابق سفارشات سازنده باشد.

در واحد های بزرگ قدیمی تر، جهت به حداقل رساندن تغییر شکل سیم پیچی روتور که ناشی از عکس العمل نیروی گریز از مرکز و انبساط و انقباض در اثر تغییرات دما می باشد، تحریک گرم می شود. در هر حالت خاص، کاربر باید در مورد نیاز به گرم کردن تحریک با سازنده مشورت کند. اگر لازم است که روتور با اعمال جریان تحریک گرم شود، باید از برقراری محدوده مجاز ولت بر هر تژ ژنراتور یا هر ترانسفورماتور متصل به آن، اطمینان حاصل شود.

⁵⁴-Preheating

2-18- افزایش لحظه ای⁵⁵ تحریک توسط تنظیم کننده ولتاژ

بعضی از بهره برداران برای بهبود پایداری و قابلیت اطمینان سیستم، از تنظیم کننده های سریع ولتاژ با عملکرد پیوسته و با تحریکهایی که دارای سقف ولتاژ بالا هستند استفاده می کنند. زمانیکه ولتاژ سیستم به مدت طولانی کاهش یافته است، این وسیله اتوماتیک می تواند یک اضافه بار مخرب به هر دو سیستم تحریک و آرمیچر تحمیل کند. برای تعیین حداکثر زمان مجاز اضافه بار یک واحد خاص باید با سازنده مشورت شود. برای حس کردن اضافه بار در انتهای این زمان و باز گرداندن ژنراتور به حداکثر بار مجاز پیوسته باید تجهیزات اتوماتیک تدارک شود.

2-19- موتوری شدن توربوژنراتورها در سرعت سنکرون

2-19-1- موتوری شدن با تحریک کنترل شده

وقتی که توان تحویلی توربین کمتر از تلفات مجموعه توربین - ژنراتور باشد، ژنراتور برای حفظ سنکرونیسم با سیستم از آن توان دریافت می کند (بازگشت توان). در این وضعیت، ژنراتور به صورت موتور سنکرون عمل می کند و در صورت حفظ تحریک مناسب، خنک کنندگی و روغنکاری یاتاقان، هیچ گونه خطری ژنراتور را تهدید نمی کند.

2-19-2- موتوری شدن با تحریک ناقص

اگر بخار ورودی توربین در حالی که کیلوولت آمپر نامی در ضریب قدرت نامی به سیستم تحویل می شود، از دست برود جریان تحریک ژنراتور در مقدار بار نامی خواهد بود. با از دست دادن توان توربین، اگر تحریک در مقدار بار نامی بماند ژنراتور توان

⁵⁵-Field Forcing



راکتیو (پیش فاز) فوق تحریک نامی را بدون هیچ تغییری در ولتاژ ترمینال به باس بی نهایت تحویل می‌دهد. البته در یک سیستم قدرت نوعی، ولتاژ ترمینال ژنراتور، علیرغم بار گذاری توان راکتیو اولیه، افزایش خواهد یافت. مقدار افزایش ولتاژ به امپدانس های سیستم و عکس العمل سایر منابع توان راکتیو (معمولاً سایر ژنراتورها) در مقابل اغتشاش ولتاژ، بستگی خواهد داشت. در ژنراتوری که قدرت توربین آن از دست رفته است، ولتاژ های ترمینال بالاتر از 150 درصد مقدار نامی به راحتی تولید می‌شود.

سایر ژنراتورهای متصل به سیستم ممکن است ولتاژ ترمینال بالا یا پایین داشته باشند و ممکن است در ناحیه زیر تحریک (پس فاز) منحنی قابلیت راکتیو قرار گیرند (شکل 2-4) را ببینید). برای بار گذاری اولیه کمتر از مقدار نامی، جریان تحریک کمتر از جریان تحریک بار نامی خواهد شد و اثر سیستم و سایر ژنراتورها نسبتاً کم خواهد بود.





3-1- بار گذاری هیدروژنراتورها

3-1-1-ارتباط بار و دمای استاتور و میدان

مقادیر نامی خروجی و شرایط بهره برداری نامی که از ژنراتورها برای آن طراحی شده است روی پلاک نامی آن حک می شود.

وقتی که شرایط خروجی الکتریکی و ماده خنک کنندگی ژنراتورهای مطابق مقادیر روی پلاک باشد، اکثریت آنها به مقدار افزایش دمای تضمین شده ای که روبروی پلاک مشاهده به تنهایی پایه طراحی را تشکیل نمی دهد. عواملی نظیر دمای نقطه داغ، استقامت فلزات و مواد عایقی، اندازه نیروهای ناشی از انبساط گرمایی و لرزش، حاشیه های ایمنی، قابلیت اعتماد و دقت پیش بینی طرح را تحت تأثیر قرار می دهد. بنابراین در یک طراحی همه جانبه، افزایش دمای سیم پیچ استاتور و سیم پیچ میدان در بار نامی می تواند چندین درجه زیر مقدار تضمینی باشد. (برای اینکه ژنراتور عمر مورد انتظار را داشته و بهره برداری از آن بدون اشکال باشد).

اگر عملیات حرارتی^{۵۶} در چند نقطه از استاتور و روتور و در ولتاژ نامی صورت گیرد، می توان افزایش دمای قابل مشاهده را بر حسب مربع جریان استاتور و میدان رسم نمود. منحنی های حاصله همانگونه که در شکل (3-1) نشان داده شده است تقریباً مشابه یک خط مستقیم هستند و بنابراین یک راهنمای بهره برداری مناسب را برای تخمین افزایش دما و دمای کل در بارها و شرایط خنک کنندگی مختلف فراهم می کنند.



3-1-2 بار گذاری با مقادیر نامی

بار گذاری برای حصول حداکثر عمر مورد انتظار ژنراتور صورت می گیرد و به نحوی است که حداقل تغییرات دما در پایین ترین سطح دمای عملی ایجاد گردد.

در شرایط بار گذاری متغیر این عمل فقط برای ژنراتورهای با سیکل خنک کاری بسته آب - هوا که دبی آب خنک کننده آن قابل تنظیم است، ممکن می باشد. قابلیت تنظیم آب خنک کننده برای تنظیم دمای هوای سرد می باشد، بطوریکه با شرایط سازگار شده و تغییرات دمای سیم پیچی را کاهش دهد. این تنظیم ممکن است بصورت فصلی صورت گیرد. زیرا معمولاً در دوره هایی که دمای آب خنک کننده بالاست نمی توان دبی آب را به حدی افزایش داد که دمای سیم پیچی را در حداکثر بار بطور ثابت نگه داشت. ژنراتورهای با سیکل خنک کاری باز معمولاً وسیله ای برای کنترل دمای هوای درونی ندارند، لیکن بحث اخیر برای ماشین هایی است که ابزاری برای گردش مجدد هوا در آن وجود دارد.

- منحنی های مشخصه ژنراتور برای تعیین رابطه بین جریان تحریک و تنظیم مورد نیاز بار و برای جلوگیری از اضافه بار فراتر از مقدار نامی ماشین مفید می باشند. منحنی

های نوعی در شکل های (3-2)، (3-3) و (3-4) نشان داده شده اند.

منحنی های اشباع (شکل 3-2) ارتباط بین ولتاژ ترمینال، جریان استاتور و جریان

میدان را بیان کنید. منحنی های مشخصات بار ۷ شکل (شکل 3-3) ارتباط بین توان ظاهری

و جریان میدان را در ضریب توان های متفاوت و ولتاژ نامی نشان می دهد.



منحنی قابلیت (شکل 3-4) رابطه توان اکتیو و توان را کتیو ژنراتور را برای نواحی

مختلف بیان می کند.

3-1-2- بار گذاری - روابط توان اکتیو و راکتیو

در سیستمی که چندین ژنراتور به صورت موازی در حال کار باشند، تغییر جریان

تحریک یک ژنراتور باعث تغییر توان راکتیو تولید شده توسط آن ژنراتور می شود.

شکل (3-1): افزایش نمونه ای دما نسبت به مجذور جریان استاتور و میدان

منحنی های مشخصه نمونه ای ارتباط بین بار تولیدی با ضریب قدرت در شکل (3-4)

نشان داده شده اند. مطابق این منحنی ها هنگامیکه یک ژنراتور در ضریب توانی کمتر از

ضریب توان نامی (فوق تحریک) کار می کند، خروجی ژنراتور از طریق گرمای میدان و

حد اکثر جریان تحریک مجاز محدود می شود.

در ناحیه زیر تحریک قابلیت تغذیه تحریک صفر و منفی سیستم تحریک باید محدود

شود. حد پایداری نهایی⁵⁷ برای بهره برداری زیر تحریک با ملاحظه پایداری سیستم

تحریک، توسط سازنده مشخص می شود.

ارتباط بین توان اکتیو و توان راکتیو هم از منحنی قابلیت ژنراتور روی شکل (3-4)

مشخص است. ناحیه داخل منحنی، ناحیه بهره برداری مجاز را که در آن باز مقادیر نامی

ژنراتور تجاوز نشده و متناسب با گرمای روتور و استاتور می باشد، تشکیل می دهد.



منحنی های مشخصه و بارگذاری مجاز هر ژنراتور معلوم می باشند. بنابراین توصیه می شود که منحنی های کاری هر ژنراتور خاص از کتابچه راهنما یا از طریق سازنده بدست آیند.

- وقتی که بهره برداری از ژنراتور در شرایط نامی میسر نباشد، شرایط ویژه ای برای بهره برداری بوجود می آید. به منظور به حداقل رساندن خطر بهره برداری پیوسته^{۵۸} در شرایط گذرا، باید داده های نامی مناسب به عنوان یک مرجع در دسترس بهره بردار باشد.

مقادیر حدی توان، توان راکتیو، ولتاژ و ضریب قدرت نیز باید به منظور جلوگیری از اضافه گرما و ناپایداری، تهیه شود.

3-I-3- بارگذاری خارج از مقادیر پلاک نامی ژنراتور

ممکن است که ضروری باشد که ژنراتور در شرایط زیر کار کند:

(1) در کیلوولت آمپر نامی اما ولتاژ غیر نامی (به استاندارد ANSI C50.12-1965 مراجعه شود).

(2) در کیلوولت آمپر نامی اما فرکانس غیر نامی (استاندارد ANSI C50.12-1965

برای این وضعیت تهیه نشده است).

(3) بالای کیلوولت آمپر نامی ولی با ولتاژ و فرکانس معمولی (به استاندارد ANSI

C50.12-1965 مراجعه شود).



(4) ترکیبی از (I) و (3)

(5) شرایط غیر عادی کوتاه مدت (به استاندارد ANSI C50.12-1965 مراجعه

شود).

- کلیه ژنراتورهایی که مطابق استاندارد ANSI C50.12-1965 ساخته شده اند، با یک تغییر ولتاژ 5 درصدی بالا یا پایین مقدار عادی قابل بهره برداری در کیلوولت آمپر نامی هستند. اگر بهره برداری فراتر از این حدود ضروری باشد، باید با سازنده مشورت شود.

بهره برداری در فرکانس غیر نامی کاملاً غیر معمول است و تغییرات بزرگ (بزرگتر از 2 درصد از فرکانس نامی) باید با سازنده مطرح شود.

هیدروژن ژنراتورهای بزرگ ولتاژ بالا ساخته شده که برای کلاس عایقی B و افزایش دمای 60 درجه سانتی گراد مطابق استاندارد ANSI C50.12-1965 ساخته شده اند می توانند تا 115 درصد بار در در ضریب قدرت، فرکانس و ولتاژ نامی، با افزایش دمای استاتور و روتور بیشتر از حد طبیعی بهره برداری شوند. برای این بهره برداری توصیه می شود که در دمای محیط تا آنجا که ممکن است پایین نگه داشته شود تا از حداکثر شدن عمر عایقی اطمینان حاصل شود، البته این به حداقل باید 10 درجه سانتی گراد باشد.



3-2- ملاحظات بهره برداری از هیدروژنراتورها

- کلیات

در این قسمت از استاندارد، روشی عملی برای بهره برداری از هیدروژنراتورها ارائه

می شود.

- شرایط بهره برداری

بهره برداری از یک هیدروژنراتور ملاحظه عوامل متعددی را می طلبد که تعدادی از

این عوامل عبارتند از:

- دمای سیم پیچ استاتور

شاخصه های سیم پیچ استاتور و ثبت نمودن مداوم گزارش دمای واحد، مفید است. هر

رفتاری که نشانه فاصله گرفتن از عملکرد در دمای قبلی است، نشانه تغییر در شرایط

ماشین بوده و موضوع باید بررسی گردد.

وسایلی که برای اندازه گیری دمای سیم پیچ استاتور توسط آشکار ساز مقاومت در

تابلوی⁵⁹ مربوطه بکار می روند، بر اساس تغییر مقاومت عنصر آشکار ساز عمل کرده و

ممکن است برای ثبت دائمی دمای تعداد زیادی از آشکار سازها ساخته شوند. دما را روی

یک اندازه گیر⁶⁰ مشترک که به منظور اتصال با RTD های مجزا دارای یک کلید انتخاب

است، نشان می دهند. معمولاً که ثباتهای چندتایی به همراه کنتاکت های اعلام خطر قابل

تنظیم بکار می رود.

Switchboard⁵⁹
Meter⁶⁰



3-2-1- دمای سیم پیچ تحریک

بهره برداری در ضریب قدرتی کمتر از مقدار نامی و در ناحیه فوق تحریک بوسیله دمای سیم پیچ روتور محدود می شود. در این ناحیه با توجه به محدودیت اخیر بهره برداری در کیلوولت آمپر نامی از ژنراتور محقق نمی شود. در هر روش بهره برداری این محدودیت باید در نظر گرفته شود.

3-2-2- دمای هسته استاتور

گاهی اوقات بهره برداری در ناحیه زیر تحریک بوسیله اضافه حرارت منتهی الیه دو طرف هسته استاتور و جاییکه دماها توسط آشکارسازهای معمولی دمای سیم پیچ استاتور آشکار نمی شوند، محدود می گردد. اضافه حرارت زیاد در اطراف هسته ژنراتورهایی که دارای انگشتی های کلمپینگ⁶¹ مغناطیسی هستند، بیشتر روی می دهد. لیکن در تعدادی از ژنراتورها که دارای انگشتی های غیر مغناطیسی هستند، تمرکز شار در اطراف حلقه های انتهایی استاتور ممکن است منجر به گرم شدن نامطلوب هسته شود. در صورت نیاز به بهره برداری طولانی مدت ژنراتور در ناحیه زیر تحریک، باید تغییرات حرارتی صورت گرفته در دمای انتهای هسته تحت نظر باشد.

Power Plant Academy

دمای حلقه کلکتور

عملکرد جاروبک ها و حلقه کلکتور به دمای حلقه کلکتور وابسته است. بنابراین برای

آشکار سازی دمای غیر عادی انجام کنترل های دوره ای توصیه می شود.

⁶¹ Clmping



ثبت دمای تحریک هم می تواند در آشکار سازی مشکلات جاروبک حلقه کلکتور مفید

باشد.

- انبساط دیفرانسیلی استاتور

قابلیت سیم پیچ استاتور نه تنها بوسیله دمای کلی و لرزش سیم پیچ بلکه توسط اثرات انبساط دیفرانسیلی بین پیچک ها و هسته استاتور نیز محدود می شود. انبساط دیفرانسیلی تابعی از دمای کلی سیم پیچ و هسته است. این عامل در ژنراتور هایی که هسته طویل دارند (بزرگتر از 178 سانتی متر) بحرانی تر است. در طی تغییرات بار، دمای مس سریعتر از دمای هسته تغییر می کند و بنابراین مشکل انبساط حرارتی اهمیت بیشتری می یابد.⁶² بهتر است که حداکثر بار بگونه ای محدود شود که انبساط دیفرانسیلی را کاهش داده و تغییرات بار به آهستگی انجام شود، بطوریکه انبساط دیفرانسیلی حداقل گردد.

تغییرات دوره ای⁶³ در انبساط دیفرانسیلی ممکن است منجر به خرابی عایق پیچک استاتور و گاهی اوقات باعث لقی هسته استاتور یا حرکت آن شود و بنابراین به نگهداری بیشتری نیاز داشته باشد.

منحنی های نمونه ای بهره برداری ژنراتور در شکل (3-4) نشان داده شده اند. منحنی های مشابهی که قابل کاربرد برای یک ژنراتور خاص هستند باید بعنوان راهنمای بهره برداری از آن ژنراتور خاص بکار روند.

Accentuating⁶²
Frequent Variation⁶³



بهره برداری از ژنراتور ممکن است متناظر با منحنی های قابلیت انجام شود. این منحنی ها با استفاده از وسایلی که قدرت (بر حسب توان)، قدرت راکتیو (بر حسب ولت آمپر و در صورت دسترسی جریان تحریک (بر حسب آمپر) را اندازه گیرند، بدست می آید. معمولاً ژنراتور ها بین ضریب توان نامی فوق تحریک و ضریب توان واحد کار می کنند. چون در این محدوده گرمای سیم پیچ استاتور بار تولیدی را محدود می کند، کنترل توسط ولتاژ ترمینال و جریان خط انجام می شود.

ژنراتورهای جریان متناوب استاندارد را می توان در بار کیلوولت آمپر نامی و با ولتاژ ترمینالی که در محدوده پنج درصد مقدار نامی است، بصورت مناسبی در دماهای ایمن بهره برداری نمود.

3-2-3 روش تعیین حدود فوق تحریک و زیر تحریک

قسمت فوق تحریک منحنی قابلیت در ناحیه بین خطوط ضریب توان واحد و ضریب توان نامی توسط افزایش دمای سیم پیچ استاتور مشخص می شود. ناحیه فوق تحریک بین خطوط ضریب توان نامی و ضریب توان صفر بوسیله افزایش دمای سیم پیچ میدان تعیین می شود.

3-2-4 روش محاسبه پایداری سیستم

حد پایداری سیستم و منحنی مربوطه (شکل (3-4)) به طریق زیر قابل محاسبه است:
منحنی زاویه توان در حالت ماندگار (شکل (3-4)) یک ژنراتور که از طریق یک راکتانس سری نظیر راکتانس ترانسفورماتور و یا راکتانس کوچک خط به یک باسبار



بینهایت متصل است، مطابق رابطه (I) می باشد. این حالت معمول ترین وضعیت ترمینال است. پیداری حالت ماندگار برای شرایط ترمینال نظیر یک بار موتور القایی بزرگ یا پایداری گذرا فراتر از دامنه کاربرد این استاندارد بوده و برای بررسی این وضعیت ها باید به مراجع مربوط مراجعه شود.

که در رابطه فوق:

P : توان بر حسب پریونیت (بطوریکه کیلوولت آمپر نامی برابر یک پریونیت است).
ولتاژ تحریک بر حسب پریونیت برابر تحریک واقعی به تحریک در ولتاژ نامی روی خط فاصله هوایی.

ولتاژ سیستم بر حسب پریونیت.

راکتانس سنکرون محور طولی بر حسب پریونیت.

راکتانس سنکرون محور عرضی بر حسب پریونیت.

راکتانس بین ماشین و باس بینهایت بر حسب پریونیت.

زاویه بین

مطابق رابطه (I) قابلیت زیر تحریک حالت ماندگار با کاهش تحریک به کسری از

مقدار بی باری میل می کند چنانچه پیک منحنی زاویه - توان به خروجی توربین نزدیک

شود، محدوده اغتشاشات کوچک سیستم به صفر می رسد.



قابلیت های گذرا ممکن است به عملکرد لحظه ای فراتر از این نقطه اجازه دهند، لیکن بدون رساندن تحریک و یا ولتاژ ترمینال به وضعیت پایدار ماندگار، عملکرد دائمی در این محدوده مجاز نمی باشد.

در تحریک صفر، با توجه به اثر برجستگی قطب ها (عبارت دوم معادله) بار تولیدی اندکی را می توان تحویل داد. وقتی که این قابلیت در سیستم تحریک وجود داشته باشد، می توان تحریک منفی کمی بکار برد ولی زمانیکه عبارت اولی معادله، مساوی و مخالف عبارت دوم باشد، ژنراتور بدون هیچ توان ورودی اضافه ای یک لغزش قطبی خواهد داشت و کنترل های تحریک، آن را به سقف منفی هدایت می کنند. در چنین شرایطی چاره ای جز قطع واحد و راه اندازی مجدد آن وجود ندارد.

متأسفانه توربین، در مقادیر خروجی خیلی کم غیر یکنواخت عمل می کند، بطوریکه تحریک منفی، شرایط بهره برداری رضایت بخشی را فراهم نمی کند. وسایل تحریک حداقل باید مطابق دستورالعمل های سازنده تنظیم شوند بگونه ای که برای موقعیت های عادی مقداری حاشیه دائمی ایجاد کنند.

3-2-5 بهره برداری در 115 درصد مقدار نامی

هیدروژنراتورهای بزرگ ولتاژ بالا و واحدهای موتور-ژنراتور قابل برگشت^{۶۴} که مطابق استاندارد 1965 ANSI C50.12 ساخته شده اند، می توانند در 115 درصد بار و در ضریب قدرت، فرکانس و ولتاژ نامی کار کنند، و افزایش دمایی بیشتر از استانداردهای

⁶⁴ Reversible



معمولی داشته باشند. در برخی حالات ممکن است مقادیر افزایش دمای سیم پیچ استاتور و روتور، در مرحله قرارداد^{۶۵} موافقت شود.

هنگامی که از ژنراتور با بارهای بیشتر از مقادیر نامی بهره برداری می شود، به منظور به حداکثر رساندن عمر مفید ژنراتور توصیه می شود که با استفاده از حداکثر آب خنک کنندگی، دمای محیط تا آنجا که ممکن است پایین نگه داشته شود.

3-2-6-ارتباط اضافه بار و کاهش عمر عایق

بهره برداری در شرایط اضافه باری با دمای بالاتر از مقادیری که در استانداردهای مربوطه مشخص شده اند، می تواند سبب کاهش قابل ملاحظه عمر سرویس دهی ژنراتور شود.

علاوه بر دما، عمر سیستم عایقی تحت تأثیر عوامل دیگری نظیر تنش های مکانیکی و الکتریکی، لرزش، رطوبت، خواص شیمیایی و غیره هم قرار می گیرد.

بجز دما عوامل دیگر معادل فرض می شوند، لیکن افول دمایی^{۶۶} با افزایش دما شتاب می گیرد. عمر اکثر مواد عایقی مورد استفاده در هیدروژن ژنراتورها در دامنه محدودی از دماها یک تابع نمایی از عکس دمای مطلق بهره برداری است. برای توضیحات بیشتر به

استاندارد *IEEE std 1 1969* مراجعه شود.

⁶⁵ Contractual Stage
⁶⁶ Thermal Degradation



3-2-7-یاتاقانها

عامل مهم دیگری که در بهره برداری از یک هیدروژنراتور باید مدنظر قرار گیرد، عملکرد یاتاقانهای آن است.

پرداختن به همه جزئیات نگهداری و بهره برداری یاتاقانهای تر است بدلیل هماهنگی دقیق^{۶۷} با اجزای دیگر در طراحی مکانیکی هیدروژنراتور و نیز انواع ویژه ای که توسط سازنده تحویل داده می شود، غیر عملی است.

پیروی دقیق از راهنماییها و دستورالعمل های سازنده از اهمیت بسزایی برخوردار است. یاتاقان تر است در ملاحظات مکانیکی هیدروژنراتور عمودی مهم ترین مورد است و توجه زیادی به طراحی و ساخت آن مبذول گردیده تا از سرویس دهی مطمئن و مفید آن، اطمینان حاصل شود.

انواع اصلی یاتاقان تر است که در هیدروژنراتورهای عمودی بکار می روند عبارتند از: کفشک محوری قابل تنظیم^{۶۸}، کفشک محوری خود متعادل کننده^{۶۹}، محیطی و فنری حمایت شده^{۷۰} یاتاقان تر است تکیه گاهی برای وزن قسمت های گردان ژنراتور و توربین بعلاوه بار تحمیلی توسط آب عبوری از توربین هیدرولیک می باشد. اجزای اصلی یاتاقان تر است محرک گردان^{۷۱} و کفشک های ساکی هستند. محرک بار را از طریق یک جسم کروی بهنام بلوک تراست دریافت می کند. بسته به نوع هیدروژنراتور، بلوک

⁶⁷ Close Coordination

⁶⁸ Adjustable Pivoted Shoe

⁶⁹ Self Equalizing Pivoted Shoe

⁷⁰ Spring Supported

⁷¹ Rotating Runner



تراست را به محور جوش داده یا نصب می کنند. مورد اخیر برای پیاده سازی ماشین مناسب تر است.

ملاحظات بهره برداری و نگهداری کلیه یاتاقانهای تراست عبارتند از:

- 1) استفاده از روغن گریس کاری مشخص
 - 2) ابقاء تمیزی روغن تمیز و عاری بودن آن از آلودگی
 - 3) ابقاء سطح مناسب روغن
 - 4) بررسی های دوره ای عایق یاتاقان
 - 5) ابقاء دبی محیط خنک کننده
 - 6) دمای یاتاقانها
- در طول دوره راه اندازی تمیز نگه داشتن روغن از اهمیت ویژه ای برای یاتاقانهای مجهز به سیستم روغن کاری فشار بالا برخوردار است. زیرا روغن مستقیماً به مرکز کفشک یاتاقان تزریق می شود و ذرات خارجی کوچک می توانند به داخل لایه روغن رانده شوند.

اکثر ژنراتورهای عمودی به شاخص های سطح پایین و سطح بالای روغن مجهز هستند که این شاخص ها در صورت مناسب نبودن سطح روغن اعلام خطر نموده یا واحد را از مدار خارج می کنند. سطح بالای روغن معمولاً از نشت آب خنک کننده روغن که روی مخزن قرار دارد، ناشی می شود همچنین نشت روغن در خنک کننده می تواند باعث



پایین آوردن سطح روغن شود. این حالت زمانی است که لوله آب تخلیه چنان آرایش داده شده باشد که در خنک کننده مکش ایجاد شود.

عایق یاتاقان تراست که در پایه آن قرار دارد، به منظور جلوگیری از گردش مخرب جریان از طریق یاتاقانها می باشد. منبع اصلی چنین جریانهایی ولتاژ القایی محور است. این ولتاژها اغلب نتیجه عدم تقارن در مدار مغناطیسی ژنراتور می باشد. در اثر عدم تقارن مدار مغناطیسی، روی محور شار نشتی خالص ایجاد شده که تغییرات زمانی آن موجب القاء ولتاژ بر روی محور می شود. فرکانس شار نشتی این ولتاژ چند برابر فرکانس سیستم بوده و دامنه آنها معمولاً از پنج ولت کمتر است. اگر یک مسیر پیوسته کم امیدانس از دو انتهای محور و از طریق یاتاقانها و پایه موجود باشد، جریان تولید شده توسط ولتاژ محور ممکن است مقدار بالایی داشته باشد و برای آسیب رساندن به یاتاقان کافی باشد. معمولاً برای بررسی مقاومت عایقی یاتاقان ترمینال هایی روی پل آن ایجاد می شوند. ژنراتورهایی که بالای روتور هیچ یاتاقانی ندارند، به عایق یاتاقان نیازی ندارند. البته هر وسیله^{۷۲} یا تجهیز بالای ژنراتور که در تماس با محور است باید عایق گردد.

در صورت نیاز به پیاده سازی ژنراتور، یاتاقان تراست باید توسط افراد باتجربه و مطابق سفارشات سازنده پیاده شود. ضمناً بجز یاتاقانهای خود متعادل کننده و فنی حمایت شده، بار روی همه کفشک های قطاعی باید به صورت مساوی تقسیم شود.



بعد از راه اندازی ژنراتور و گردش اولیه، دمای عملکرد یاتاقانها معمولاً در مقدار ثابتی باقی می ماند و این دما بطور جزئی با تغییر دمای آب خنک کننده تغییر خواهد نمود. هر افزایش دمای عملکرد یاتاقان می تواند نشانه تماس یک فلز با یاتاقان باشد که این تماس ممکن است باعث خرابی یاتاقان، خرابی سیستم خنک کنندگی یا تراست هیدرولیک شود و موضوع هرچه سریعتر باید بررسی شود.

3-3-1 راه اندازی هیدروژنراتور و بار گذاری آن

در این قسمت الزاماً دستورات کامل مربوط به راه اندازی هیدروژنراتورها توصیف نشده است، لیکن تعدادی از ملاحظات مهم این مرحله از بهره برداری بررسی می شود.

3-3-2 راه اندازی معمولی

در راه اندازی سریع ژنراتور به منظور ایجاد یک نوار نازک روغن باید گشتاور شتاب دهنده کافی (باز کردن دریچه های توربین) اعمال شود. نرخ افزایش سرعت تا سرعت کامل فقط به توربین هیدرولیک وابسته بوده و به ژنراتور وابستگی زیادی ندارد.

ژنراتورهایی نظیر راه انداز سنکرون یک واحد ژنراتور-موتور (پمپ کننده - ذخیره کننده^{۷۳}) که یاتاقان تراست مجهز به یک سیستم روغنکاری فشار بالا دارند، معمولاً به

کندی راه اندازی می شوند.

در ژنراتورهایی که روش خنک کنندگی و تحریک متفاوت است، ترتیب استفاده از تجهیزات کمکی باید مطابق سفارشات سازنده باشد. توالی هایی مانند آزادسازی ترمزها،

⁷³ Pumped storage



تأمین لایه روغن فشار بالا برای یاتاقان تراست و در برخی موارد راه اندازی جریان ملایم آب و گذر آب مثال هایی از تجهیزات کمکی فوق الذکر هستند.

هنگامیکه ژنراتور جدیدی برای اولین بار راه اندازی می شود، و یا راه اندازپیس از یک تعمیرات مربوط به سنکرونیزاسیون صورت می گیرد، باید صحت توالی فازها بررسی شود.

سنکرون کردن ژنراتور باید به دقت انجام شود. این مسأله که طراحی ژنراتور به گونه ای باشد که جریان ها و نیروهای مکانیکی ناشی از توالی فاز ناصحیح یا سنکرون کرن نادرست را تحمل نکند، الزاماً در استانداردها وجود ندارد. بطور کلی، دقت سنکرونیزاسیون باید چنان باشد که زاویه فاز بین ژنراتور و ولتاژ باس در لحظه وصل کلید سنکرون کننده بیشتر از 15 درجه نباشد. علاوه بر زمان بستن کلید، تفاوت فرکانس ژنراتور و باس نیز باید مدنظر قرار گیرد. بهتر است که در لحظه سنکرون نمودن زاویه ژنراتور نسبت به زاویه باس پیش فاز باشد.

3-3-3- راه اندازی اضطراری

تحت شرایط عادی بعد از این که بار ژنراتور به صفر رسید از مدار خارج شده و از سیستم قطع می گردد. راه اندازی اضطراری، راه اندازی بلافاصله بعد از خروج عادی ژنراتور از مدار یا خروج آن در اثر عملکرد رله های حفاظتی است.



مسأله اصلی در مورد راه اندازی اضطراری یک هیدروژنراتور، عملکرد یاتاقان تراست است. وقتی که یاتاقان تراست به سیستم روغنکاری با روغن فشار بالا مجهز نباشد، باید از راه اندازی مجدد ژنراتور بلافاصله پس از خروج از مدار آن و پس از عملکردی طولانی و درحالی که یاتاقان داغ شده است، خودداری شود. روغن داغ یا سطوح تغییر شکل یافته کفشک، ممکن است با تأمین لایه روغن تداخل داشته باشند. تعدادی از یاتاقانهای تراست، قبل از راه اندازی مجدد هیدروژنراتور باید به مدت یک یا دو ساعت خنک شوند. برای دسترسی به دستور العمل های ویژه مربوطه باید با سازنده مشورت شود. اخطارهای راه اندازی واحدی که یاتاقان تراست آن داغ است به واحدی که مجهز به سیستم روغنکاری فشار بالا می باشد مربوط نمی شود، زیرا در واحدهای اخیر یک لایه روغن با بکارگیری روغن فشار بالا بین سطح کفشک یاتاقان و محرک یاتاقان برقرار می شود.

3-3-4- راه اندازی بعد از تعمیرات اساسی یا خاموشی^{۷۴}

بعد از یک خروج طولانی مدت ژنراتور و قبل از راه اندازی، انجام یک بازدید کامل از ژنراتور و تجهیزات مربوطه منطقی است.

کنترل عملکرد تجهیزات جانبی مانند کلیدهای قدرت، رله های حفاظتی، شیرهای کنترل آب، ترمزها و وسایل مشابه را باید مدنظر قرار داد. این کنترل در بازگرداندن سریع ژنراتور جهت سرویس دهی قابل اطمینان مفید است. باید از سیم پیچ ژنراتور



آزمایش به عمل آید تا از رضایت بخش بودن مقاومت عایق آن اطمینان حاصل شود یا در صورت نیاز قبل از انرژی دار کردن ژنراتور سیم پیچ خشک گردد.

اگر واحد به سیستم روغن کاری فشار بالا مجهز نباشد، باید با استفاده از جک، یاتاقان تراست را بلند نموده و قبل از راه اندازی یک لایه روغن روی کفشک های یاتاقان و محرک ایجاد گردد.

آزمایش های مقاومت عایقی سیم پیچ را می توان به عنوان نشانه وضعیت عایق ژنراتور و مناسب بودن آن برای آزمایش دی الکتریک یا بهره برداری معمولی در نظر گرفت. نتایج آزمایش مقاومت عایقی را می توان برای تعیین ضرورت خشک کردن سیم پیچ قبل از انجام آزمایش دی الکتریک یا بهره برداری از ژنراتور بکار برد.

این آزمایش ها برای مستند نمودن تاریخچه مقاومت عایق سیم پیچ مفیدترین عمل هستند. آزمایش های دوره ای که در یک دمای ثابت سیم پیچ انجام می شود، در تشخیص خرابی پیش رونده یا غیرمعمول عایق ژنراتور مفید می باشند. همچنین این آزمایش ها به عنوان راهنمایی برای تعیین سطح مقاومت عایقی مطلوب یک ژنراتور که ممکن است یک دوره خاموشی وسیع داشته باشد مورد استفاده قرار می گیرند.

(1) روند انجام آزمایش های مقاومت عایقی در استاندارد *IEEE std 43 1961*، تشریح شده است.

(2) پس از خشک شدن سیم پیچ روند مشروح در استاندارد *NEMA MG 5.2*، 1972، باید دنبال شود.



اگر مناسب بودن سیم پیچ مورد تردید باشد، ممکن است یک آزمایش دی الکتریک انجام شود. سیم پیچی ممکن است با استفاده از تجهیزات ولتاژ بالای DC یا AC آزمایش شود. ولتاژ اعمالی در آزمایش دی الکتریک باید مطابق استاندارد *IEEE std 56-1958 (ANSI C50.25- 1972)* باشد و روش انجام آزمایش دی الکتریک باید با استاندارد *IEEE std 113-1973* هماهنگ باشد.

3-5- نرخ های بار گذاری پیشنهادی

هیدروژنراتورها قادر به دنبال کردن سریع تغییرات بار بوده و در تنظیمات آن انعطاف پذیری زیادی وجود دارد. اگر سیستم از هیدروژنراتور تقاضای بار نماید، هیدروژنراتور می تواند به سرعت و تنها با محدودیت عمل گاورنر، توربین هیدرولیک و شرایط هیدرولیکی بار گذاری شود.

نرخ تغییر دمای پیچک های استاتور و میدان و اثر آن روی عایق نکته اول در نرخ بار گذاری هیدروژنراتور است.

یک روش محتاطانه در بار گذاری ژنراتور اعمال بار به صورت پله - پله است چنان که در 45 تا 60 دقیقه بعد از اعمال بار اولیه، به مقدار نامی برسد. این کار باعث افزایش منطقی گرمای ژنراتور به صورت دائمی و توزیع شده می شود و شوک حرارتی وارده به بخش های مجزای ژنراتور را کاهش می دهد. با بکارگیری روش محتاطانه برای بار گذاری ژنراتور، عمر عملکرد سیم پیچ های ژنراتور افزایش می یابد. این فرآیند برای



بهره برداری در شرایط عادی سفارش می شود. روش ایده آل بهره برداری از یک ژنراتور ابقاء دائمی بار و دمای نسبتاً ثابت سیم پیچی ها است.

3-6- ترمز کردن ژنراتور و متوقف نمودن آن

مشابه حالت راه اندازی، فرآیندهای توقف و خروج از مدار هیدروژنراتور متأثر از شرایط توربین هیدرولیک است.

3-6-1- توقف عادی

توقف عادی بعد از اینکه بار از روی ژنراتور برداشته و ژنراتور از سیستم ایزوله شد، انجام می شود. درجه های توربین هیدرولیک بسته شده و سرعت ژنراتور تا 20 الی 50 درصد مقدار نامی کاهش می یابد. سپس ترمزها بطور اتوماتیک وبصورت پیوسته یا با قطع و وصل در فواصل 10 ثانیه، عمل می کنند. وقتی که واحد با ترمز کردن تقریباً به 10 درصد سرعت نامی خود رسید، ترمزها بطور پیوسته اعمال می شوند تا واحد کاملاً متوقف گردد. در ژنراتورهای مجهز به تحریک کننده های اتصال مستقیم معمولاً با اعمال تحریک میدان (ترمزهای میدان تحریک اصلی در طول دوره توقف کامل بسته می مانند) کاهش می یابد.

برای جلوگیری از لغزش، ترمزها باید در طول دوره خروج از مدار ژنراتور انرژی دار باقی بمانند. ژنراتورها را می توان به آشکارسازهای لغزش مجهز نمود تا در صورت بروز این وضعیت آن را آشکار کنند.



در ژنراتورهای مجهز به سیستم روغن کاری فشار بالا روی یاتاقان تراست مجهز هستند، معمولاً پس از اینکه سرعت ژنراتور 25 تا 30 درصد افت کرد. این سیستم راه اندازی شده و تا توقف کامل ژنراتور، عمل می کند. نکته مهم در مورد عملکرد ترمز، نگهداری دوره ای آن است تا از تجمع باقیمانده فرسایش سطح کفش ترمز روی قسمت های داخلی ژنراتور جلوگیری شود. معمولاً از آنجا که مکانیزم های حلقه ترمز و کفش آن داخل ژنراتور جای داده شده اند مقداری از باقیمانده فرسایش سطح کفش ترمز توسط فن های روتور جدا شده و به سیم پیچ های ژنراتور وارد می شود. اگر این مواد به مدت طولانی در سیم پیچی ژنراتور جمع شوند، به سیستم خنک کنندگی سیم پیچ ژنراتور آسیب می رسانند.

3-6-2-توقف اضطراری

توقف اضطراری که معمولاً با عملکرد رله های حفاظتی شروع می شود با عکس العمل آنی بار و بستن سریع دریچه های توربین همراه می شود. زمان بستن دریچه توربین تابعی از تنظیمات گاورنر، افزایش فشار مجاز تجهیز^{۷۵} و سایر ملاحظات هیدرولیک است. ترمزها برای حالت توقف معمولی ژنراتور عمل می کنند. توقف اضطراری ژنراتورهایی با توربین هایی نظیر فرانسیس^{۷۶} یا کاپلن^{۷۷} با هد بالا^{۷۸}، آسان است، چون پس از بستن دریچه های ورودی توربین، آب موجود در آن به توقف آن کمک می کند. برای کمک به

⁷⁵ Penstock
⁷⁶ Francis
⁷⁷ Kaplan
⁷⁸ High-Head



توقف یک توربین پلتون^{۷۹}، ممکن است آن را به یک جت^{۸۰} ترمزی مجهز کنند، البته زمان توقف این واحد معمولاً طولانی تر از زمان توقف سایر توربین های هیدرولیک است.

3-6-3- عملکرد ترمزها و جک ها^{۸۱}

در هیدروژنراتورهای عمودی، عمل ترمز کردن و جک کردن اغلب با یک وسیله صورت می گیرد. عملکرد ترمزی با استفاده از هوای فشرده و فشاری در حدود 100 Psi انجام می شود. در شرایط بهره برداری معمولی، ترمز کردن یک عملکرد اتوماتیک بوده که در آغاز توسط کلیدهای سریع روی ژنراتور انجام می شود.

جک هیدروژنراتور از روغن تغذیه شده از پمپ دستی یا پمپ موتوری، استفاده می کند. با آزاد گذاشتن جک ها به روغن اجازه داده می شود که به چاهک^{۸۲} روغن بازگردد. دستورالعمل های سازنده حداکثر جابجایی^{۸۳} مجاز جک نسبت به روتور را بیان می کند. این مقدار نسبتاً کوچک بوده (در حدود $9/5$ میلی متر) و بنابراین هنگام جک نمودن روتور، به منظور جلوگیری از خرابی ژنراتور، باید به این موضوع دقت شود.

3-6-4- ترمز کردن دینامیکی هیدروژنراتور

در صورت نیاز به توقف خیلی سریع ژنراتور، آن را به صورت دینامیکی ترمز می کنند. ترمز کردن دینامیکی ژنراتور به وسیله بار گذاری آن با یک بار مقاومتی صورت می گیرد. بعد از اینکه واحد از سیستم جدا شد و مقدمات خروج از مدار ژنراتور آماده

⁷⁹ Pelton
⁸⁰ Jet
⁸¹ Jacks
⁸² Sump
⁸³ Lift

گردید. انرژی گردشی ژنراتور در بار مقاومتی متصل به ترمینال های آن تلف می شود. نرخ کاهش سرعت ژنراتور تابعی از مقدار بار مقاومتی و مشخصات ژنراتور مربوطه است. *** کاربرد ترمز دینامیکی برای یک و *** ژنراتور، انجام تغییرات سریع در تولید برای ایجاد شرایط پمپی در سیستم پمپ - ذخیره می باشد. نیروهای الکتریکی مربوط به ترمز دینامیکی کوچکتر از نیروهای اتصال کوتاه بوده و در محدوده قابلیت ژنراتور هستند. همچنین با استفاده از ترمز دینامیکی با کنترل نرخ واگرایی نوسانات گذرای توان سیستم، پایداری هیدروژنراتور بهبود می یابد. به این صورت که در حین اتصال ژنراتور به سیستم و موقعی که اغتشاشات سیستم افزایش می یابد، بار مقاومتی اضافی به ژنراتور متصل می شود.

3-7- افت بار و شتاب گرفتن

مشخصات بهره برداری هیدروژنراتور تحت شرایط افت بار و شتاب گیری به وسیله مشخصات توربین هیدرولیک، تنظیمات گاورنر و ممان اینرسی WR^2 (نصب شده، تعیین می شود. اگر هیدروژنراتور طوری طراحی شود که در مقابل سرعت فرار توربین مقاومت کند، بهره برداری طولانی مدت در این سرعت نامطلوب بوده و باید از آن خودداری شود. تحت شرایط افت بار معمولی در ژنراتور، گاورنر عمل می کند تا درجه های توربین را به سرعت ببندد و سرعت ژنراتور را زیر سرعت فرار کامل حفظ کند. در صورت بروز عیب در گاورنر یا دریچه سد، دریچه تنظیم آب باید بسته شود تا از فرار دائمی جلوگیری گردد.



3-8- نظارت⁸⁵ اتوماتیک و حفاظت از هیدروژنراتور

هیدروژنراتورها برای نظارت اتوماتیک و کامل وضعیت مناسبی دارند. اگرچه محدوده مقادیر نامی هیدروژنراتورها از قبیل توان ظاهری (کیلو ولت آمپر)، ولتاژ (ولت)، نرخ دوران (دور بر دقیقه)، ضریب قدرت و سایر مشخصات بسیار وسیع است، لیکن قابلیت اطمینان ذاتی ساختار آن و بهره برداری از آن، کنترل اتوماتیک و از راه دور را عملی می سازد.

وسایل حفاظتی مناسبی در دسترس است که از آسیب دیدن ژنراتور تحت کلیه شرایط بهره برداری جلوگیری کرده و یا خرابی حاصله را به حداقل می رسانند. این وسایل به گونه ای تنظیم شده اند که در صورتیکه با محدودیت های ویژه ای از بهره برداری تلاقی صورت گیرد، اعلام خطر نموده یا خروج از مدار اضطراری را فراهم کنند. حد حفاظت مطلوب یک ژنراتور خاص به عواملی مانند اهمیت ژنراتور، عمر، نوع و مقادیر نامی آن بستگی دارد. معمولاً یک مصالحه مناسب بین این عوامل انجام می شود.

وسایل حفاظتی مربوط به سیم پیچ استاتور که خروج اولیه ژنراتور سیستم را فراهم می کنند، انرژی تحریک را تخلیه نموده و در برخی حالات خروج از مدار سریع توربین

هیدرولیک هم برای شرایط زیر فراهم می شود:

(1) خطاهای متعادل و نامتعادل در طرف دیگر کلید قدرت ژنراتور (عملکرد رله

پشتیبان).

(2) خطاهای متعادل و نامتعادل تا کلید قدرت و شامل آن.

⁸⁵ Supervision Automatic



3) شکست عایق سیم پیچی.

وسایل حفاظتی سیم پیچ میدان که ممکن است برای خروج اولیه ژنراتور از سیستم یا

برای اعلام خطر به کار می روند فقط برای شرایط زیر فراهم می شوند:

1) سیم پیچ میدان مدار باز شده (رله از دست دادن میدان).

2) سیم پیچ میدان اتصال کوتاه شده (رله لرزش زیاد).

3) مدار میدان زمین شده.

سایر شرایطی که ممکن است ژنراتور از سیستم جدا شده یا فقط اعلام خطر صورت

گیرد، عبارتند از:

1) اضافه جریان در استاتور یا میدان.

2) دمای زیاد در استاتور یا میدان.

3) اضافه ولتاژ در استاتور ژنراتور.

4) اضافه ولتاژ در میدان.

5) عدم تعادل مفرط در جریان استاتور (توالی منفی).

6) عدم تعادل مفرط در مدارهای موازی استاتور.

7) آتش سوزی.

8) از دست دادن آب خنک کننده برای خنک کننده های هوا یا روغن یا هر دو.

9) اضافه دمای یاتاقانها.

10) اضافه دما در هوای خنک کننده.



11) سطح بالا یا پایین روغن در یاتاقانها.

12) لرزش ژنراتور.

3-9- وضعیت های غیر معمول یا خطرناک بهره برداری

بهره برداری از ژنراتور تحت شرایط غیر معمولی زیر به ملاحظه دقیق عملکرد آن نیاز دارد و در صورت نیاز، برای جلوگیری از آسیب دیدگی ژنراتور باید آن را فوراً از مدار خارج نمود.

3-10- بار نامتعادل

جریان های نامتعادل استاتور ممکن است ناشی از یک بار نامتعادل، ولتاژهای القایی نامتعادل در استاتور یا یک خط انتقال نامتعادل طویل بین ژنراتور و بار آن باشد. اگر جریانهای نامتعادل به مدت طولانی در استاتور جاری شوند، یا خطایی که مقدار آن بزرگتر از 40 است، روی داده باشد باید از اتصالات سیم پیچ میراکننده و مفاصل قطب و انتهای دوم چلچله ای⁸⁶ بازدید به عمل آید. تا در صورت وقوع خرابی، معین شود. بویژه این بازدید در ژنراتورهایی که دارای سیم پیچ های میراکننده ناپیوسته هستند، از اهمیت بسزایی برخوردار است.

3-11- بهره برداری در شرایط قطع کلاف های استاتور

تعدادی از ژنراتورها را در حالیکه یک یا تعداد بیشتری از کلافهای آنها قطع یا از مدار خارج شده است، می توان به صورت موفقیت آمیزی بهره برداری نمود. ژنراتورهای با سرعت کمتر، دارای چند صد پیچک بوده و در هر مدار موازی دارای تعداد زیادی

⁸⁶ Dowetail

پیچک هستند و حتی اگر 8 الی 10 عدد تا از آنها قطع شود، به صورت رضایت بخشی کار می کنند. لیکن باید توجه داشت که حالت اخیر به صورت گذرا بوده و نظارت باید به دقت صورت گیرد. در این شرایط لرزش استاتور و روتور افزایش یافته و باید به دقت بررسی شود. کشش مغناطیسی نامتعادل ممکن است باعث کشیده شدن یا سر خوردگی بیش از حد معمول روتور به یک سمت شده و اثرات احتمالی متعاقبی روی یاتاقانهای راهنما⁸⁷ داشته باشد.

3-12- بهره برداری در شرایط قطع مسیرهای سیم پیچی

در تعداد کمی از ژنراتورها با قطع مسیر سیم پیچی، بهره برداری موفقیت آمیز ممکن است صورت گیرد. طبیعتاً تنها در ژنراتورهایی که در هر فاز دارای مسیرهای متعدد هستند، این عملکرد مجاز است. چنین وضعیتی از بهره برداری تنها زمانی ادامه می یابد که مشکلات نگهداری اجباری از تعمیرات سریع جلوگیری کند. برای دسترسی به شرایط تعادل در ترانسفورماتورهای جریان تعدادی از رله های دیفرانسیل دارای سیم پیچی شکاف دار⁸⁸، ممکن است به ترانسفورماتورهای جریان کمکی نیاز باشد

3-13- بهره برداری در شرایط آسنکرون (با حفظ تحریک)

مخرب ترین وضعیت برای واحد، بهره برداری از پنراتور خارج از حالت سنکرونیزم با بخشی از تحریک یا تمام آن است.

⁸⁷ Guide Bearing

⁸⁸ Some Split Winding Differentials Relay Schem



بهره برداری تحت این شرایط جریان های ضربه ای سنگین در سیم پیچ های استاتور تولید می کند که ممکن است دامنه آنها از شرایط اتصال کوتاه ژنراتور که در استاندارد ANSI C50.12-1965 مشخص شده اند فراتر رفته و خرابی جدی در سیم پیچ به بار آورد. در این حالت از بهره برداری، گشتاوردها و تنش های مکانیکی چند برابر مقدار نامی در قسمت های زیادی از ژنراتور تولید می شود.

جریانها و ولتاژهای القایی زیاد در میدان می تواند باعث تولید جرقه در حلقه های کلکتور و کموتاتور تحریک کننده شود. اگر چه آشکار سازی وضعیت خروج از سنکرونیسم مشکل است، لیکن به دلایل فوق الذکر این وضعیت باید فوراً آشکار شده و اصلاح لازم صورت گیرد. عمل اصلاحی ممکن خارج نمودن واحد از سیستم است.

3-14- از دست دادن تحریک میدان

از دست دادن کامل تحریک یک ژنراتور در شرایطی که از مدار خارج نشده است، باعث ایجاد حرارت بسیار زیاد در روتور در یک زمان خیلی کوتاه می شود. میزان حرارت به بار اولیه ژنراتور و وضعیت اتصال ژنراتور به سیستم بستگی دارد. با از دست رفتن تحریک، ژنراتور به افزایش سرعت تمایل داشته و به صورت ژنراتور القایی عمل می کند. این افزایش سرعت با توجه به مشخصه های گاورنر توربین باید کاهش یابد و به دلیل ولتاژ پایین در ترمینالهای استاتور باعث افزایش جریان استاتور و در نهایت جریان زیاد روتور می شود. جریان های روتور از طریق سیم پیچ تحریک (فرضاً مدار تحریک باز



نشده است) و همچنین از طریق سیم پیچ میرا کننده و کفشک های قطب^{۸۹} روتور جاری می شوند. جریانهای سیم پیچ میرا کننده و کفشک های قطب روتور در زمان خیلی کوتاهی باعث ایجاد دماهای زیاد (و احتمالاً خطرناکی) می شوند. تعدادی از کاربران از یک رله از دست دادن تحریک استفاده می کنند تا با قطع کردن کلید قدرت ژنراتور آن را از سیستم جدا کنند و در برخی حالات شیرهای ورودی آب توربین یا دریچه های آن را هم ببندد، این در حالی است که سایر کارگران تنها از یک اعلام خطر برای نشان دادن این وضعیت استفاده می کنند. باز گرداندن شیرهای آب ورودی توربین یا دریچه های آن به وضعیت مربوط به سرعت بی باری و با پیروی از بررسی های محتاطانه، می توان سیستم تحریک را مسترد کرده و ژنراتور را دوباره سنکرون نمود.

وقتی که هیچ یک از مسائل فرمان قطع در حالت از دست رفتن میدان و اعلام خطر این وضعیت موجود نباشد، بهره بردار باید این وضعیت را تشخیص داده (درک کند) و عمل رله فوق را به صورت دستی انجام دهد. اگر وضعیت از دادن تحریک مدت زمان زیادی دوام داشته باشد، در نزدیک ترین فرصت ممکن باید از روتور بازدید شود.

3-15- بهره برداری در شرایط اتصال زمین سیم پیچ تحریک

معمولاً سیم پیچ تحریک و کل مدار تغذیه آن به صورت یک سیستم کاملاً ایزوله از زمین عمل می کند. در چنین سیستم زمین نشده ای وجود یک اتصال زمین در هر نقطه از سیستم حالتی غیر عادی برای بهره برداری محسوب می شود. وجود اتصال زمین را می توان توسط رله زمین مناسب و با اعلام خطر، آشکار سازی و مشخص کرد. در صورت

⁸⁹ Pole Faces

مشاهده این وضعیت، منطقی است که ژنراتور از مدار خارج شده و مشکل بلافاصله حل شود. اگر اتصال زمین اولیه در برخی از نقاط سیم پیچ میدان ظاهر شد، دومین اتصال زمین در مدار تحریک می تواند مخرب باشد. زمانی که یک اتصال زمین دوگانه به وجود آید، قسمتی از سیم پیچ میدان از میان محور فورج شده و اجزای قطب اتصال کوتاه می شود. این وضعیت باعث ایجاد یک عدم تعادل مغناطیسی یا گرمایی یا هر دو می شود که شدت آنها ممکن است به حدی باشد که در صورت تداوم، یک لرزش مخرب در ژنراتور ایجاد کند.

رله حفاظت قطع تحریک نمی تواند در این حالت فرمان قطع به ژنراتور بدهد زیرا:

- (1) عملکرد آن بر اساس اصل توان راکتیو است.
- (2) به عدم تعادل مغناطیسی یا گرمایی ایجاد شده در روتور یا لرزش حاصله حساس نیست.
- (3) تغییر توان راکتیو ناشی از اتصال کوتاه جزئی تحریک ممکن است برای به کار انداختن رله از دست دادن تحریک کافی نباشد.

3-16- وارد آمدن نیرو به تحریک توسط تنظیم کننده ولتاژ

تعدادی از کارگران برای بهبود کارگری سیستم قدرت تنظیم کننده های پاسخ سریع ولتاژ با عملکرد پیوسته را به همراه تحریک کننده هایی که ولتاژ سقف بالا دارند، به کار می برند. در زمانی که ولتاژ سیستم گسترش یافته کم شده است، این تجهیز اتوماتیک می تواند اضافه ولتاژ خطرناک و سیم پیچ تحریک و آرمیچر وارد کند. برای هر حالت



ویژه، حداکثر زمانی مجاز اضافه باری را باید با مشورت با سازنده تعیین نمود. با به کار گیری وسایل اتوماتیک باید افزایش اضافه بار را تا انتهای این زمان مرتفع نموده و سیستم را به حداکثر بار مجاز آن باز گرداند.

3-17- بهره برداری در محیط سرد

وقتی که جریان ژنراتور از مقدار نامی فراتر رفت، افزایش اختلاف دمای نقطه داغ و آشکار ساز دما باید ملاحظه شود. پایین نگه داشتن دمای محیط، باعث کاهش دمای کلی سیم پیچها در همه ی بارها، تغییر شکل کمتری قسمت های فلزی و خشک شدن کمتر عایق ها می شود. گاهی اوقات در ژنراتورهای خنک شونده با هوا که از بیرون تغذیه می شوند، کنترل سریع دمای خنک کننده سرد عملی نیست، به این معنی که در دمای پایین محیط، ممکن است کنترل گردش هوای خنک کننده به منظور جلوگیری از انقباض سطوحی از ژنراتور که در معرض هوای گرم قرار دارند، ضروری باشد. در ژنراتورهای سیکل بسته، تنظیم گردش آب خالص ورودی به مبدل حرارتی مفید است به طوریکه باعث کم شدن دمای خنک کننده سرد نسبت به مقدار معمولی می گردد. (در این استاندارد عبارت آب خالص برای نام گذاری آب به کار رفته برای دفع حرارت از مبدل های حرارتی استعمال می شود). نقاط کنترل در تنظیم اتوماتیک یا دستی، باید مطابق دستور العمل های سازنده انتخاب شوند. باید توجه شود که دماهای خیلی پایین خنک کننده سرد ممکن است برای تعدادی از سیستم های عایقی مضر بوده و اثرات نامطلوبی روی تعادل مکانیکی واحد به وجود آورد. با در نظر گرفتن تلفات کمتر ژنراتور در



بارهای کم، تغییر دمای نقاط داغ ژنراتور با تغییر دمای محیط و به طور معکوس با بار کم خواهد شد. این روش بهره برداری باعث ذخیره آب خنک کننده در بارهای کم می شود. برای اینکه کلیه قسمت های یک ژنراتور باز خنک شوند با هوا در دماهای ایمنی قرار گیرند، باید در زمان ژنراتور از مدار خارج است هیتر های ژنراتور روشن شوند. پس از اتصال ژنراتور به بار و گرم شدن آن در اثر تلفات، اینهیترها باید از سرویس خارج شوند. اگر دمای منبع آب خالص زیر دمای نامی می باشد، باید دقت شود که از انقباض بیش از حد جلوگیری گردد. اگر نقطه شبنم هوای خنک بالاتر از دمای ماده خنک کننده باشد، این انقباض می تواند به وجود آید. برای جلوگیری از بروز این وضعیت، از یک سیستم گردش مجدد^{۹۰} برای افزایش دمای آب خالص استفاده می شود. خشک کننده هایی از نوع جاذب رطوبت^{۹۱} در دسترس اند که می توان آنها را به مدار خنک کننده گی ژنراتور وصل نمود و برای خشک کردن هوا تحت هر فشاری مناسب هستند. در این خشک کننده ها یک جاذب رطوبت، رطوبت را جذب کرده و آنرا خارج از سیستم خنک کنندگی منتقل می کند. تعدادی از بهره برداران، برای نظارت دائمی نقطه شبنم، سباط هایی نسب می کنند که در صورت نیاز اعلام خطر می کنند. هنگام استفاده از خنک کننده هایی که دمای خیلی پایین دارند باید دقت شود که تغییر ناگهانی بار، هوای خنک کنندگی را به نقطه شبنم نرساند.

⁹⁰ Recirculation
⁹¹ Dehumidifying



18-3- خطرات بهره برداری در طول نصب اولیه

موارد زیر باید طی دوره نصب اولیه به دقت مشاهده گردند.

قدرت دی الکتریک عایق باید بررسی شود، به ویژه میزان رطوبت با بررسی مقاومت عایق و آزمایش های جذب دی الکتریک (اندیس پلاریزاسیون) ملاحظه شود. معمولاً قبل از بهره برداری از ژنراتور آزمایش های مطمئن یا مورد قبول ولتاژ بالا انجام می شوند. در صورت نیاز ژنراتور را باید با استفاده از هیترها یا جریان کنترل شده با ولتاژ کم خشک نمود.

در صورت نیاز عدم تعادل روتور باید اندازه گیری شده و با اضافه نمودن وزنه های تعادلی مناسب اصلاح گردد.

لرزش ژنراتور به منظور اطمینان از قرار گرفتن در محدوده عادی باید مشاهده شود. دماهای نقاط مختلف ژنراتور اعم از سیم پیچ استاتور، سیم پیچ روتور و روغن نرم کننده یا تاقان باید بررسی (مشاهده) گردد. اگر یکی از دماها خارج از محدوده عادی باشد، باید عمل کرد خنک کننده، انسداد احتمالی مسیرهای تهویه و عملکرد سیستم روغن کاری بررسی شود.

به منظور تشخیص خرابی های مکانیکی احتمالی یا لقی اجزا، نویزهای غیر معمول باید بررسی شوند و در صورت نیاز برای جلوگیری از آسیب دیدگی بیشتر فوراً اصلاح شوند.

19-3- سیستم های خنک کننده

در ژنراتورهای دارای سیستم خنک کننده، ملاحظات زیر باید مد نظر قرار گیرند.



3-19-1- پر کردن اولیه خنک کننده ها

هنگامی که خنک کننده برای اولین بار پر می شوند، گردش آب خالص باید چنان کنترل شود که کل خنک کننده تهویه شده و با آبی پر شود که نرخ ورود آن در محدوده فشار طراحی بوده و ضربه چکشی هم مد نظر قرار گیرد.

3-19-2- بهره برداری از خنک کننده در حالت عادی

جریان آب ورودی به خنک کننده هایی که دارای قسمت های متعدد هستند، باید چنان کنترل شود که کل خنک کننده با تهویه ای پیوسته و به گونه ای که از فشار طراحی بالاتر نروند، پر شود. در خنک کننده های چند جزئی که آب به صورت موازی از آنها می گذرد (که این حالت یک ترکیب مرسوم است)، باید دقت شود که آب به صورت مساوی بین اجزا تقسیم شود. این کار را می توان با استفاده از دبی سنج ها یا گیج های فشار^{۹۲} قرار گرفته در مسیر جریان آب ورودی به اجزا انجام داد.

3-19-3- سیستم های اتوماتیک مربوط به سیستم خنک کننده

اساساً هیچ حد پایینی برای بارگذاری یک ژنراتور وجود ندارد، اگرچه محرک اولیه و تجهیزات مربوطه ممکن است چنین حدی را تحمیل کنند. هنگام بهره برداری از ژنراتور از یک بار با مقدار کم تا بار نامی، درجه مطلوب برای کنترل سیستم خنک کنندگی، به دوره زمانی بار و محدوده تغییرات آن بستگی دارد. اگر تغییرات بار کم و بیش غیر قابل پیش بینی و نامنظم باشند، برخی از روش های تنظیم اتوماتیک آب خالص مفید است.

⁹² Pressure Gages



هدف از چنین تنظیمی کاهش تغییرات دما و حصول دمای کلی یک نواخت تر به خصوص در سیم پیچ استاتور و در نتیجه افزایش عمر قسمت های مختلف ژنراتور است. در تعدادی از سیستم های اتوماتیک در ورودی^{۹۳} تغذیه آب خالص، یک شیر که توسط موتور عمل می کند قرار گرفته که این شیر با توجه به تغییرات آشکار ساز دما باز و بسته می شود. در این سیستم ها حجم آب خنک کننده عادی بوده و فقط زمانی جاری می شود که شیر کاملاً باز باشد و بنا براین سیستم در معرض پوسته پوسته شدن و رسوب گذاری لوله ها و مشخصات پیش بینی نشده دیگر قرار می گیرد. آشکار ساز دما که باعث عملکرد کنترل اتوماتیک می شود، می تواند RTD سیم پیچ استاتور یا سایر عناصر حرارت سنج باشند.

20-3- سیستم های حفاظت در برابر آتش

این سیستم معمولاً برای حفاظت از ژنراتور در برابر آسیب های ناشی از آتش سوزی داخلی و به حد اقل رساندن آسیب دیدگی به کار می رود.

21-3- سیستم دی اکسید کربن

دی اکسید کربن معمولاً به صورت ماده خفه کننده^{۹۴} آتش به کار می رود. دی اکسید کربن را می توان از طریق نازل ها و لوله ها به داخل ژنراتور هدایت کرد. این عمل ممکن است از طریق شیرهای دستی یا شیرهای اتوماتیک انجام شود. شیرهای اتوماتیک توسط



سیگنالهای صادره از ترموستات های حساس به دما یا عملکرد رله (نظیر رله های دیفرانسیل) عمل می کنند.

3-22- سایر سیستم ها

سیستم های آب پاش را می توان روی ژنراتورهای باز یا کاملاً بسته خنک شونده با آب نصب نمود. این سیستم ها شبیه سیستم های دی اکسید کربن می تواند به صورت دستی یا اتوماتیک و در پاسخ به وسایل آشکار ساز آتش و رله های دیفرانسیل تحریک شود.

3-22-1- آشکار سازی لرزش و اصلاح آن

وسایل آشکار ساز لرزش

تعدادی از ژنراتورها باید به یک وسیله ی آشکار ساز لرزش مجهز شوند این وسیله روی یک قسمت حساس به لرزش نظیر براکت (قاب) یا تاقان قرار می گیرد. این وسیله می تواند در سطح لرزش G که به مقدار جزئی بالاتر از لرزش بهره برداری عادی است، تنظیم شود. در صورتیکه نیروی مکانیکی یا مغناطیسی غیر معمولی منشأ ایجاد لرزش بالاتر از حد عادی شد این وسیله با بستن یک کنتاکت اعلام خطر نموده یا واحد را از مدار خارج می کند (به طراحی مدارهای کنترل بستگی دارد).

منابع ایجاد لرزش

لرزش ممکن است از شرایط مکانیکی یا الکتریکی غیر معمولی در استاتور، روتور یا هر دو (نظیر لرزش فاصله هوایی) ناشی شود. متداول ترین منابع ایجاد لرزش روتور عدم



تعادل مکانیکی (که منشأ در رفتگی محور است) و عدم تعادل مغناطیسی ناشی از عدم گردی روتور یا استاتور و حلقه های اتصال کوتاه شده یک قطب تحریک است. همچنین شرایط هیدرولیکی معمولی می توانند باعث انتقال لرزش توربین از طریق محور یا فنداسیون ژنراتور شوند.

اصلاح لرزش

هر افزایش دائمی در لرزش نشانه ایجاد تغییرات در واحد ژنراتور - توربین بوده و دلیل آن باید فوراً بررسی شود. بسته به شدت افزایش لرزش و منشأ آن باید در مورد خارج نمودن ژنراتور از مدار برای انجام اصلاحات سریع تصمیم گیری شود.

3-23- بهره برداری از موتور - ژنراتورها

ممکن است هیدرو ژنراتورها معکوس پذیر بوده و لذا در کاربرد های پمپ کردن - ذخیره کردن⁹⁵ بتوان آنها را به صورت موتور به کار برد. در این شرایط توربین به پمپ مبدل شده و ژنراتور عملکرد موتوری می گیرد و آب مخزن بالایی که در طی عملکرد ژنراتوری تخلیه شده اند، جایگزین می گردد.

3-23-1- روش های راه اندازی

یکی از مشکلات منحصر به فرد ژنراتور - موتور ها، راه اندازی آنها به صورت موتوری است تا برای بهره برداری در حالت پمپی آماده شود. روش های راه اندازی موتور عبارتند از:



3-23-2- راه اندازی توسط موتور القایی روتور سیم پیچی شده

در این روش یک موتور دارای روتور سیم پیچی شده که می تواند بر تلفات واحد اصلی غلبه کرده و آنرا تا سرعت سنکرون شتاب دهد، روی محور واحد اصلی نصب می شود.

3-23-3- راه اندازی سنکرون

این راه اندازی به روش های متعددی انجام می شود. در این روش ها یک ماشین به صورت ژنراتور و ماشین دیگر به صورت موتور عمل می کند. از میان این روش ها به موارد زیر می توان اشاره نمود:

(1) هر دو ژنراتور به صورت پارالل و جدا از سیستم در شرایط دائمی هستند و سیم پیچ تحریک آنها انرژی دار است. این دو ماشین سرعت گرفته، یکی به صورت ژنراتور و دیگری به صورت موتور عمل می کند سپس با سیستم سنکرون شده و ماشین مولد از مدار خارج می شود.

(2) این حالت مشابه حالت (1) بوده به جز اینکه میدان واحد موتوری انرژی دار نمی شود و به صورت یک موتور القایی در طی راه اندازی عمل می کند. بعد از اینکه موتور به سرعت سنکرون نزدیک شد میدان اعمال می شود.

(3) این حالت مشابه حالات (1) و (2) است، با این تفاوت که در اینجا ژنراتور یک

توربو ژنراتور کمکی معکوس ناپذیر کوچک تر است.



4) این حالت مشابه حالات (I) و (2) می باشد، با این تفاوت که واحدها تا قبل از

اینکه ژنراتور به یک سرعت میانی برسند، با هم پارالل نمی شوند.

3-23-4-راه اندازی به صورت القایی با ولتاژ کامل

واحد اصلی دارای یک سیم پیچ میرا کننده سنگین می باشد. این سیم پیچ برای راه

اندازی واحد با ولتاژ خط به کار می رود.

3-23-5-راه اندازی به صورت القایی با ولتاژ کاهش یافته

واحد به صورت موتور القایی راه اندازی می شود و ولتاژ خط با استفاده از تپ

ترانسفورماتور اصلی، اتوترانسفورمر، راکتورهای موجود در ابتدای ترمینالها یا شیف

مثلت - ستاره اتصالات ترانسفورماتور اصلی، کاهش می یابد.

3-23-6-راه اندازی با کاهش ولتاژ و فرکانس

موتور - ژنراتوری که باید از حالت سکون راه اندازی شود به صورت الکتریکی به یک

ژنراتور با اندازه قابل مقایسه که سرعت آن در حال کند شدن است متصل می شود. در

این شرایط انرژی الکتریکی ژنراتوری که سرعت آن در حال کاهش است با ولتاژ کاهش

یافته و فرکانس متغیر به مجموعه موتور - ژنراتور منتقل می شود واحدها در یک سرعت

زیر سنکرون^{۹۶} با هم سنکرون شده و سپس به همراه توربین ژنراتور تا سرعت سنکرون

شتاب می گیرند. سنکرونیزاسیون سیستم به روش عادی انجام می شود.



3-23-7- راه اندازی با کاهش ولتاژ 7979 و فرکانس متغیر

موتور- ژنراتور از یک منبع فرکانس متغیر استاتیک تغذیه می شود این منبع قادر است که توان راه اندازی را با فرکانس صفر تا بالای 50 هرتز و در ولتاژ کاهش یافته ای که برای راه اندازی مناسب است، تحویل دهد.

3-23-8- توربین جانبی⁹⁷

یک توربین کوچک با جهت گردش مخالف جهت گردش توربین اصلی روی محور نصب می شود. این توربین پمپ موتور را تا سرعت سنکرون شتاب می دهد.

3-23-9- سنکرون کردن

موقعی که یک واحد در حالت پمپی بهره برداری می شود، باید برای هر یک از روش های راه اندازی (به جز روشهای راه اندازی القایی با ولتاژ کامل و ولتاژ کاهش یافته)، پس از رسیدن به سرعت سنکرون، موتور با سیستم سنکرون شود. عملیات سنکرون نمودن را می توان به صورت دستی یا با استفاده از تجهیزات سنکرون کننده اتوماتیک انجام داد.

Power Plant Academy





مقدمه

عمده ترین شرایط کار غیر عادی ژنراتورها کار اسنکرن ژنراتورها می باشد ، کار اسنکرن ژنراتورها به دو صورت با جریان تحریک و بدون جریان تحریک روی می دهد ، کار اسنکرن به شرح فوق با عوارض و صدمات فراوان به ژنراتور و تجهیزات شبکه همراه بوده ، در حالات خطرناک قطع کامل و خاموش سراسری را موجب می شود ، به همین علت تشخیص کار اسنکرون ژنراتور و پیش بینی رله های مخصوص در هر دو حالت حائز اهمیت می باشد ، اگر چه برقراری حالت اسنکرون با استفاده از رله های دیگر ژنراتور قابل تشخیص می باشد ولی کار این رله ها مطمئن نبوده ، به صورت غیر مستقیم و تحت تأثیر عوارض ناشی از بروز حالت اسنکرن عمل می نمایند . لذا رله های حفاظتی مخصوص و جداگانه که در لحظات اول قبل از بروز عوارض و صدمات ناشی از حالت اسنکرن ، بروز پدیده را تشخیص دهند ، مورد نیاز می باشند . رله های فوق در طی این فصل شرح داده می شوند .

کار غیر عادی ژنراتورها محدود به کار اسنکرن ژنراتور نبوده ، بلکه تغییرات غیر عادی کمیات ژنراتور را تحت تأثیر شبکه شامل می شود که رله های حفاظتی مناسب آنان

در طی این فصل مورد مطالعه قرار می گیرند .

Power Plant Academy



4-1- نقش توربین در کنترل فرکانس و تغییرات بار شبکه در نیروگاه بخاری و آبی

با توجه به تغییر مصرف بار شبکه در ساعات مختلف روز و لزوم تامین مصرف شبکه توسط ژنراتورهای قدرت لازم است تا قدرت تولیدی ژنراتورها به طور منظم کنترل شود قدرت خروجی یک ژنراتور با تغییر دادن توان مکانیکی ورودی آن کنترل می شود برای ایت کار با باز کردن یا بستن شیر بخار و یا دریچه آب جریان بخار و یا آب ورودی به توربین های بخاری یا آبی تنظیم می شود. باعث کنترل قدرت مکانیکی و در نتیجه قدرت اکتیو مکانیکی خروجی می گردد. اگر قدرت مصرفی بار افزایش یابد باید شیر بخار و یا دریچه آب بیشتر باز شود تا به همان میزان قدرت تولیدی ژنراتور افزایش یابد و چنانچه قدرت مصرفی بار کاهش یابد باید عمل بسته شدن شیرها به نسبت مشخص و معینی صورت گیرد. لازم به ذکر است که عدم توازن قدرت را میتوان از تاثیر آن بر سرعت و یا فرکانس ژنراتور احساس نمود زیرا در صورت کاهش بار یا اضافه بودن تولید ژنراتور تمایل به افزایش سرعت و فرکانس خود دارد و در صورت افزایش بار و کمبود تولید سرعت و فرکانس ژنراتور رو به کاهش میرود انحراف فرکانس شبکه یا سرعت محور ژنراتور از مقدار نامی آن به عنوان سیگنالی جهت تحریک سیستم کنترل اتوماتیک انتخاب میشود زیرا توازن قدرت اکتیو به منزله ثابت بودن فرکانس سیستم است.



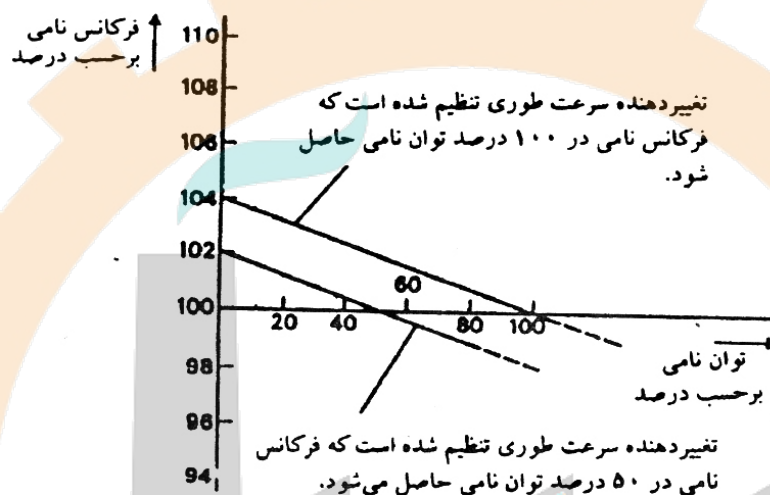
4-1-1-توربین های با فشار ثابت در شرایط مختلف بار

در این توربین ها، سعی بر آن است تا همیشه فشار بخار ورودی به توربین ثابت نگه داشته شود و با تغییر دبی بخار ورودی (بوسیله شیرهای کنترل- گاورنر) گشتاور مورد نیاز محور تغییر کند. فرمان ارسالی به گاورنر و شیرهای کنترل به دو صورت دستی (توسط تغییر دهنده سرعت گاورنر) و یا به طور خودکار (از طریق سیگنال های خطاهای نقطه تنظیم دور و مقدار توربین) انجام می شود. با تمام این اوصاف، به خاطر محدودیت هایی که دیگ بخار در تامین و تولید بخار دارد، سرعت تغییرات کنترل از اهمیت بالایی برخوردار است. به عنوان مثال، اگر سرعت تغییرات گاورنر زیادتر از حد تعیین شده باشد (که البته بستگی به دیگ بخار دارد) بر اثر باز شدن گاورنرها، فشار بخار ورودی به توربین کاهش می یابد. بنابراین می توان گفت که هر گونه تغییر در گشتاور مقاوم، به طور خودکار باعث وضعیت گاورنر، و سپس تغییر فشار بخار می شود. با وجود این، سیستم کنترل بخار باید به گونه ای طراحی شود تا فشار بخار را در بارهای مختلف، ثابت نگه دارد.

همانطور که گفته شد، در این نوع توربین ها که دارای سیستم گاورنر هستند، سرعت تغییرات گاورنرها نسبت به تغییرات بار (یا تغییرات فرکانس خروجی) حائز اهمیت است. به همین منظور برای هر گاورنری، منحنی مشخصه ای وجود دارد که این موضوع در شکل (4-1) نشان داده شده است. این منحنی برای واحدهای مختلف هر نیروگاه از طرف مرکز کنترل شبکه (دیسپاچینگ) و بر مبنای میزان جواب دهی دیگ بخار تنظیم

می شود. به عنوان مثال، اگر حساسیت یک گاورنر 4٪ باشد، این بدان معنی است که اگر بار واحد از مقدار نامی آن ناگهان به صفر کاهش یابد، میزان تغییرات فرکانس (یا دور

توربین)، 4٪ مقدار



شکل (1-4): منحنی مشخصه عملکرد گاورنر

نامی آن خواهد بود. لازم بذکر است که این نوع گاورنرها در سیستم کنترل که عملکرد دیگ بخار، تابعی از عملکرد توربین می باشد، استفاده می شود و همواره با دیگ های بخار درام دار به کار می رود. سرعت جواب دهی این نوع گاورنرها نسبتاً خوب می باشد.

1-4-2- توربین های با فشار متغییر در شرایط مختلف بار

فشار بخار ورودی به این نوع توربین ها در شرایط مختلف بار، متغییر است و بالطبع فاقد شیر کنترل بخار ورودی می باشد (البته در مراحل اولیه بارگیری و در بارهای کم، از یک گاورنر کمکی استفاده می شود). در این نوع توربین ها میزان بخار ورودی به آن



توسط مقدار آب ورودی به دیگ بخار (که در حالت عادی تماماً به بخار تبدیل می شود) تعیین می شود و فرمان تغییر بار، مستقیماً بر روی تغییر دبی آب ورودی به دیگ بخار اعمال می گردد. بر روی سیگنال تغییر دهنده بار، می توان نقطه تنظیم از دور توربین را (فرکانس تنظیم) داشت. برای این نوع توربین ها، منحنی مشخصه مگاوات بر حسب فرکانس تعیین می شود؛ ولی اگر نقطه تنظیم فرکانس بر روی سیستم نباشد، فرمان بار بصورت دستی خواهد بود که در این حالت، دور توربین دقیقاً از شبکه تبعیت می کند. از این نوع توربین ها بیشتر با دیگهای بخار بدون درام استفاده می شود و سرعت جواب دادن آنها به بارهای پایدار نسبتاً خوب است.

4-2- کار غیر عادی ژنراتورها

ژنراتور در طی کار پارالل خود با شبکه تحت تأثیر اختلالات روی داده در شبکه و تغییر کمیات مربوطه واقع می باشد. به منظور حفاظت ژنراتور در قبال تغییرات غیر قابل قبول کمیات فوق، رله های حفاظتی مناسب پیش بینی شده اند که در طی این فصل مورد مطالعه قرار می گیرند و موارد کار غیر عادی ژنراتورها به شرح زیر خلاصه می شوند:

1- قطع مدار تحریک و از دست دادن میدان مغناطیسی حاصل از سیم پیچ های رتور (

Loss of Excitation) که به گردش اسنکرون یا *Asynchronous Running*

Condition موسوم می باشد.

2- افزایش بار تدریجی ژنراتور یا *Overload*.



3- افزایش ولتاژ خروجی ژنراتور یا *Over Voltage* و یا عدم تعادل ولتاژهای سه فاز

4- کاهش یا افزایش فرکانس خارج از محدوده قابل قبول که به کار اسنکرن ژنراتور یا *Asynchronous* موسوم می باشد .

5- قطع نیروی مکانیکی تحویلی به محور ژنراتور در حالی که ژنراتور به شبکه وصل می باشد . قطع انرژی مکانیکی در این حالت موجب تبدیل ژنراتور به موتور می شود .

6- وصل غیر سنکرن ژنراتور به شبکه موجب کار اسنکرن ژنراتور (*Asynchronous Operation*) می شود .

7- فوق تحریک یا *Overexcitation* .

8- نوسانات دور ژنراتور به صورت ضربانی تحت تأثیر پدیده *Subsynchronous Reson*

9- قطع مدار خنک کنندگی ژنراتور

بند 1 بهره بر داری غیر عادی ژنراتور را تحت عنوان گردش آسنکرن و بندهای 4، 5 و 6 تحت عنوان کار آسنکرن موجب می شوند . خصوصیات ژنراتور در طی کار غیر

عادی طبق بندهای فوق و طرق مقابله لا آن رله های محافظتی مربوطه در این فصل آورده شده اند . نوسانات طبق بند 8 تحت تأثیر پدیده خاص موسوم به *Subsynchronous Res*

روی می دهد . این پدیده از وجود خازن سری در خطوط انتقال شبکه نتیجه می شود .

هنگامی که در شبکه خازن سری موجود می باشد ، در هنگام وارد خازن نمودن خازن

سری ، احتمال بروز پدیده موجود خواهد بود . پدیده به صورت ضربه مکانیکی بر شافت



توربین ظاهر می شود. این ضربه موجب SD ژنراتور شده شافت را از امتداد مستقیم خارج می سازد. به این ترتیب پدیده فوق در شبکه ها فاقد خازن سری روی نداده، لذا مورد بررسی قرار نگرفته است.

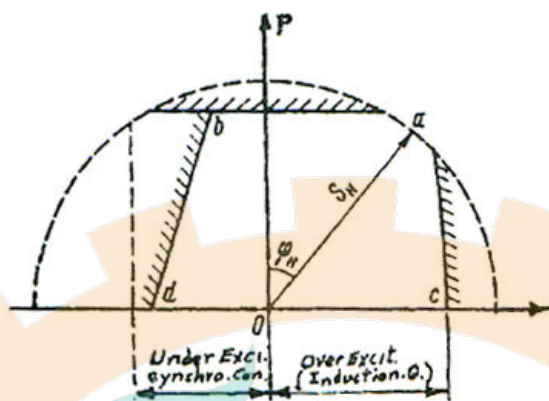
4-2-1- کار اسنکرن ژنراتورها و بستگی آن با خصوصیات شبکه و مشخصات ژنراتور

شرایط کار قابل قبول ژنراتورها از نظر مقدار جریان بار، اختلاف فاز مناسب ولتاژ و جریان و ظرفیت اسمی ژنراتور در صفحه مختصات I, U با بردارهای مربوطه مشخص می شود. هر مقدار جریان بار اکتیو ژنراتور با توجه به اختلاف فاز جریان ژنراتور در محدوده مشخص قابل افزایش می باشد. عبارت دیگر حد قابل قبول جریان بار اکتیو ژنراتور به ازاء هر مقدار اختلاف فاز آن به ازاء جریان رآکتیو مشخص باهاشور نشان داده شده است. افزایش و یا کاهش مولفه رآکتیو جریان به مقدار جریان تحریک بستگی داشته، با تغییر جریان تحریک بردار جریان I ، تأخیر و با تقدم فاز را دارا می شود. شکل (4-3) قدرت تولیدی ژنراتور در هر لحظه شامل دو مولفه اکتیو و رآکتیو Q, P می باشد که به شکل زیر نوشته می شود.

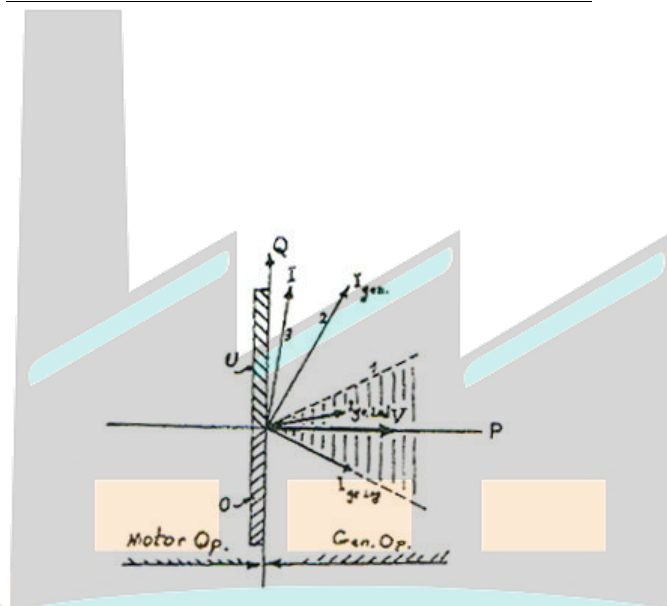
$$S = P + jQ$$

به ازاء قدرت طاهری اسمی S_n ، ژنراتور قدرت رآکتیو Q_m را تولید می نماید که با

استفاده از جریان تحریک قابل تنظیم می باشد.



شکل (2-4) حد قابل قبول بار اکتیو و رآکتیو ژنراتور



شکل (3-4) نمایش شرایط کار مختلف ژنراتور بر حسب جهت جریان و اختلاف فاز

Power Plant Academy
جریان و ولتاژ

ناحیه هاشور خورده قائم : ناحیه کار قابل قبول ژنراتور با ضریب قدرت مناسب

(محدوده امتداد یک)



ناحیه هاشور خورده مورب : ناحیه کار به صورت کنداساتور سنکرن (ناحیه u زیر

تحریک ناحیه 0 فوق تحریک)

بردار 2: حالت فقدان تحریک (ژنراتور راندوکسیون)

بردار 3: تولید قدرت راکتیو خازنی توسط ژنراتور

در قبال جریان های بالای تحریک بیش از مقدار اسمی ، موسوم به فوق تحریک یا :
 $Overexcitation$ از نوع خازنی و در قبال جریان های ناچیز تحریک ، کمتر از مقدار اسمی
به زیر تحریک یا : $Underexcitation$ از نوع القایی می باشد با توجه به توانایی و ظرفیت
ژنراتور مقدار حداکثر قدرت راکتیو قابل تولید ژنراتور در دو حالت فوق تحریک و زیر
تحریک محدود بوده ، در صفحه مختصات $P-Q$ طبق شکل (4-2) در دیاگرام برداری
 I, U ژنراتور نشان داده می شود .

شرایط کار زیر تحریک و جذب قدرت راکتیو القایی توسط ژنراتور ، به مفهوم تولید
قدرت راکتیو خازنی توسط ژنراتور و قرار داشتن بردار جریان ژنراتور در موقعیت 2 می
باشد . کاهش جریان تحریک تا حد مشخص قابل قبول بوده ، کمتر از آن منجر به
ناپایداری و تبدیل رژیم کار ژنراتور به کار اسنکرون میگردد. در صورت ادامه کاهش
جریان تحریک و در نهایت قطع آن (جریان تحریک صفر) ، ژنراتور در حالت کار
اسنکرن بدن تحریک واقع می شود . در این حالت ژنراتور قدرت راکتیو فابل ملاحظه
دریافت نموده ، افت آهنی در رتور به شدت افزایش یافته ، حرارت قابل ملاحظه در بدنه
رتور و استاتور تولید می شود . با توجه به حد حرارت مشخص قابل قبول ژنراتور ، حد



افت آهنی یا اصطلاحاً *Steel loss* در استاندارد تعریف شده ، قبل از حد ناپایداری وامق

می باشد . این حد در شکل (3-4) با موقعیت 3 بردار جریان مشخص شده است .

امتداد *a* – محدوده پایداری استاتیک .

امتداد *b* – حد زیر تحریک با *Undr Excitation (UE)* .

امتداد *c* – حد قطع تحریک یا *Loss of Field* و امتداد *d* حد پایداری استاتیک را

مشخص می سازد .

منحنی های فوق برای ژنراتور 800^{MVA} با ولتاژ خروجی 20^{KV} رسم شده اند .

چنانچه نقطه کار ژنراتور در امتداد *b* یا *LOF* قرار گیرد ، قطع ژنراتور روی خواهد داد .

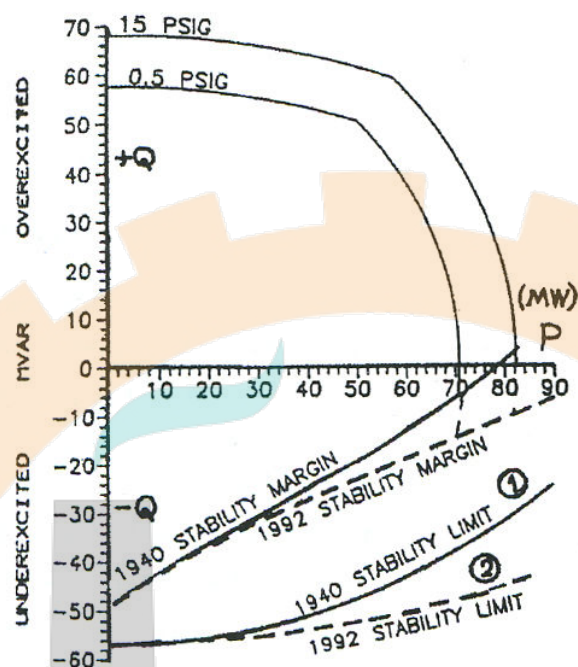
امتداد *a* با حد پایداری استاتیک ، جد بارگیری قابل قبول ژنراتور را با حفظ پایداری

مشخص می سازد . حد فوق برای ژنراتورها در استاندارد تعریف شده است . طبق

استاندارد سال 1940، منحنی 1 و طبق استاندارد سال 1992 منحنی 2 در شکل (4-4) می

باشد . افزایش حد فوق در سال 1992 ناشی از پیشرفت های به عمل آمده در ساختمان

ژنراتورها می باشد .



شکل (4-4) حد زیر تحریک ژنراتورها در استاندارد 1- استاندارد سال 1940 2-

استاندارد سال 1992

در دو حالت عمده زیر نقطه کار ژنراتور در امتداد خطرناک c و یا امتدادهای b, a واقع می شود.

1- قطع جریان تحریک ژنراتور در این حالت رله حفاظتی پیش بینی شده عمل نموده

، قطع جریان تحریک و کار اسنکرن ژنراتور را مشخص می سازد.

2- کاهش تدریجی جریان تا تحریک تا پیش از مقدار قابل قبول امتداد b (UE) و یا

در طی بهره برداری، در پی بروی عیب در شبکه و افزایش ملاحظه قدرت رآکتیو، آن

چنان که ژنراتور در حالت اسنکرن همراه با تحریک واقع شود. در این حالت دور

ژنراتور متفاوت از دور سنکرن در حال نوسان بوده ، با لغزش نسبت به دور اسمی نشان داده می شود .

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100 \quad (1-4)$$

حالت فوق کار غیر عادی ژنراتور را تشکیل داده ، لازم است در حداقل فاصله زمانی تشخیص داده شده ، از ادامه کار ژنراتور و گردش آن تحت دور اسنکرن جلوگیری شده ، نسبت به برگشت دور ژنراتور به دور سنکرن اقدام شود . چنان که دیده می شود قرار گرفتن ژنراتور در دو حالت 1 و 2 قابل قبول نبوده ، لازم است هر چه سریعتر توسط رله های حفاظتی مناسب و مخصوص تشخیص داده شود و اگر چه در صورت عدم پیش بینی رله های فوق ، رله های پیش بینی شده ژنراتور برای عیوب داخلی و خارجی نظیر قطع تحریک ، افزایش درجه حرارت ، مولفه معکوس و غیره عمل خواهند نمود ، ولی کار رله های فوق پس از ایجاد حرارت فوق العاده و بروز صدمات و عوارض مربوطه خواهد بود . در حالی که رله های حفاظتی پیش بینی شده ، قبل از صدمه به ژنراتور ، به طور دقیق و با اطمینان کافی بروز حالت اسنکرن را در ژنراتور مشخص می سازند .

4-2-2- کار اسنکرن ناشی از قطع تحریک و تشخیص آن

قطع جریان تحریک موجب جابجایی بردار جریان ژنراتور به موقعیت 3 در شکل (4-3) می شود . در این حالت ژنراتور قدرت رآکتیو قابل ملاحظه از شبکه دریافت نموده ، شبکه با افت ولتاژ د شینه خروجی ژنراتور روبرو می شود . حداقل افت قابل قبول در شینه خروجی ژنراتور $0.7 U_g$ می باشد . کاهش بیشتر ولتاژ در پی قطع تحریک منجر به



ناپایدار ژنراتور می شود . دریافت قدرت را آکتیو قابل ملاحظه توسط ژنراتور با ایجاد حارت فوق العاده در ژنراتور همراه بوده حد حرارت قابل قبول امتداد ، افت آهن طبق منحنی استاندارد می باشد ، با این همه قطع جریان تحریم فاصله زمانی چند دقیقه (حداکثر 15 دقیقه) قابل قبول می باشد . که به نوع ژنراتور در حالت اسنکرون ناشی از قطع تحریک به حدود 30 دقیقه بالغ می گردد ، لازم است به طور همزمان قدرت اکتیو تا حدود $(0/5-0/7) P_n$ کاهش یافته ، جریان در استاتور از I_n تجاوز ننماید .

در توربو ژنراتورها با خنک کنندگی مستقیم با دانستیه بالای جریان در سیم پیچ ها ، مدت قابل قبول کار ژنراتور پس از قطع تحریک ، حداکثر 15 دقیقه می باشد . بار اکتیو قابل قبول پس از تحریک $(0/6-0/55) P_n$ می باشد . کاهش بار اکتیو همزمان با قطع تحریک و جلوگیری از کار ژنراتور تا بیش از فاصله زمانی فوق با استفاده از رله های حفاظتی که شرح داده خواهد شد امکان پذیر می گردد . ابتدا حالت کار اسنکرون و شرایط بروز آن ، با جریان تحریم و یا بدون آن تشخیص داده شده ، سپس فرمان کاهش بار داده می شود . ممکن یا گشتاور اسنکرون که در شرایط کار اسنکرون بر محور توربوور و هیدروژنراتورها وارد می شود متفاوت از یکدیگر می باشند . حداکثر مممان اسنکرون که در شرایط کار اسنکرون بر محور هیدروژنراتورها می باشد . به همین علت در صورت قطع تحریک در هیدروژنراتورها ، لازم است بار اکتیو تا حدود صفر کاهش یابد ، تفاوت فوق موجب می شود تا در صورت قطع تحریک در هیدروژنراتورها بلافاصله از شبکه جدا شود.



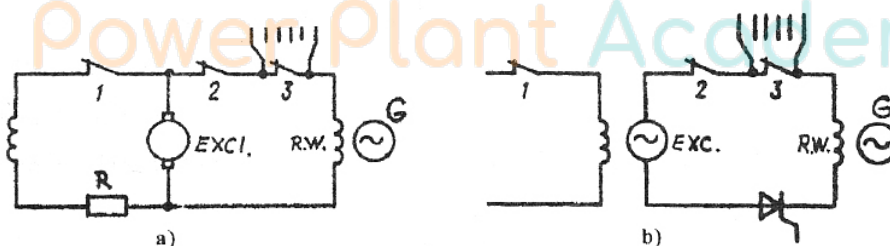
در هیدروژنراتورها با سیم پیچی دامپرمان اسنکرن قابل قبول بیشتر بوده ، موجب می گردد تا لغزش تا میزان بیش از $3/5\%$ افزایش یافته ، درجه حرارت سیم پیچی دامپر نیز فزونی یابد . در هیدروژنراتورها با قدرت بالا سیم پیچی دامپر از تحمل حرارتی بیشتر برخوردار بوده ، مشخصه ممان وارد بر ژنراتور نزدیک به مشخه توربو ژنراتورها می باشد . برای این ژنراتورها قدرت اکتیو قابل قبول در هنگام کار اسنکرن ناشی از قطع تحریک به حدود 30% قدرت اسمی بالغ می شود .

با توجه به مراتب فوق در صورت بروی حالت اسنکرن ناشی از قطع مدار تحریک ژنراتور قادر خواهد بود تا فاصله زمانی مشخص به گردش خود ادامه دهد . در فاصله زمانی فوق احتمال وصل مجدد مدار تحریک و برگشت ژنراتور به شرایط کار سنکرن موجود می باشد . با توجه به اینکه شرایط فوق در پی قطع مدار تحریک روی می دهد . لذا به نظر می رسد کنترل جریان تحریک به منظور تشخیص حالت فوق کافی باشد در حالی که این روش به منظور تشخیص حالت کار اسنکرن ناشی از قطع تحریک به کار برده نمی شود . علت آن بروز پدیده هایی است که در پی قطع جریان تحریک ادامه برقراری جریان را تحت تأثیر گردش ژنراتور موجب می شوند .

در شکل $a, b, (4-5)$ مدار تحریک و تجهیزات قطع و وصل در آن $1, 2$ و 3 نشان داده شده اند . کلید 1 جریان تحریک را در مدار دینام یا منبع تحریک ، کلید 2 جریان تحریک را در سیم پیچی تحریک ژنراتور و کلید 3 جریان یافته را در مقاومت تخلیه برقرار می سازند . در صورت قطع احتمالی هریک از کلیدهای فوق جریان تحریک

کاهش یافته و یا قطع می شود . در حالی که از نظر ژنراتور قطع جریان فوق محسوس نمی باشد . در صورت قطع کلید 1 ، جریان در مدار تحریک همچنان ادامه می یابد . a (4-5) با صرف نظر نمودن از مقاومت اهمی مدار تحریک ، نیروی الکتروموتوری با توجه به جریان استاتور ، در سیم پیچی رتور القاء شده ، جریان تحریک ادامه می یابد . چنانچه کلید 3 باز شود ، مدار تحریک از طریق مقاومت تخلیه همچنان وصل بوده ، جریان با مقدار کمتر ادامه می یابد . تنها در صورت قطع کلید 2 مدار سیم پیچی تحریک باز شده ، جریان آن به طور کامل قطع می شود .

هنگامی که مدار تحریک شامل المان های یکسو کننده از نوع تریستور باشد ، شرایط کار مدار پیچیده تر خواهد بود . شکل b (4-5) چنانچه بخشی از تریستورها از کار افتاده هدایت ننماید . جریان تحریک برقرار بوده ولی کاهش می یابد . چنانچه مدار تحریک در نقطه 1 قطع شود ، سیم پیچی تحریک وصل بوده ، در قبال شرایط کار اسنکرن ژنراتور به علت تفاوت دور ژنراتور بات دور سنکرن ، نیروی الکتروموتوری در سیم پیچی تحریک القاء شده با توجه به وجود تریستورها ، جریان در یک جهت در سیم پیچی تحریک برقرار می شود .



شکل (4-5) تجهیزات قطع و وصل موجود در مدار تحریک



a - تحریک با استفاده از مولد جریان مستقیم

b - تحریک با استفاده از مولد AC فرکانس 50 و یکسو کننده در مسیر مدار تحریک

بدین ترتیب چنان که دیده می شود ، کنترل جریان مدار تحریک در تشخیص شرایط کار اسنکرن ژنراتور ، بدون جریان تحریک ، کافی و مطمئن نبوده ، پیش بینی روشهای مناسب تر ضروری می باشند .

روش دیگر کنترل زاویه اختلاف فاز جریان و ولتاژ استاتور می باشد که به عنوان روش مناسب به منظور تشخیص شرایط کار اسنکرن در پس قطع تحریک محسوب نمی شود . در این روش در پی قطع کامل مدار تحریک ، سیم پیچی های ژنراتور فاقد نیروی الکتروموتوری بوده ، اندازه گیری زاویه اختلاف فاز آن نیز غیرممکن می باشد.

روش دیگر اندازه گیری اختلاف فاز ولتاژ شبکه ولتاژ حاصل از ژنراتور توسط دور سنج موسوم به تاخوگراف ، نصب شده در یک انتهای محور ژنراتور می باشد . این روش همواره به کار برده نمی شود .

روش دیگر که در پاره ای مواد به کار برده می شود ، اندازه گیری مداوم زاویه

گردش رتور نسبت به میدان مغناطیسی استاتور می باشد که به عنوان *Pole Slipping*

Protection موسوم می باشد در این روش علت بروز حالت اسنکرن (با تحیم و یا بدون

تحریک) مشخص نمی شود . با این همه به عنوان محافظت عمده *Back - Up* ژنراتور به

کار می شود. چنانکه دیده می شود کلیه روشهای ذکر شده کامل نمی باشند . چون علت

بروز حالت اسنکرن متنوع و متفاوت می باشد . روش مطمئن اندازه گیری امپدانس



ژنراتور از سمت خروجی می باشد که به طور کامل شرایط کار ژنراتور حالت اسنکرن را از نظر برقراری جریان تحریک و یا قطع آن مشخص می سازد.

4-2-3- کار اسنکرن همراه با تحریک و تشخیص آن

کار اسنکرون ژنراتور در پی بروز اختلال در کار آموزی ژنراتور با شبکه یا کار اسنکرن به دلایل زیر روی می دهد .

a - عدم رفع عیب در فاصله زمانی قابل قبول یا : *Critical Clearing Time*

(CCT) آن چنان که جریان عیب تا پیش از فاصله زمانی بحرانی (CCT) به طول انجامید

. نظیر تأخیر زمانی قابل ملاحظه در رفع جریان عیب در هنگام کار رله های *Back - UP*

b - عیوب پیش بینی نشده کار نابجا و نابهنگام رله های حفاظتی را موجب شود.

c - وصل غیر سنکرن کلیدها .

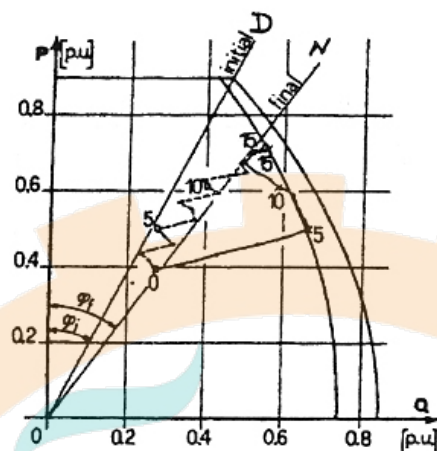
d - تغییرات ناگهانی بار و قطع و وصل بارهای الکتیو و رآکتیو شبکه . افزایش ناگهانی

بار اکتیو ژنراتور در حالی که ژنراتور تحت قدرت اکتیو و رآکتیو در حال بهره برداری

می باشد . در شکل (4-6) نقطه کار ژنراتور در صفحه مختصات *P-Q* از تغییرات بار بار

O در روی امتداد *D* نشان داده شده است .

Power Plant Academy



شکل (4-6) نمایش جابجایی نقطه کار ژنراتور و افزایش قدرت های راکتیو رآکتیو در

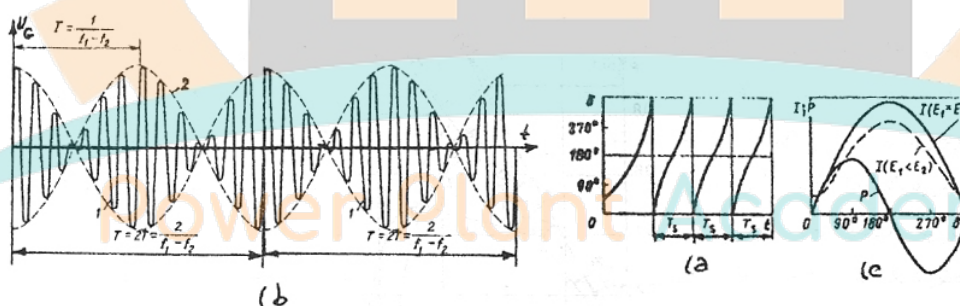
صفحه مختصات $P-Q$

در پی افزایش قابل ملاحظه قدرت مصرفی، رگولاتورهای سرعت و ولتاژ عمل نموده، نقطه کار ژنراتور به تدریج به نقطه 15 واقع بر امتداد جابجا می شود. قدرت اکتیو و رآکتیو در فاصله نقطه 0 تا نقطه 15 با خط چین نشان داده شده است. چنانچه تغییرات بار قابل ملاحظه بوده، به سرعت روی دهد، نقطه 0 طبق امتداد خط پرواز طریق نقطه 5 در نقطه 5 در نقطه 15 واقع می شود. در حالی که نقطه 5 در حد پایداری استاتیک واقع بوده، احتمال ناپایداری در کار ژنراتور موجود می باشد. با بروز حالت اسنکرن، کمیات ولتاژ، جریان، قدرت، زاویه بار به صورت تناوبی نوسان می نمایند. در شکل (4-7) نوسانات تناوبی بار بین دو حد 0 تا 360 درجه در فاصله تناوب T_s دیده می شود. تغییرات قدرت و جریان بار خط در فاصله 0-360 در شکل (4-7) دیده می شود.

همزمان با تغییرات زاویه بار نوسانات ولتاژ با افزایش مداوم در دامنه و یا با دامنه ثابت با فرکانس ضربانی 1 تا 2 سیکل بر ثانیه ادامه می یابد. این حالت به عنوان *Power Swing* موسوم بوده، ضربان در دامنه ولتاژ فرکانس 50، به صورت منحنی پوششی آن در شکل *b* (7-4) نشان داده شده است.

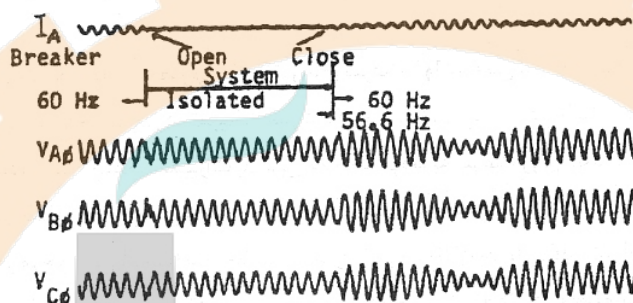
با توجه به فرکانس محدود ضربان، با فرکانس 1 تا سیکل بر ثانیه، ضربان فوق درولتметр واقع در اطاق کنترل قابل رویت بوده، توسط رکوردها نیز ثابت می شود.

در شکل (8-4) نمونه منحنی های ثبت شده کمیات ولتاژ و جریات در پی بروز حالت اسنکرن تحت عنوان نوسانات *Swing* نشان شده است. نوسانات پس از وصل ژنراتور در پی قطع ناشی از حالت ناپایداری روی داده اند. چنانکه دیده می شود، همزمان با کاهش دامنه ولتاژ ضربانی، دامنه جریان افزایش یافته است که از خصوصیات نوسانات *Power Swing* می باشد.



شکل (7-4) نوسانات زاویه بار و دامنه ولتاژ در صورت بروز حالت اسنکرن و

ناپایداری در شبکه



شکل (8-4) ظهور مشخصه ضربانی در ولتاژها و جریان های سه فاز همزمان با

برقراری شرایط کار ناپایدار *power Swing*

در شکل b (9-4) نوسانات ولتاژ و جریان در پی بروز حالت ناپایداری بین دو ژنراتور

موازی با هم به قدرت های 90^{MVA} و 220^{MVA} نشان داده شده اند روش اتصال

ژنراتورها در شکل a (9-4) دیده می شود. ناپایداری و بروز نوسانات در پی کاهش ولتاژ

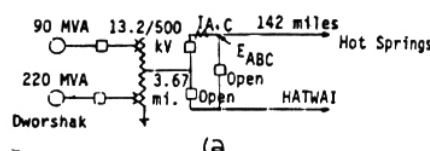
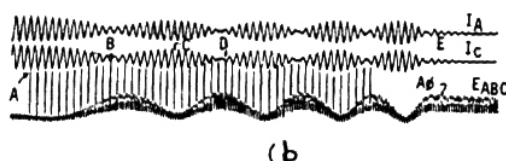
تا کمتر از حد قابل قبول از نظر کار پارالل دو ژنراتور روی داده است. با توجه به منحنی

های ثبت شده اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان از نقطه A شروع شده تا نقاط C, B ادامه

یافته است. اختلاف فاز در نقاط C, B برابر بوده اند. از نقطه C به نقطه D اختلاف فاز به

حدود 360 تغییر یافته است. در نقطه E، به علت بروز حالت ناپایداری و کار اسنکرن

دو ژنراتور، ژنراتور 220^{MVA} قطع شده از شبکه جدا شده است.



شکل (4-9) برقراری شرایط کار ناپایدار در ژنراتور 220^{MVA} همزمان با کاهش ولتاژ تا

کمتر از مقدار لازم

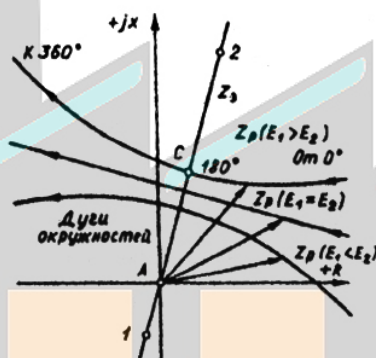
تغییرات تناوبی ولتاژ اختلال در کار مصرف کننده ها را موجب می شود به خصوص هنگامی که مصرف کننده نزدیک به مرکز نوسانات ولتاژ باشند ، نوسانات به صورت ضربان در دامنه ولتاژ سینوسی اصطلاحاً *Power Swing* موسوم می باشد . افزایش ولتاژ تا دو برابر در مجاور نوسانات موجبات صدمه به ایزولاسیون تجهیزات فشار قوی و انفجار کلیدها را در هنگام قطع فراهم می سازد . برای خط L واقع بین دو شبکه بروز حالت اسنکرن مورد مطالعه قرار می گیرد . در هنگام کار اسنکرن و بهره برداری عادی خط بردارهای ولتاژ دو انتها تحت زاویه بار δ اختلاف فاز شداته ، مقدار زاویه یار ثابت می باد هنگامی که زاویه بار δ به صورت تناوبی بین دو مقدار $0-180$ درجه تغییر نماید ، تغییرات ولتاژ و جریان به صورت تناوبی روی داده ، انتهای بردار ولتاژ بر روی دایره جابجا می گردد ، دیاگرام برداری ولتاژها برای دو انتها طبق شکل (4-10) رسم می شود .

بردارهای ولتاژ دو انتها در هر لحظه از نظر قدر مطابق برابر و از نظر علامت مخالف یکدیگر می باشند ، در نقطه وسط خط تغییرات ولتاژ صفر خواهد بود ، که به مرکز الکتریکی نوسانات مرسوم می باشد . چون در طی تغییرات تناوبی به شرح فوق در هر لحظه یک تنها به صورت ژنراتور و انتهای دیگر به صورت موتور عمل نموده در سیکل

بعد ژنراتور به موتور و موتور به ژنراتور تبدیل می شود این جابجایی در هر سیکل تکرار

شده به عنوان پدیده *Pompage* یا *Power Sing* موسوم می باشد .

موقعیت بردار خط و تغییرات آن در طی پدیده فوق در صفحه مختصات $R-jx$ نشان داده شده است . I و 2 دو انتهای خط ، نقطه A محل نصب رله و نقطه C مرکز الکتریکی *Power Sing* را در خط مشخص می سازد . بردار $II-A$ بردار امپدانس پشت رله ، بردار AC بردار امپدانس خط می باشد . تغییرات تناوبی ولتاژ و جریان به شرح فوق تغییرات تناوبی امپدانس را مشخص می سازد که موجبات کار نابجای رله های دسیانس و محافظت خط را سبب می شود .



شکل (4-10) دیاگرام ، امپدانس اندازه گیری شده توسط رله در صورت بروز

ناپایداری و کار اسنکرن شبکه

Power Plant Academy

به منظور جلوگیری از کار نابجای رله های دسیانس در شرایط فوق ، رله ها به المان

مخصوص موسوم به المان *Anti Pompage* مجهز می باشند . نوسان قدرت الکتریکی

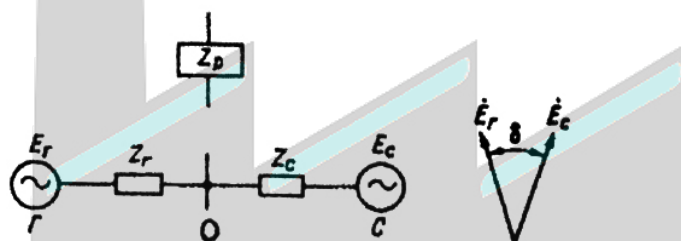


همچنین موجب وارد گشتن نیروی مکانیکی بر محور ژنراتورها و توربین می گردد که صدمه و ضربه مکانیکی وارد ساخته خطرناک می باشد .

روش مقابله با حالت اسنکرن مداوم شکل $b(4-9)$ قطع خط در محل پیش بینی شده از طریق تشخیص حالت فوق توسط زله های حفاظتی مناسب و سپس سنکرن نمودن مجدد خط می باشد . هنگامی که امکان تأمین مجدد دور اسنکرن جدا می شود این پیش بینی به تفکیک یا تقسیم شبکه موسوم می باشد . در برخی حالات اسنکرن تغییر دور ژنراتور از دور سنکرن محدود بوده ، لغزش دو ژنراتور از حدود 3-5٪ تجاوز نمی نماید . در این حالات تشخیص حالت اسنکرن مستلزم استفاده از رله های مخصوص خواهد بود . رله های حفاظتی پیش بینی شده ژنراتور که فصول قبل مورد مطالعه قرار گرفتند ، در قبال عیوب روی داده عای را دارا می باشند ، قادر به کار نمی باشند . به منظور تشخیص حالت اسنکرن رله های مخصوص مورد نیاز می باشند . این رله ها است از حساسیت کافی برخوردار بوده که به طور سلکتیو بروز حالت اسنکرن را تشخیص داده ، کاهش و یا افزایش دو ژنراتور را از دور سنکرن یا میزان لغزش را متمایز سازند . در حالت کار سنکرن ژنراتور زاویه بار بردار نیروهای الکتور موتوری در فاصله $0 - \frac{\pi}{2}$ واقع می باشد ، افزایش زاویه بار تا بیش از $\frac{\pi}{2}$ در پی بروز نوسانات و یا افزایش مداوم بیانگر بروز حالت اسنکرن می باشد ، یک راه مناسب تشخیص حالت اسنکرن اندازه گیری مداوم تغییرات زاویه بار می باشد که تغییرات امپدانس دیده شده از ترمینال های ژنراتور را مشخص می سازد . رله پیش بینی شده از نوع رله های دیسانس خط بوده ، در ترمینال های ژنراتور

نصب شده از ولتاژها و جریان های خروجی ژنراتور تغذیه می شود . رله به طور مداوم نیست ولتاژ و جریان را اندازه گیری نموده ، امپدانس سیم پیچی های ژنراتور را اندازه گیری می نماید . رله فوق به عنوان محافظت عمده در قبال شرایط کار اسنکرن ژنراتور محسوب می شود .

امپدانس اندازه گیری شده ژنراتور و تغییرات آن بر طبق شکل (11-4) ژنراتور G بار ال با شبکه در حال کار می باشد ، امپدانس سیم پیچی های ژنراتور Z_G می باشد ، به ازاء تغییرات زاویه بار δ (زاویه نیروهای المتروموتوری E_G و E_C در فاصله $0-360^\circ$ امپدانس دیده شده توسط رله نصب شده در نقطه θ برآورد می شود .



شکل (11-4) زاویه بار ژنراتور و نیروی الکترو موتوری شبکه

در هنگام کار اسنکرن ژنراتور ، فرکان ω_G, ω_C ثابت و یکسان نبوده ، موجب می شود تا زاویه بین دو نیروی الکترو موتوری E_g, E_c بر حسب زمان تغییر نماید ($\delta = f(t)$) در حالی که نیروهای الکترو موتوری E_g, E_c در محدوده صفر تا مقدار اسمی تغییر می نمایند جریان برقرار شده در خط عبارت است از :



$$I = \frac{E_g - E_c}{Z_g + Z_e} = \frac{E_g (1 - qe^{-j\delta})}{Z};$$

$$Z = Z_g + z_e$$

$$q = \frac{E_c}{E_g}$$

رابطه 2

ولتاژ در محل نصب رله عبارت است از :

در این صورت امپدانس اندازه گیری شده خواهد بود :

$$^0U = ^0E_g - Z_g^0I.$$

با توجه به رابطه (2-4) امپدانس اندازه گیری شده خواهد بود .

$$ZP = ^0U / ^0I = (E_g - Z_g^0I) / ^0I$$

با توجه به رابطه 2 امپدانس اندازه گیری شده خواهد بود :

$$Zp = -Zg + \frac{Z}{1 - \frac{Ec}{Eg} e^{-j\delta}}$$

چنانچه ژنراتور فاقد تحریک باشد ، همچنان که از رابطه 3 دیده می شود $E_g = 0$

بوده و $Z_p = -Z_g$ خواهد بود .

به ازاء $E_c = 0$ طبق رابطه 2، $Z_p = Z_g + Z = Z_c$ خواهد بود . بدین ترتیب در شرایط

فوق رله امید انس ژنراتور یا امپدانس شبیه را اندازه گیری می نماید . در حالت دیگر

امپدانس اندازه گیری شده امپدانس موهومی خواهد بود که با توجه به نسبت ولتاژ و

جریان تغذیه رله یا $Z_p = \frac{U_p}{I_p}$ به شرح زیر تعیین می شود .

با توجه به رابطه 3 مکان هندسی انتهای بردارهای Z_p بر حسب زاویه δ و نسبت

$q = \frac{E_c}{E_g}$ تعیین می شود. شکل (12-4) به ازاء تغییرات δ بین صفر تا 360° درجه عبارت

$qe^{-j\delta}$ بردار دورانی خواهد بود که انتهای آنان بر روی دایره قطع می باشند با جابجایی

دایره فوق طبق رابطه $\frac{1}{1 - qe^{-j\delta}}$ انتهای بردار اندازه گیری شده Z_p نیز تغییر می نماید.

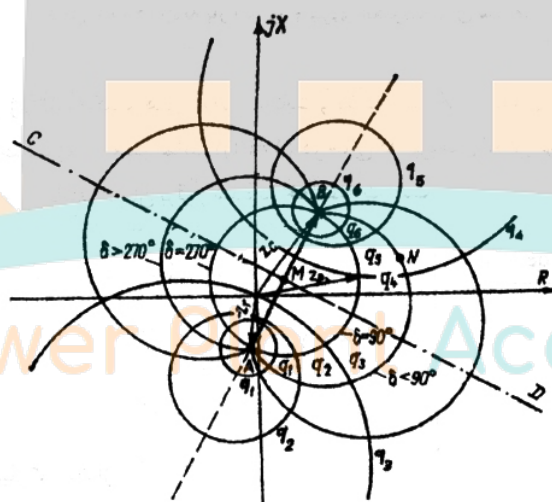
در صفحه مختصات موهومی مکتب هندسی انتهای بردارهای Z_g, Z_c نقاط A, B می باشند

. خط AB بردار Z را نشان می دهد. مرکز دایره ای که بردار و امپدانس اندازه گیری شده

رله Z_p بر آنان واقع می باشد. به ازاء تغییرات زاویه δ بر روی امتداد خط AB واقع می

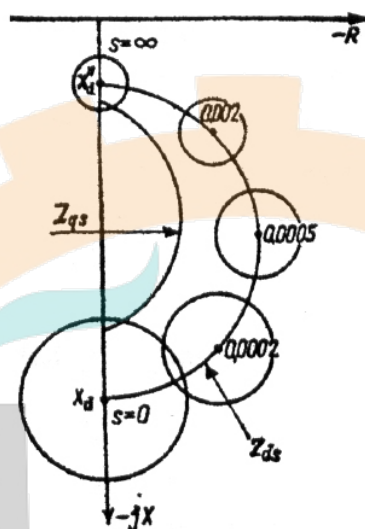
باشد. به ازاء $q > 1$ مرکز دایره ها پایین تر از نقطه A و به ازاء $q < 1$ مرکز دایره ها

بالتر از نقطه B بر روی خط AB واقع می باشد.



شکل (12-4) مکان هندسی بردار امپدانس دیده شده به ازاء نسبت های مختلف

$$E_c / E_g$$



شکل (4-13) مکان امپدانس اندازه گیری شده در قبال لغزشهای مختلف

مرکز و شعاع دایره با توجه به نسبت q در شکل (4-12) چند دایره به عنوان نمونه رسم شده اند که در آنان $q_1 > q_2 > q_3$ می باشند ، شعاع دایره بی نهایت بوده ، دایره خط مستقیم CD تبدیل می شود این خط از وسط خط AB ، نقطه M عبور نموده بر آن عمود می باشد. به ازاء زاویه ثابت δ و نسبت های متغیر q ، انتهای بردار Z_p بر روی دایره ای واقع می باشد که از نقاط B, A عبور نموده، مرکز آن بر روی امتداد CD واقع می باشد. خط AB به عنوان دایره با شعاع بی نهایت محسوب می شود. بردار Z_p به ازاء زاویه حد $\delta = 180$ بر روی خط فوق واقع می باشد، مقدار امپدانس به ازاء زاویه بار حد 180 معادل AB می باشد. به ازاء $\delta < 180$ در سمت چپ خط AB قرار

دارد . در شرایط عادی بهره بردای نقطه کار N می باشد . در این نقطه ژنراتور قدرت

اکتیو و رآکتیو مشخص را دارا بوده ، زاویه بار $0 < \delta < 90^\circ$ و می باشد .

در این بررسی امپدانس دیده شده ثابت فرض در حالی که در طی رژیم گذرا تغییر نموده لازم است در هنگام رسم دیاگرام در نظر گرفته می شود . شکل (4-13) بستگی امپدانس ژنراتور بدون تحریک با لغزش رتور S نشان داده شده است . در هیدروژنراتورها در صورت عدم لغزش امپدانس ژنراتور در حالت سنکرن معادل X_d و به ازاء $\delta = 0$ معادل امپدانس فوق گذاری آن X_d'' می باشد در فاصله $0 < s < \infty$ مکان هندسی بردار امپدانس در محو طولی بر روی دایره Z_{ds} واقع می باشد که از نقاط X_d, X_d'' قطر آن را تشکیل می دهد و امپدانس در نقاط مختلف این دایره به میزان لغزش بستگی داد ، به طور مشابه مکان هندسی بردار امپدانس در محور عرض دایره Z_{qs} می باشد به طور خلاصه تغییرات امپدانس اندازه گیری شده با لغزش و زاویه δ به صورت تابع موهومی می بتاشد که با توجه به نقطه A بین دو نقطه X_d, X_d'' به شرح زیر مشخص می شود ،

- در صورت قطع تحریک انتهای بردار اندازه گیری شده Z_p در نقطه A واقع می شود .

- در صورت برقرار بودن جریان ناچیز تحریک انتهای بردار Z_p بر روی دایره عبور

نموده از نقطه A واقع می شود ، به عنوان مثال بر روی دایره q_1 که به میزان لغزش روی

داده در گردش رتور بستگی دارد .



- در حالت اسنکرن همراه با جریان تحریک انتهای بردار Z_p بر روی دایره واقع در

حول نقطه A جابجا می شود که شعاع دایره قابل ملاحظه می باشد ، نظیر دایره q_3

4-2-4- محافظت در قبال کار اسنکرن ژنراتور

با توجه به دو صورت متفاوت بروز حالت اسنکرن ، با تحریک و بدون تحریک ، دو رله اندازه گیر امپدانس پیش بینی می شوند ، رله اول حالت اسنکرن ژنراتور با وصل تحریک را مشخص ساخته فرمان قطع را می دهد . رله دوم حالت اسنکرن بدون تحریک را مشخص ساخته بار اکتیو ژنراتور را کاهش می دهد .

محافظت های فوق شامل رله ها با انواع گوناگون الکترو مغناطیسی یا الکترونیک می باشند که در سمت ترمینال ژنراتور نصب شده بروز حالت اسنکرن و علت آن را مشخص می سازند.

محافظت در قبال قطع تحریک (فقدان تحریک) به شرح زیر عمل می نماید ، فرض

می شود تحریک قطع شده ، $E_g = 0/1E_c$ یا $q = \frac{E_c}{E_g} = 10$ باشد . امپدانس طبق دایره q_1

شکل (4-12) تعیین شده ، این دایره به عنوان حد حالت اسنکرون بدون تحریک

محسوب می شود ، قرار گرفتن بردار امپدانس در داخل و یا بر روی دایره فوق به منزله

قطع یا فقدان تحریک می باشد ، مشخصه ژنراتور در حالت فقدان تحریک همراه با مقدار

لغزش امپدانس را تعیین می نماید.

رله دارای مشخصه به شکل دایره q_1 می باشد که شعاع آن به نسبت $\frac{E_c}{E_g}$ و مرکز آن

بر حسب میزان لغزش بر روی مشخصه $Z_g(s)$ جابجا می شود . ساخت رله که منحنی

مشخصه آن تابع لغزش باشد دشوار می باشد ، به همین علت از چند رله امپدانس استفاد می شود که مرکز آنان بر روی منحنی امپدانس $Z_g(s)$ واقع بوده ، هریک از آنان از طریق کنتاکت مربوط به یک لغزش معین تحریک پده امپدانس را اندازه گیری می نمایند . مشخصه کلیه آنان در سمت منفی محور x جابجا می شود ، در شکل (4-13) معمول ترین حالت شامل یک دایره عبور نموده از نقاط x_d' و x_d داده شده است . (در شکل فوق نیمی از دایره مورد اشاره رسم شده است) . هنگامی که امپدانس اندازه گیری شده از ترمینال ژنراتور به داخل این دایره وارد شود ، رله عمل می نماید ، با این همه احتمال کار کاذب و نابجای رله موجود می باشد ، علت آن تغییرات مشابه امپدانس در هنگام بروز حالت اسنکرن بدون قطع تحریک می باشد شکل (4-12) (حالت اسنکرن با جریان تحریک ناچیز) انجام پیش بینی زیر موجب می شود تا رله با سلکیوتیوته بیشتر و اطمینان بالاتر عمل نماید .

به منظور جلوگیری از از تحریک رله در قبال حالت اسنکرن با جریان تحریک ناچیز سطح مشخص رله از نوع دایره کاهش یافته ، به بیضی 2 تبدیل می شود شکل (4-14) . که توسط مشخصه های Z_{ds}, Z_{qc} محصور شده است به منظور مقایسه ناحیه امپدانس با لغزش های ناچیز 15٪ تا 10٪ عبارت از دایره عبور نموده از نقاط x_d'', x_d یا 5٪ یا دایره 1 می باشد .

تغییرات امپدانس اندازه گیری شده در حالت اسنکرن با تحریک طبق منحنی 3 و در حالت اسنکرن بدون تحریک طبق منحنی 4 بوده است . چنان که دیده می شود در حالت



اسنکرن بدون تحریک امیدانس در نقطه e در مشخصه رله له شکل بیضی وارد شده ، در محدوده آن جابجا شده است بدین ترتیب موجبات کار رله را فراهم ساخته است .

در حالت اسنکرن با تحریک منحنی در نقطه b در مشخصه بیضی وارد و در نقطه c از آن خارج شده است و که به منظور تحریک رله کفایت می نماید . به عبارت دیگر حتی در صورت کاهش محدوده مشخصه رله در قبال امیدانس اندازه گیر شده مربوط به حالت اسنکرن با تحریک رله عمل می نماید . در حالی که منحنی امیدانس مربوط به حالت اسنکرن با تحریک ، ا نقطه a تا نقطه d در محدوده مشخصه مربوط به ژنراتور دایره I واقع بوده است . از نظر زمانی مدت قرار گرفتن امیدانس در داخل مشخصه I در حدود نصف مدت لازم به منظور گردش یک دور رتور می باشد که به حدود چند دهم ثانیه بالغ می شود . چنان که ملاحظه می شود ، مشخصه بیضی موجب می شود تا رله بالغ بر 8 تا 10 مرتبه نسبت به مشخصه دایره I سریعتر عمل نموده ، تأخیر زمانی آن از $0/1$ ثانیه کمتر باشد . سرعت بالای کار این رله به منظور تشخیص حالت اسنکرن با تحریک مناسب می باشد .

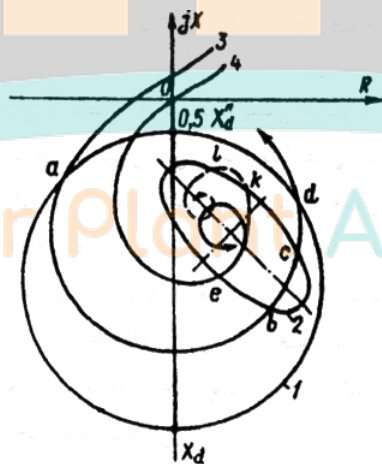
روش دیگر به منظور محافظت ژنراتور در قبال قطعه تحریک استفاده از دو رله امیدانس با مشخصه های I و $2I$ می باشد . تحریک رله I حالت اسنکرن با تحریک را مشخص می سازد . تحریک متوالی رله دوم با تأخیر زمانی بیش از $0/1$ ثانیه ، حالت اسنکرن ، با قطع تحریک را مشخص می سازد . رله اول به ازاء زاویه و محافظت در نهایت در ناحیه 2π عمل می نماید . هر رله دارای مدار منطقی جداگانه می باشد ، که ترکیب

آنان حالات مختلف بروز کار اسنکرن را مشخص می سازد و به عنوان مثال در پی کاهش تدریجی جریان تحریک و سپس قطع کامل آن منحنی امپدانس اندازه گیری شد منحنی 4، امتداد خط چین را دارا می شود، که در نقطه K از مشخصه بیضی رله خارج می شود. در این حالت فاصله زمانی قرار گرفتن امپدانس در منحنی مشخصه و مدت تحریک رله کمتر از $0/1$ ثانیه بوده، فرصت کافی به منظور صدور فرمان قطع موجود نمی باشد. ولی باتوجه به اینکه منحنی امپدانس از مشخصه مربوط به رله اول یا منحنی 1 خارج نمی شود، این رله تحریک شده ولی طبق مدار منطقی فرمان قطع را ارسال نمی سازد. تنها کاهش امپدانس و تحریک رله، بروز حالت اسنکرن را مشخص می سازد. چنانچه طبق شکل فوق منحنی امپدانس در نقطه L برای بار دوم وارد مشخصه بیضی 2 شود، فاصله زمانی تحریک رله ادامه یافته امکان کار رله موجود خواهد بود.

به منظور آزمایش و اطمینان از صحت کار رله و تشخیص حالت اسنکرن، مدل ژنراتور ساخته شده، رله های حفاظتی با مشخصه های فوق در آن پیش بینی شده، کار رله در قبال حالات گوناگون گردش اسنکرن ژنراتور مورد آزمایش قرار می گیرد. به طور معمول مدل شامل دو ژنراتور می باشد که از طریق ترانسفورماتور با قدرت بالا به شبکه با قدرت بی نهایت وصل می شوند در یک ژنراتور تحریک قطع شده، در حالی که ژنراتور دیگر به کار پارالل خود با شبکه ادامه می دهد، بروز حالت اسنکرن، کار رگولاتور سرعت در کنترل دور ژنراتور، کار رگولاتور ولتاژ در تنظیم جریان تحریک مورد آزمایش قرار می گیرد. در اشکال c و b و a و $(4-15)$ تغییرات امپدانس اندازه

گیری شده در شرایط گوناگون بروز حالت اسنکرن ، حاصل از آزمایشات بر روی مدل ساخته شده نشان داده شده است . در شکل (15-4a) تغییرات امپدانس خروجی در قبال کار اسنکرن در طی بهره برداری عادی ژنراتور نشان داده شده است .

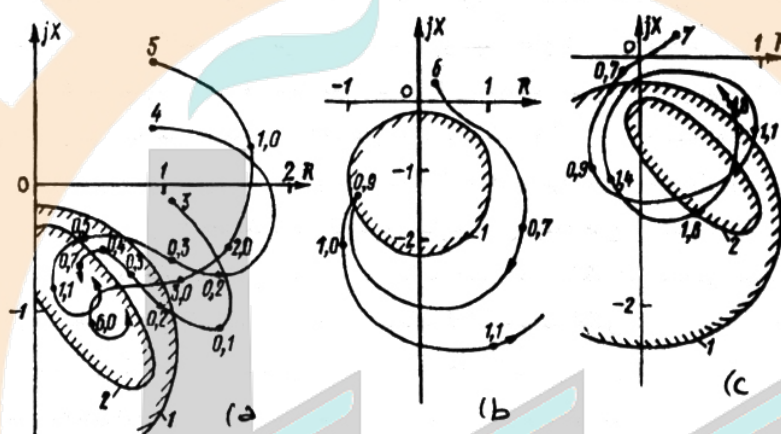
مشخصه رله ها با منحنی های I و 2 و تغییرات امپدانس اندازه گیری شده در شرایط گوناگون بهره برداری با منحنی های 3 تا 7 در به شکل ریم شده اند . اعداد نوشته شده بر روی منحنی ها ، فاصله زمانی تغییر امپدانس را از هنگام بروز کار غیر عادی ، ژنراتور تا امپدانس نقطه فوق مشخص می سازد . قطع نابهنگام کلید مدار تحریک به ازاء بار کامل ژنراتور با منحنی 4 نشان داده شده است . برطبق آن امپدانس اندازه گیری شده در این حالت ، در فاصله زمانی $0/3-0/4^s$ از منحنی مشخصه رله های I و 2 عبور می نماید . کار اضطراری ژنراتور با بروز لغزش در دور ژنراتور مشخص می شود ، که پس از طی رژیم گذرا حدود $4-5\%$ را دارا گردیده است . هنگامی که ژنراتور در شرایط زیر تحریک مورد زمانی $0/3-0/4^s$ منحنی های مشخصه رله ها را قطع می نماید .



شکل (4-14) امپدانس اندازه گیری شده ژنراتور توسط رله نصب شده در خروجی

ژنراتور 1 و 2- مشخصه کار دو رله 3-امپدانس اندازه گیری شده در حالت اسنکرون با

تحریک 4-امپدانس اندازه گیری شده در حالت اسنکرون بدون تحریک



شکل (4-15) امپدانس اندازه گیری شده ژنراتور شده ژنراتور توسط رله امپدانس

نصب شده در خروجی آن

a- بروز حالت اسنکرون در طی بهره برداری حالت اسنکرون و قطع تحریک طبق

منحنی 4

b- بروز حالت *power swing* در شبکه c- کار اسنکرون ژنراتور با تحریک

هنگامی که بار آکتیو ژنراتور ناچیز بوده عیب در مدار رتو روی داده باشد ، تغییرات

امپدانس به کندی صورت گرفته طبق منحنی 5 خواهد بود ، سرعت محدود تغییرات

امپدانس ماشی از استهلاک دراز مدت جریان رتو می باشد .

منحنی 6 در شکل b (4-15) در قبال بروز *Power Swing* رسم شده است. نقطه کار ژنراتور در صورت بروز حالت اسنکرن تا قسمت تحتانی صفحه مختصات بر روی منحنی فوق جابجا می شود، جهت تغییرات امپدانس در این منحنی در جهت عقربه های ساعت بوده زاویه بار δ در مقایسه با شرایط عادی بهره برداری کاهش می یابد. در این حالت منحنی امپدانس اندازه گیری شده در مجاور منحنی مشخصه رله منحنی I ، جابجا شده موجب می شود تا تنها یک رله از دو رله به طور کاذب عمل نماید. پیش بینی تاخیر زمانی در محافظت از ارسال فرمان نابجای قطع جلوگیری می نماید. رله بامشخصه بیضی در قبال بروز *Power Swing* عمل نمی نماید. حالت کار اسنکرن ژنراتور با تحریک در شکل c (4-15) نشان داده شده است تا قبل از حالت اسنکرن ژنراتور با بار محدود در وضعیت زیر تحریک در حال بهره برداری بوده است. در پی بروز حالت اسنکرن همراه با تحریک تغییرات پیچیده و نامشخص امپدانس روی داده است، این تغییرات یا استفاده از مدار منطقی از سایر حالات متمایز و تفکیک می گردد. به منظور اطمینان از کار رله و صحت مدارهای منطقی آزمایشات لازم بر روی مدل ه ای مربوطه در کارخانجات سازنده صورت می پذیرند. همچنان که اشاره شد حالت اسنکرن همراه با تحریک با اندازه گیری زاویه بار δ تشخیص داده می شود، بر طبق شکل (4-12) تغییرات زاویه فوق با اندازه گیری امپدانس در خروجی ژنراتور امکان پذیر می شود زاویه حد قابل قبول δ معادل 180° درجه می باشد. این حد در شکل (4-12) با امتداد AB نشان داده شده است.

در حالی که در شرایط عادی بهره برداری، نقطه کار ژنراتور قدرت اکتیو و راکتیو مشخص را دارا بوده، زاویه بار δ در حدود $90^\circ > \delta > 0^\circ$ واقع می باشد.

نحوه تغییرات امپدانس اندازه گیری شده از حالت بهره برداری عادی به کار اسنکرن نامشخص می باشد، ولی در صورت برقرار بودن جریان تحریک امتداد AB را در شکل (12-4) به طور مطمئن قطع می سازد. امتداد AB زاویه حد عوض امتداد AB دایره مجاور آن نزدیک به زاویه بار 180° درجه به عنوان حد قابل قبول امپدانس انتخاب می شود، که از دو نقطه A, B عبور می نماید. چنانچه مقدار بحرانی و قابل قبول زاویه بار $\delta = 180^\circ$ باشد، در این صورت به منظور محافظت ژنراتور در قبال حالت اسنکرن از رله امپدانس استفاده می شود، که مشخصه آن نزدیک به خط AB منطبق با دایره مربوط به زاویه بار $\delta = 270^\circ$ باشد. هنگامی که انتهای بردار امپدانس اندازه گیری شده بر روی آن واقع شود، بیانگر بروز حالت اسنکرن می باشد.

4-2-5- طرز کار رله امپدانس به منظور تشخیص حالت اسنکرن

طبق آنچه که شرح داده شد مناسب ترین روش تشخیص حالت کار اسنکرن اندازه گیری و کنترل امپدانس دیده شده از سمت ترمینال خروجی ژنراتور می باشد. در صورت حذف تحریک انتهای بردار امپدانس طبق منحنی 2، متناسب با لغزش دور ژنراتور به مجاور دایره I جابجا شده بر روی آن واقع می شود، دایره I مشخصه کار ژنراتور را در حالت اسنکرن بدون تحریک نشان می دهد. دایره فوق محور X را در نقاط X_d'' به ازاء $S = \omega$ و X_d به ازاء $S = 0$ قطع می نماید.

شکل (4-16) دامنه و فرکانس نوسانات و فاصله زمانی جابجایی بردار متناسب با میزان لغزش و نسبت نیروهای الکتروموتوری خواهد بود. در صورت برقراری مجدد حالت سنکرن نقطه کار در نقطه c واقع می شود. به منظور تشخیص جابجایی نقطه کار ژنراتور به شرح فوق و تبدیل حالت سنکرن به اسنکرن از رله امپدانس با مشخصه 5 استفاده می شود. بردار امپدانس در طی جابجایی خود در داخل منحنی مشخصه رله واقع گشته، موجبات کار رله را فراهم می سازد، هر قدر امپدانس معادل شبکه که ژنراتور به آن وصل می باشد، همچنین نسبت نیروی الکتروموتوری در خروجی ژنراتور به نیروی الکتروموتوری معادل شبکه کمتر باشد، امپدانس دیده شده بیشتر خواهد بود. لازم است مشخصه رله از یک طرف به مشخصه کار اسنکرن بدون تحریک طبق منحنی 1 نزدیک بوده، از طرف دیگر به حالت کار اسنکرن با تحریک پاسخ ندهد. باتوجه به تنوع قابل ملاحظه در مشخصات کار اسنکرن، امکان اینکه امپدانس اندازه گیری شده در حالت اسنکرن با تحریک در ناحیه کار رله واقع گشته، رله به طور کاذب عمل نماید موجود می باشد، لذا به یک المان تاخیر زمانی مجهز می باشد. به منظور افزایش سرعت کار رله در حالت اسنکرن بدون تحریک، محدوده کار رله کاهش یافته، مشخصه امپدانس طبق منحنی 1 را محصور می نماید. چون فاصله زمانی تغییرات امپدانس در محدوده کار سنکرن و حالت اسنکرن با تحریک ناچیز می باشد، به منظور جلوگیری از کار رله در سایر حالات اسنکرن، تاخیر زمانی به میزان حداقل پیش بینی می شود. به همین ترتیب

استفاده از المان امپدانس با مشخصه های متفاوت امکان می دهد تا شرایط مختلف کار

اسنکرن ژنراتور ، با تحریک و یا بدون تحریک متمایز و تفکیک گردند .

نحوه کار رله شامل المان امپدانس ، المان جهتی و تأخیر زمانی مربوطه طبق مدار

منطقی شکل (17-4) می باشد ، المان اندازه گیر امپدانس دارای دو خروجی متفاوت II, I

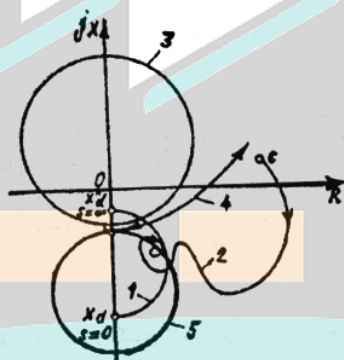
می باشد که از دو مشخصه مختلف طبق شکل b (18-4) نتیجه می شوند . ناحیه کار

المان I در ربع چهارم واقع بوده با یک هاشور مورب و ناحیه کار المان II در ربع سوم واقع

بوده با دو هاشور مشخص شده است مشخصه های فوق از نوع مشخصه های دایره مربوط

به دو المان طبق شکل a (18-4) نتیجه می شوند که در شکل (16-4) با نشان داده شده

اند مشخصه های مناسب تر طبق شکل b (18-4) نتیجه می شوند .



شکل (16-4) منحنی تغییرات امپدانس دیده شده در ترمینال های ژنراتور در قبال

کار اسنکرن با تحریک و بدون تحریک

منحنی 1: محدوده مشخصه کار ژنراتور در حالت اسنکرن بدون تحریک

منحنی 2: مشخصه امپدانس اندازه گیری شده در حالت اسنکرن بدون تحریک

منحنی 3: مشخصه کار اسنکرن ژنراتور با تحریک



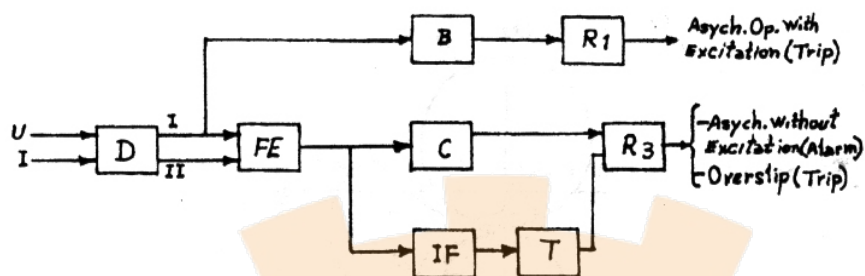
منحنی 4: بروز حالت *power swing* در شبکه

منحنی 5: امپدانس اندازه گیری شده در حالت بروز *power swing* در شبکه

منحنی 6: مشخصه کار رله برای قطع تحریک (*loss of field-LOF*)

دو خروجی مربوط به دو المان فوق به بلوک شکل دهنده *FE* وارد می شوند در هنگام بروز نوسانات اسنکرن ، امپدانس اندازه گیری شده با فرکانس $1-2$ سیکل بزرگانه به طور پریودیک در داخل ناحیه کار رله واقع شده ، از آن خارج می شود ، بدین ترتیب کار تناوبی و متوالی رله را موجب می شود . کار تناوبی رله به صورت قطع و وصل متوالی ، امپولس های متوالی را در بلوک *FE* وارد می سازد . این بلوک امپولس های حاصل از کار متوالی رله را به صورت امپولسهای تناوبی و منظم ظاهر می سازد . خروجی I قبل از المان *FE* به رله تاخیر زمانی B وارد شده ، المان R_1 را با تاخیر زمانی تحریک نموده ، حالت اسنکرن با تحریک را پس از تاخیر زمانی محدود مشخص می سازد که با ارسال فرمان قطع همراه می باشد .

به همین ترتیب کار المان R_2 منتقل می شود که حالت اسنکرن بدون تحریک را مشخص می سازد . این حالت نیز به اشکال گوناگون ظاهر می شود که در برخی از آنان قطع کلید خروجی ژنراتور ضروری بوده ، در برخی دیگر تنها ارسال آلارم کافی خواهد بود لذا خروجی *FE* از طریق دو کانال مختلف رله R_2 را تحریک می نماید .



شکل (4-17) مدار منطقی رله اندازه گیری امپدانس ژنراتور در حالت گوناگون کار

اسنکرن

D - المان اندازه گیری امپدانس ، FE -المان شکل دهنده یا *Forming Element* ،

B -المان تاخیر زمانی - C -المان شمارش امپدانس یا *Impulse Numbering* ،

$R1, R2$ + رله های صادر کننده فرمان قطع به ترتیب در قبال حالت اسنکرن با تحریک

و بدون تحریک ، IF -المان شکل دهنده امپدانس *Impulse Forming* ، T المان

اندازه گیر مدت امپدانس *Impulse Duration Measuring*

از طریق کانال C و با توجه به تعداد امپولس های قطع و وصل رله یا نوسانات ولتاژ

خروجی و سرعت تغییرات آن در واحد زمان که تعداد دفعات امپولس های کارله واحد

رمان آن را مشخص می سازد .

از طریق کانال KC که با توجه به لغزش دور ژنراتور عمل می نماید در صورت تجاوز

لغزش از حدود مشخص موجبات کار رله $R2$ و ارسال فرمان قطع را فراهم می سازد .

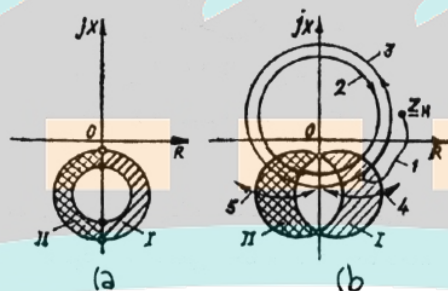
دو خروجی I و II دو مشخصه متفاوت رله اندازه گیری امپدانس نتیجه می شوند ،

مشخصه I در ربع چهارم واقع بوده ، در قبال تغییرات امپدانس ، در صورت قطع تحریک

طبق منحنی 1، شکل (16-4) عمل می نماید. چنانکه اشاره شد، ناحیه II نیز قرینه آن در ناحیه سه صفحه مختصات واقع می باشد.

سیگنالهای خروجی I, II با توجه به موقعیت بردار امپدانس در مشخصه های I یا II ظاهر می شوند. در حالات مختلف کار اسنکرن، سیگنال های I و II به شرح زیر در خروجی در المان های اندازه گیری امپدانس موجبات کار رله را فراهم می سازند.

قطع مدار تحریک ژنراتور در حالی که ژنراتور در حال کار سنکرن واقع می باشد در این حالت با برقراری شرایط کار اسنکرن منحنی امپدانس اندازه گیری شده توسط رله از ناحیه I به ناحیه IV صفحه مختصات طبق منحنی شکل b (18-4) جابجا می شود، در این حالت سیگنال I در خروجی المان D ظاهر شده از طریق المان تأخیر زمانی B رله RI را تحریک نموده، با ارسال فرمان قطع و یا آلارم قطع مدار تحریک را مشخص می سازد.



شکل (18-4) مشخصه کار رله در قبال حالت کار اسنکرن ژنراتور

a -مشخصه مناسب b -رله با مشخصه ایدال

بروز نوسانات در کار اسنکرن ژنراتور *Power Swing* در این حالت امپدانس اندازه گیری شده طبق فلش 4 جابجا شده به طور تناوبی وارد ناحیه کار رله I شده از آن خارج

می شود . به عات وارد و خارج گشتن مداوم و پریودیک بردار امپدانس در داخل ناحیه کار رله I رله به طور پریودیک با فرکانس $1-2$ سیکل بر ثانیه عمل نموده سیگنال های متوالی را در خروجی I ظاهر می سازد. با استفاده از تأخیر زمانی توسط المان B از کار نابجای رله در این حالت جلوگیری می شود . در هر بار که بردار امپدانس وارد ناحیه کار رله I در فاصله تأخیر زمانی رله B از تحریک افتاده . به اصطلاح *denergize* می شود . تأخیر زمانی رله B بیش از فاصله زمانی وارد و خارج گشتن بردار امپدانس در مشخصه رله I انتخاب می شود آن چنانکه در طی جابجایی بردار امپدانس ، رله B بیش از فاصله زمانی وارد و خارج گشتن بردار امپدانس در مشخصه رله انتخاب می شود . آنچنانکه در طی جابجایی بردار امپدانس ، رله B عمل ننماید .

هنگامی که محدوده مشخصه کار رله کاهش باید فاصله زمانی لازم به منظور وارد و خارج گشتن بردار امپدانس نیز تقلیل می یابد . لذا بلافاصله پس از تحریک رله Z بردار امپدانس از مشخصه I خارج شده رله از حالت تحریک خارج می شود . تحریک و قطع رله D کمتر از تأخیر زمانی رله B انتخاب می شود ، تا در قبال تغییرات سریع امپدانس یا حالت اسنکرن گذاری برقرار شده ، موجبات صدور فرمان قطع و یا آلارم را فراهم نسازد . این حالت به کار رله و ارسال آلارم از طریق رله R_2 منجر نمی شود . (المان شمارش C

و المان حساس به لغزش عمل نمی نمایند)

بروز نوسانات در کار سنکرن ژنراتور یا *Power Swing* (همراه با وصل تحریک یا گردش اسنکرن) : در این حالت بردار امپدانس طبق دایره های 2 و 3 جابجا شده ،



سیگنال در خروجی رله D به صورت لحظه ای ظاهر شده ، سپس قطع می شود ، چون بردار امپدانس به طور مداوم بر روی دایره های 2 و 3 واقع بوده ، بر روی آنان گردش می نماید ، در هر بار گردش بر روی دایره ، برای فاصله زماين کوتاه در مشخصه I رله وارد شده ، سپس از آن خارج می شود . لذا فرصت زمانی کافی به منظور کار رله تاخیر زمانی B موجود نخواهد بود . ولی هر دو سیگنال I و II باتوجه به وارد گشتن امپدانس در هر دو مشخصه رله Z ظاهر شده توسط المان FE به امپولس با فاصله زمانی مناسب تبدیل می شوند . در هر گردش بردار امپدانس Z با نوسان یک سیکل بر ثانیه ، ابتدا بردار وارد مشخصه I شده ، رله عمل نموده ، سپس وارد مشخصه II شده ، سیگنال I قطع شده ، سیگنال II ظاهر می شود ، با خارج گشتن از مشخصه II ، سیگنال II نیز قطع می شود . بدین ترتیب با هر جابجایی یک امپولس در خروجی رله FE ظاهر می شود . این امپولس توسط بلوک C شمارش شده ، هنگامی که تعداد امپولس ها از تعداد مشخص تجاوز نماید ، آلارم رله $R2$ ارسال شده ، نشان دهنده کار اسنکرن ژنراتور خواهد بود . در حالت اسنکرن که تحریک وصل بوده دور ژنراتور لغزش بالا را دارا می شود ، قطع سریع ژنراتور مورد نظر بوده این منظور از طریق بلوک KC تحقق می یابد . بلوک KC از دو المان جداگانه سری تشکیل شده است . المان اول IE با فاصله زمانی طولانی و مشخص را شکل داده ، المان دیگر T فواصل زمانی انسان را اندازه گیری می نماید . در صورت کافی بودن زمان امپولس ها ، رله R_2 تحریک شده در قبال هر دور گردش بردار امپدانس بر روی دایره 2 یا 3 در خروجی بلوک شکل دهنده FI امپولس ها با فاصله



معین ظاهر می شوند . فاصله زمانی بین امپولس ها متناسب با لغزش دور ژنراتور می باشد ، هنگامی که فاصله زمانی بین امپولس های خروجی از حدود مشخص کمتر شود . لغزش بیشتر دور ژنراتور می باشد . صرف نظر از تعداد آمپولس ها و شمارش آنان توسط بلوک C المان T تحریک شده ، رله R_2 تحریک و ژنراتور را قطع می سازد .

4-2-6- اضافه ولتاژ فرکانس 50 و اشباع هسته ژنراتورها

در ردیف شرایط کار غیر عادی ژنراتورها ، اشباع هسته می باشد . هنگامی که ژنراتور در حال کار عادی و بهره برداری با بار اسمی می باشد . نقطه کار آن بر روی منحنی مغناطیس کننده هسته سیم پیچی در قبال برقراری جریان بار اسمی ، در امتداد خطی ، نزدیک به نقطه شکست منحنی واقع می باشد . نقطه فوق حد فاصل امتداد خطی و امتداد افقی مربوط به ناحیه اشباع و غیر قابل قبول مدار مغناطیسی را مشخص می سازد که به نقطه $Knee - Point$ منحنی مغناطیس کننده موسوم می باشد . هنگامی که نقطه کار ژنراتور با ترانسفورماتور در مجاور نقطه فوق واقع باشد . افزایش ولتاژ به میزان محدود موجب جابجایی نقطه کار و قرا گرفتن آن در ناحیه اشباع یا امتداد افقی گشته ، افزایش قابل ملاحظه جریان تحریک (جریان مغناطیس کننده) را سبب می شود . کار در ناحیه اشباع با ایجاد فوران پیش بینی شده را سبب گردد .

اندوکسین بالا موجبات تولید حرارت را در هسته و صدمه و سوختن ایزولاسیون را فراهم می سازد . به همین علت جابجایی نقطه کار به ناحیه اشباع با ایجاد فوران مغناطیسی فوق العاده در هسته ژنراتور همراه بوده فوران بالا اندوکسیون قابل ملاحظه



بیش از اندوکسیون پیش بینی شده است را سبب می گردد . اندوکسیون بالا موجبات تولید حرارت را در هسته و صدمه و سوختن ایزولاسیون را فراهم می سازد . به همین علت جابجایی نقطه کار به ناحیه اشباع قابل قبول نبوده ، لازم است از جابجایی و اشباع هسته به ترتیب فوق جلوگیری شود جابجایی نقطه کار به ناحیه اشباع در قابل افزایش ولتاژ اسمی و یا کاهش فرکانس روی می دهد .

در بار اسمی جریان تحریک بیش از جریان در بی باری بوده ، نقطه کار در مجاور نقطه K یا نقطه شکست منحنی مغناطیس کننده واقع می باشد در صورت بروز عیب و قطع ناگهانی جریان بار ، رگولاتور ولتاژ عمل نموده ، جریان تحریک را تقلیل داده ، مانع از افزایش ولتاژ می گردد . بدین ترتیب موقعیت نقطه کار در امتداد خطی منحنی مغناطیسی کننده حفظ می شود . با توجه به اینرسی و ثابت زمانی رگولاتور ولتاژ و فاصله زمانی لازم به منظور کاهش جریان تحریک ، در لحظات اولیه پس از قطع کلید خروجی ژنراتور ، نقطه کار به صورت گذرا به ناحیه اشباع منحنی جابجا می شود .

مقابله با اشباع و اضافه فوران یا : *Over Flow (OF)* : اضافه فوران در هسته عبارت از جلوگیری از افزایش ولتاژ و یا کاهش فرکانس می باشد ، افزایش ولتاژ و یا کاهش فرکانس موجبات فزونی فوران را در هسته فراهم می سازند . افزایش ولتاژ ژنراتور در طی بهره برداری مورد مطالعه قرار می گیرد . افزایش ولتاژ به دو صورت استاتیک و یا دینامیک روی می دهد .

1- افزایش ولتاژ ناشی از تغییرات تدریجی بارهای اکتیو و راکتیو و خاصیت خازنی خطوط انتقال انرژی : ژنراتورها و نیروگاهها با قدرت $p > 100MW$ که به خطوط انتقال انرژی با طول بالا متصل می باشند ، در شرایط بی باری و یا باز بودن انتهای خطوط ، قدرت راکتیو خازنی تولید شده توسط خاصیت خازنی خطوط تحت عنوان قدرت راکتیو شارژ خطوط را دریافت می نمایند . در کلیه خطوط انتقال انرژی هنگامی که قدرت انتقالی خط از قدرت طبیعی کمتر شود ، مشخصه قدرت راکتیو خط از القایی به خازنی تغییر یافته ، افزایش ولتاژ را در ابتدای خط ، در محل ژنراتورها ، سبب می شود ، در شکل (4-19) تغییرات قدرت راکتیو ناشی از خاصیت القایی و خازنی خطوط بر حسب قدرت اکتیو برقرار شده در خط نشان داده شده است چنانکه دیده می شود به ازاء قدرت های $p > p_0$ قدرت راکتیو خط خازنی ، طبق ناحیه هاشور خورده خواهد بود .

قدرت طبیعی خط به امپدانس موجی هادیها ، شکل فیزیکی برج ها و موقعیت هادیهای سه فاز نسبت به یکدیگر بستگی دارد . با توجه به تغییرات محدود شکل برجها و موقعیت هادیهای سه فاز نسبت به یکدیگر بستگی دارد . با توجه به تغییرات محدود شکل برجها تغییرات امپدانس موجی در هر ردیف ولتاژ اسمی بر حسب شکل برج برای خطوط کلاسیک از حدود 5-10٪ تجاوز نمی نماید . در این صورت قدرت طبیعی خط به شرح زیر نوشته می شود :

$$P_0 = \frac{U^2}{Z^0}$$

با توجه به مقادیر مشخص ولتاژ و امپدانس طبیعی در هر خط قدرت طبیعی مقادیر معین و ثابت را در هر ردیف ولتاژ اسمی طبق رابطه فوق دارا می باشد . در جدول زیر امپدانس طبیعی و قدرت طبیعی خطوط برای ردیف های مختلف ولتاژ اسمی ارائه شده است .

400	230	132	63	20	ردیف ولتاژ اسمی $U_n (KV)$
350	430	440	440	450	امپدانس طبیعی $Z_0(\Omega)$
450	110	40	10	1	قدرت طبیعی $P_0(MW)$

جدول (I-4) امپدانس و قدرت طبیعی خطوط انتقال انرژی در ردیف ولتاژهای اسمی

مختلف

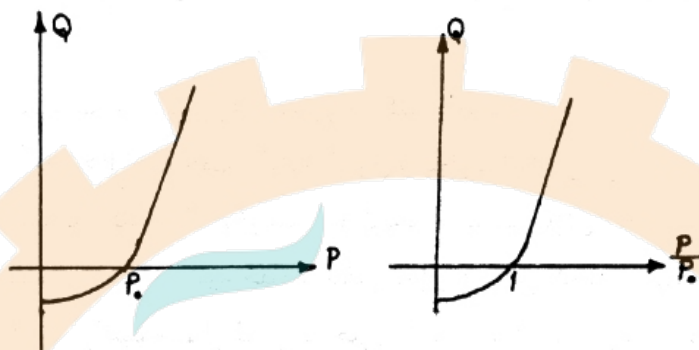
چنان که اشاره شد ، قدرت طبیعی P_0 در هر خط انتقال انرژی مقدار مشخص و معین

را دارا بوده ، به شکل برجها و موقعیت سه فاز و فاصله هندسی خط $GMD = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$

بستگی خواهد داشت ، لذا مستقل از بار خط بوده ، منحنی $Q(P)$ در شکل (I-4) بر

حسب نسبت $\frac{P}{P_0}$ رسم شده رابطه ان به شرح زیر می باشد :

$$Q = P_0 \lambda \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^2 - 1 \right]$$



شکل (19-4) قدرت رآکتیو تولید و مصرف شده توسط خطوط انتقال

λ - طول موج که به شرح زیر برآورد می شود :

l - طول خط به کیلومتر،

V - سرعت انتشار موج معادل 300000 km/s

بر طبق جدول 1 هنگامی که بار خطوط 230 KV از حدود 110 MW و بار خطوط KV

400 از حدود 450 MW کمتر شود مشخصه خط به خازنی تغییر یافته خط قدرت راکتیو

تولید نموده ، موجی می گردد تا ولتاژ در محل ژنراتور به میزان قابل ملاحظه افزایش می

یابد . این پدیده در طول ساعت شب روی می دهد . در این سرعت بخش عمده مصرف

کننده های شبکه شامل مراکز تجاری ، مسکونی و تولیدی قطع شده تنهای روشنایی معایر

و مراکز تولید صنعتی که به صورت سه شیفت کار می نمایند ، انرژی دریافت می نمایند .

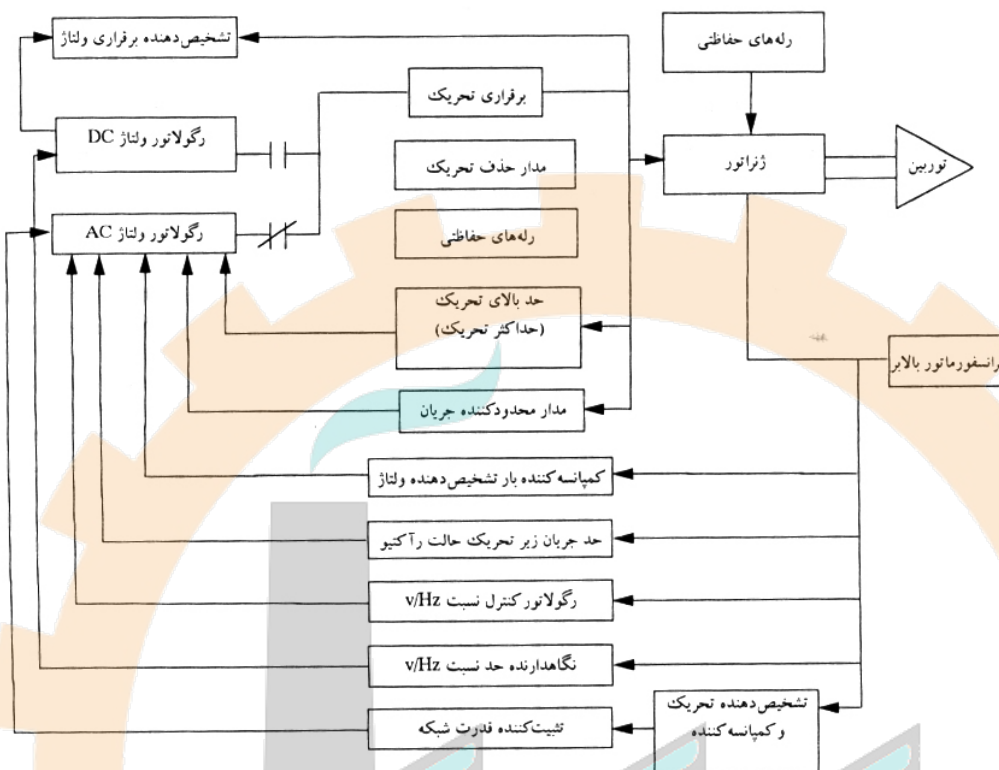
قدرت رآکتیو تولید شده موجبات افزایش ولتاژ ژنراتور را فراهم می سازد ، کاهش

ولتاژ مستلزم تولید قدرت رآکتیو القایی توسط ژنراتور خواهد بود ، که موجب می گردد



تا ژنراتور در حالت فوق تحریک قرار گیرد . افزایش جریان تحریک ژنراتور تا حد معین قابل قبول می باشد که با توجه به منحنی توانایی یا ظرفیت قدرت اکتیو – رآکتیو ژنراتور طبق شکل 6-1 تعیین می شود . افزایش و تنظیم مناسب جریان تحریک و حفظ ولتاژ ژنراتور در حدود مشخص به روش کنترل ولتاژ و جلوگیری از افزایش غیر قابل قبول جریان تحریک و رله های حفاظتی پیش بینی شده بستگی خواهد داشت .

روش کنترل ولتاژ خروجی ژنراتور با استفاده از تنظیم جریان تحریک و عوامل موثر در تنظیم و کنترل آن در شکل 20 نشان داده شده است . رله های مناسب به منظور جلوگیری از تولید هر چه بیشتر قدرت رآکتیو توسط ژنراتور یا حد افت حرارتی در قسمت قبل مورد مطالعه حرارتی در قسمت قبل مورد مطالعه قرار گرفت . افزایش ولتاژ با اضافه فوران در هسته همراه بوده درجه حرارت هسته ژنراتور افزایش یافته ، احتمال سوختن عایق موجود در لابلای ورق های هسته موجود می باشد .



شکل (4-20) روش کنترل جریان تحریک و حفاظت الکتریکی

4-2-7- تبدیل شرایط کار ژنراتور به حالت *Out-Of-Setp* و پیش بینی محافظت

دییستانس به منظور تشخیص عیوب خارجی و عدم قطع کلید خروجی

در واحدها با قدرت بالا به منظور جلوگیری از ادامه کار ژنراتور در قبال برقراری جریان های عیب ناشی از اتصالی ها در خارج ، ژنراتور (شبکه ژنراتور و فاصله ژنراتور

تا ترانسفورماتور) رله دیستانس استفاده می شود .

با بروز عیب در شبکه مورد تعدیل ژنراتور، پیش بینی شده در شبکه فوق نظیر

محافت های خطوط خروجی نیروگاه و ایستگاههای مجاوز تحریک شده به منظور قطع



جریان در حداقل فاصله زمانی عمل می نمایند . در صورت نیروگاه و ایستگاههای مجاور تحریک شده به منظور قطع جریان در حداقل فاصله زمانی عمل می نمایند . در صورت از کار افتادن این رله ها و ادامه برقراری جریان عیب تا فاصله زمانی $200-300\text{ ms}$ ژنراتور تحت تأثیر جریان قابل ملاحظه عیب با افت ولتاژ و افزایش مصرف قدرت رآکتیو روبرو گشته از دور سنکرن خارج شده ، در شرایط کار اسنکرن همراه با تحریک واقع می شود که به عنوان حالت *Out - Of - Step* موسوم می باشد . شرایط کار *Out - Of - Step* حالت خاص کار اسنکرن ژنراتور همراه با تحریک می باشد که در پی بروز عیوب در شبکه خارج ژنراتور و در خطوط جداگانه به همین عنوان پیش بینی می شود کار رله فوق در صورت عدم کار رله های حفاظت اصلی خطوط انتقال در دراز مدت فر اهم می شود . لذا به عنوان محافظت *Back-Up* در قبال عیوب خارجی نیز محسوب می گردد. رله از نوع دیسانس با منحنی های مشخصه متفاوت می باشد که در صورت برقراری جریان عیب ، در حالی که تحریک وصل می باشد ، امپدانس متفاوت تر حالت فقدان تحریک مورد بحث می باشد .



4-3-1- عیوب الکتریکی روی داده در ژنراتورها

ژنراتورها به عنوان ماشینهای سنکرون شامل سیم پیچی ثابت سه فاز، تحت ولتاژ متناوب و سیم پیچی جریان مستقیم واقع بر رتور در حال گردش با دور سنکرون می باشند. ولتاژ سیم پیچی ژنراتور بر حسب قدرت ژنراتور طبق جدول (4-2) می باشد ولتاژ مستقیم سیم پیچی های رتور در حدود 500-1000 ولت بر حسب قدرت ژنراتور می باشد. ایزولاسیون سیم پیچی های استاتور تحت ولتاژ متناوب اسمی، از نوع خشک مشابه ایزولاسیون موتورها می باشد. سیم پیچی های سه فاز در مجاور یکدیگر در محیط پیرامون استاتور واقع می باشند. اختلال در ایزولاسیون فاز- فاز و فاز- زمین و ایزولاسیون حلقه- حلقه سیم پیچی های استاتور روی می دهد. همچنین احتمال بروز کرنا و تخلیه جزیی در محل خمیدگی ها و هاریهای ارتباطی سیم پیچی ها و در محل ترمینالها موجود می باشد. بروز عیب و اتصالی در سیم پیچی های رتور به علت ولتاژ محدود آن و ایزولاسیون کافی آن، نادر می باشد، با این همه احتمال بروز عیب لازم است در نظر گرفته شود.

به طور کلی عیوب الکتریکی روی داده در ژنراتورها به شرح زیر می باشند:

- 1- اتصالی های بین فاز در طول سیم پیچی های استاتور
- 2- اتصالی های تک فاز و یا دو فاز سیم پیچی های سه فاز استاتور یا بدنه استاتور
- 3- اتصالی حلقه- حلقه در سیم پیچی استاتور

4- بروز عیب در سیم پیچی رتور که جریان مستقیم در آن برقرار می باشد، شامل

اتصال سیم پیچی ها با بدنه، اتصال های حلقه - حلقه و قطع سیم پیچی رتور.

عیوب روی داده به شرح سه بند 1 تا 3 در سیم پیچی های استاتور واقع در محدوده ترمینالهای خروجی سه فاز تا نقطه نول روی می دهند، در محدوده فوق ایزولاسیون از نوع سخت بوده، عیب در ایزولاسیون خشک سیم پیچی ها روی داده، قوس ناشی از اتصال در هوا، از طریق ماده ایزوله سخت (*Rigid*) برقرار می شود. در حالی که قوس و تخلیه جزیی در سایر تجهیزات فشار قوی از جمله ترانسفورماتورها در داخل روغن به عنوان ماده ایزوله از نوع مایع روی داده، از طریق گاز حاصل در روغن توسط رله گاز قابل تشخیص می باشد. در ژنراتورها و موتورهای بروز جرقه و تخلیه جزیی به سهولت قابل تشخیص نمی باشد. که در زمان *over hall* ژنراتور و باز بینی سیم پیچ ها دیده می شود که رنگ عایقی سیم پیچ ها تغییر کرده است. عکس (4-1)





Power Plant Academy



به طور کلی خصوصیات انواع مختلف اتصالی ها در سیم پیچی های استاتور به شرح زیر می باشد.

الف- اتصالی های بین فاز در سیم پیچی های استاتور ژنراتور، بروز این نوع عیب در سیم پیچی های استاتور با برقراری جریان عیب قابل ملاحظه همراه می باشد. مقدار جریان عیب به قدرت اتصال کوتاه شبکه، مشخصات ژنراتور و لحظه بروز عیب بستگی دارد. چنانچه ژنراتور به صورت جدا مستقل مورد بهره برداری بوده، با ژنراتور دیگری پارالل نباشد، مقدار جریان عیب تنها تحت تأثیر نیروی الکتروموتوری سیم پیچی ها برقرار خواهد گردید. که به محل بروز عیب در طول سیم پیچی ها بستگی خواهد داشت. بدین ترتیب مقدار جریان عیب با توجه به تعداد حلقه ها واقع بین نقطه عیب و نقطه نول

مشخص می شود. شکل (4-21)

$$I_{\alpha} = \frac{E_{ph}}{\sqrt{\left(\frac{R_t}{\alpha} + R\right)^2 + \alpha^2 X_w^2}}$$

E_{ph} = نیروی الکتروموتوری هر فاز ژنراتور به ازاء: $\alpha = I$

R = مقاومت اهمی سیم پیچی ها

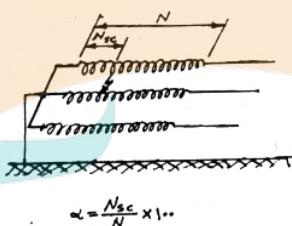
R_t = مقاومت قوس در محل بروز عیب (مقاومت اهمی گذاری محل عیب)

X_w = راکتانس سیم پیچی استاتور

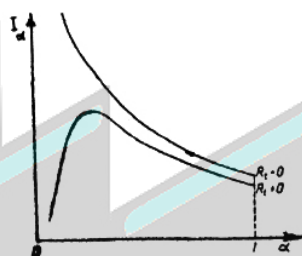
تغییرات جریان عیب بر حسب محل عیب یا α برای دو مقدار متفاوت $R_t = 0$ و $R_t \neq 0$ در شکل (4-22) نشان داده شده است. همچنانکه اشاره شد مقدار جریان عیب مربوط به هنگامی است که ژنراتور به طور مستقل و جداگانه در حال کار بوده، شبکه مصرف را تغذیه نماید. به طور معمول کار مستقل و جداگانه ژنراتور نادر بوده، ژنراتورهای بزرگ به صورت پارالل با یکدیگر و با شبکه مورد بهره برداری قرار می گیرند. در این حالت جریان اتصال فاز- فاز استاتور از دو منبع جداگانه و مستقل تأمین و برقرار می شود. منبع اول را شبکه پارالل یا ژنراتور با شبکه مورد تغذیه توسط ژنراتور تشکیل می دهد، شکل (4-23) که شامل واحدهای تولید جداگانه بوده، با قدرت اتصال کوتاه خود مشخص می شود. منبع دوم نیروی الکتروموتوری القاء شده در سیم پیچ های اتصال کوتاه شده می باشد. منبع اول جریانی را برقرار می سازد که معادل جریان اتصال کوتاه شبکه بوده با توجه به قدرت اتصال کوتاه آن برآورد می شود، در منحنی های فوق ژنراتور جدا از شبکه و یا در حال کار مستقل فرض شده، جریان اتصال کوتاه برقرار شده از سمت

شبکه تغذیه در آن در نظر گرفته نشده است. در شکل (4-23) جریان برقرار شده

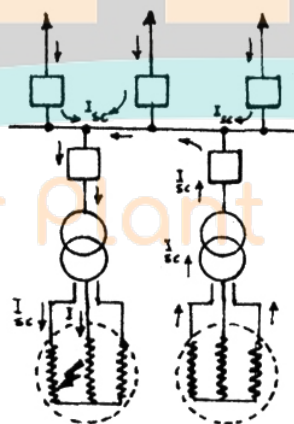
از طرف شبکه در سیم پیچی های ژنراتور نشان داده شده است.



شکل (4-21) نمایش ضریب در درصد سیم پیچی



شکل (4-22) تغییرات جریان عیب بر حسب ضریب برای اتصالی های فاز زمین



شکل (4-23) برقراری جریان عیب از شبکه به سیم پیچی های ژنراتور



اتصال یک فاز به زمین: مقدار جریان اتصال تک فاز به زمین در ژنراتورها به وضعیت نقطه نول ژنراتور بستگی خواهد داشت. به همین علت اتصال و یا عدم اتصال نقطه نول ژنراتور به زمین حائز اهمیت فراوان بوده، مقدار جریان اتصال برقرار شده را مشخص می سازد. فاصله زمانی قطع جریان عیب میزان صدمه به ژنراتور و سیم پیچی ها را تعیین می نماید. با توجه به درصد قابل ملاحظه اتصال های فاز - زمین بالغ بر 80-90٪ و صدمه وارده به سیم پیچی ها در پی برقراری آن، روش مناسب زمین نمودن نقطه نول و پیش بینی های رله های آن با توجه به امکان انجام SD و یا عدم آن در دستورالعمل های استاندارد ارائه شده است. از جمله استاندارد آمریکا و دستورالعمل نقطه نول ژنراتورها تحت عنوان: "ANSI/IEEE-C37-101" موسوم به: "Guide for AC Generator Grounding" می باشد.

ج - اتصال های حلقه - حلقه: اتصال های حلقه - حلقه در یک سیم پیچی و یا در سیم پیچی های موازی روی می دهند. بروز این نوع اتصال در فازها نادر می باشد. جریان اتصال با توجه به نیروی الکتروموتوری سیم پیچی های واقع بین دو حلقه اتصال کوتاه شده حاصل می شود. اتصال حلقه - حلقه موجب بروز عدم تقارن در جریان های سه فاز شده، با عوارض مکانیکی از جمله لرزش در طی بهره برداری ژنراتور همراه می باشد. هنگامی که اتصال بین دو یا چند حلقه مجاور روی دهد، عدم تعادل محدود بوده، فرصت کافی به منظور کاهش تدریجی بار ژنراتور موجود خواهد بود. (بر حسب مقدار جریان



بین 15 تا 40 دقیقه) در این حالت به SD واحد نیاز نمی باشد. این نوع اتصالی به روش مخصوص و با استفاده از محافظت دیفرانسیل عرضی و طرح مناسب سیم پیچی ها تشخیص داده می شود.

د- عیوب روی داده در سیم پیچی رتور: سیم پیچی موتور تحت ولتاژ مستقیم واقع بوده، منبع تغذیه آن نیز ایزوله از زمین می باشد، لذا اتصالی الکتریکی یک نقطه از سیم پیچی به زمین، جریان را در زمین برقرار نخواهد ساخت. با این همه بروز اتصالی دوم در سیم پیچی رتور شرایط کار خطرناک ژنراتور را از نظر الکتریکی و مکانیکی فراهم می سازد. از نظر الکتریکی سبب مختل گشتن تقارن در میدان مغناطیسی قطبها گردیده، عدم تعادل الکتریکی را در ولتاژهای سه فاز خروجی ژنراتور ظاهر می سازد. از نظر مکانیکی لرزش مکانیکی در محور و بدنه استاتور را موجب می شود، چنانچه اتصال دوم توأم با بروی قوس بوده، به موقع تشخیص داده نشود، صدمه کامل به رتور و استاتور را موجب می شود.

عیوب الکتریکی روی داده در سیم پیچی رتور و نحوه مقابله با آنان به نوع رتور از نظر تأمین جریان مستقیم بستگی خواهد داشت. جریان مستقیم مورد نیاز سیم پیچی های رتور که قابل تنظیم بوده، از نظر کنترل ولتاژ، تنظیم قدرت راکتیو و حفظ و پایداری ژنراتور حائز اهمیت فراوان می باشد، به طرق مختلف در ژنراتورها تأمین می شود. طرق مختلف تأمین جریان مستقیم رتور به شرح زیر می باشد:

1- ژنراتور جریان مستقیم کوپله شده به محور ژنراتور واقع در انتهای محور ژنراتور

2- ژنراتور جریان AC که از طريق يکسو کننده ها واقع بر محور ژنراتور و در حال گردش با آن به جريان مستقيم تبديل می شود، در شکل (4-24) نمونه تحريك فوق نشان داده شده است. B سيم پيچي تحريك ژنراتور G ، $B1$ - يکسو کننده تغذيه سيم پيچي تحريك، $S1$ - سيم پيچي استاتور ژنراتور AC ، $B2$ - سيم پيچي تحريك ژنراتور تحريك APB - رگرلاتور تنظيم ولتاژ اتوماتيك (AVR) *Automatic Voltage Regulator*

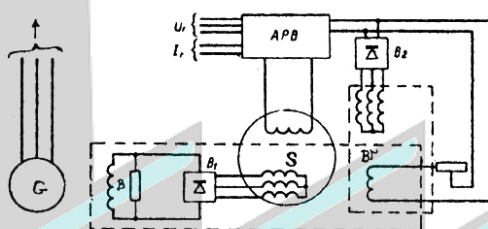
3- استفاده از منبع کمکی ژنراتور، (*Generator System*) و تبديل آن جريان مستقيم توسط يکسو کننده های ساکن واقع در خارج از بدنه ژنراتور. در شکل (4-25) نمونه تحريك فوق نشان داده شده است. $m1$ و $m2$ ترانسفورماتورهای يکسو کننده تغذيه يکسو کننده های $n1$ و $n2$. عيوب روی داده در منبع تغذيه جريان تحريك و يکسو کننده ها نیز در ردیف عيوب رتور محسوب می شوند. به عنوان مثال بروز عيب در سيستم سه فاز تغذيه يکسو کننده ها، در دو بند 2 و 3 و بروز عيب در يکسو کننده ها، عيب در مدار رتور محسوب می شود. به طور خلاصه عيوب روی داده در سيم پيچي رتور به شرح زیر می باشند.

الف - عيوب روی داده در سيم پيچي رتور:
- قطع مدار سيم پيچي رتور، - اتصال سيم پيچي رتور به بدنه، - اتصال حلقه - حلقه

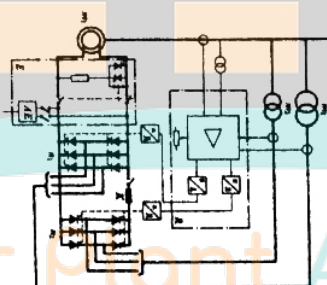
سيم پيچي رتور

در شکل 1-38 نمونه منحنی های ولتاژ و جریان AC و DC در پی اتصالی دو پل + و -
در خروجی یکسو کننده های تغذیه سیم پیچی تحریک از نوع استاتیک تغذیه شده از سه
فاز AC نشان داده شده است.

- ب- عیوب روی داده در منبع تغذیه و یکسو کننده ها شامل:
- عیب تعادل در ولتاژهای سه فاز تغذیه یکسو کننده ها
- عیب فاز-فاز یا حلقه-حلقه در مدار تغذیه ترانسفورماتور یکسو کننده یا ژنراتور AC
- اضافه جریان در مدار تغذیه روتور



شکل (4-24) یکسو کننده واقع بر بدنه روتور به منظور تامین جریان مستقیم روتور



شکل (4-25) تامین جریان مستقیم روتور از طریق ترانسفورماتور جداگانه متصل به

خروجی ژنراتور



شکل (4-26) تغییرات ولتاژ و جریان روتور در پی اتصال دو قطب مثبت منفیدر سیم

پیچ تحریک تغذیه شده از منبع استاتیک طبق شکل (4-25)

- قطع سیستم خنک کنندگی یکسو کننده ها در رتور که طبق بند 2 و 3 تأمین

می شود.

- افزایش درجه حرارت ژنراتور AC تغذیه یکسو کننده ها و بروز عیب در سیستم

خنک کنندگی آن.

- عیوب مکانیکی و لرزش رتور

قدرت مدار تحریک ژنراتور به حدود $0/3 - 0/8$ درصد قدرت اسمی ژنراتور بالغ

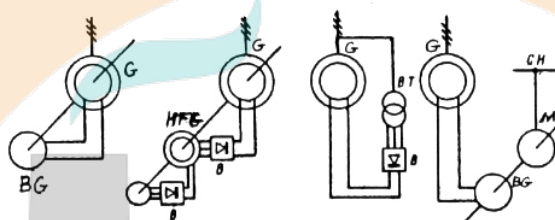
می شود، به عنوان مثال در توربوژنراتور با قدرت اسمی $300 MVA$ قدرت ژنراتور

تحریک حدود $1/5 MW$ خواهد بود (معادل $0/5\%$)

در شکل (4-27) روشهای مختلف تأمین جریان DC رتور نشان داده شده است.

تجهیزات نشان داده شده در شکل فوق به شرح زیر می باشند.

G- ژنراتور اصلی، HFG- ژنراتور فرکانس بالا، BG- ژنراتور جریان مستقیم، B- یکسو کننده AC به DC BT- ترانسفورماتور یکسو کننده، M- موتور آسنکرون تغذیه شده از شبکه AC، CH- شینه تغذیه داخلی نیروگاه.



شکل (4-27) نمایش روش های مختلف تامین جریان مستقیم

4-3-2- مقابله با بروز عیب در ژنراتورها و مراحل Shut-Down ژنراتور

ژنراتورها مشابه سایر تجهیزات فشار قوی مجهز به کلید در خروجی خود می باشند. با بروز عیب در داخل ژنراتور به عنوان مثال عیب فاز- فاز در سیم پیچی های استاتور، بخشی از جریان عیب از سیم پیچی های استاتور و بخش دیگر از طریق شبکه برقرار می گردد. که در شکل 1-35 نشان داده شده است. جلوگیری از صدمه به ژنراتور و کنترل جریان عیب مستلزم قطع هر دو جریان خواهد بود. جریان عیب برقرار شده از طرف شبکه، با استفاده از کلید خروجی ژنراتور قطع می گردد. برای این منظور رله های محافظتی مناسب برای عیوب مختلف روی داده در ژنراتور پیش بینی شده در صورت بروز عیب کلید خروجی ژنراتور را قطع می نمایند. بخشی دیگر از جریان عیب که از طریق نیروی الکتروموتوری القاء شده در ژنراتور برقرار می شود، مستلزم قطع میدان



مغناطیسی ژنراتور و توقف رتور خواهد بود. میدان مغناطیسی ژنراتور با قطع جریان رتور و حرکت دورانی آن با قطع نیروی محرک توربین (شیر بخار ورودی به توربین یا دریچه‌های تنظیم آب در هیدرو توربین) امکان پذیر می باشد. علیرغم قطع جریان رتور، ولتاژ محدود با توجه به میدان مغناطیسی پس ماند هسته رتور، در سیم پیچی ها القاء می شود به همین علت لازم است همزمان با قطع کلید خروجی، مدار تحریک ژنراتور قطع شده، انرژی مغناطیسی مدار تحریک قطع شود، برای این منظور همزمان با قطع مدار تحریک، سیم پیچی تحریک با مقاومت اهمی موسوم به مقاومت تخلیه موازی وصل می شود. این پیش بینی تفاوت دیگر محافظت ژنراتورها را با سایر تجهیزات فشار قوی نشان می دهد.

بدین ترتیب بروز هرگونه عیب داخلی و صدور فرمان قطع کلید خروجی با قطع همزمان جریان رتور، وصل سیم پیچی رتور به مقاومت تخلیه و قطع انرژی مکانیکی تحویل شده به توربین همراه خواهد بود. در این صورت ژنراتور از شبکه جدا شده، رتور فاقد انرژی مغناطیسی متوقف می شود. قطع انرژی مکانیکی با بسته شدن اتوماتیک شیر بخار ورودی در توربینهای بخار و یا دریچه های تنظیم آب در توربینهای آبی و یا شیر سوخت در توربین های گازی صورت می پذیرد.

به طور خلاصه در پی بروز عیب در ژنراتور نظیر انواع مختلف اتصالی ها که وارد گشتن صدمه و از کار افتادن ژنراتور قطعی خواهد بود. لازم است کلیه مراحل فوق شامل قطع مدار تحریک، وصل سیم پیچی تحریک به مقاومت تخلیه، بسته شدن دریچه سوخت

و قطع انرژی مکانیکی توربین همزمان با قطع کلید خروجی ژنراتور صورت گیرند. اجرای مراحل فوق به عنوان *Shut-Down (SD)* ژنراتور موسوم می باشد. *Shut-Down* ژنراتورها تنها در قبال عیوب خاص و صدمه قطعی به ژنراتور پیش بینی می شود، عیوب و اشکالاتی که *Shut Down* ژنراتور را ضروری می سازد، در استانداردها آورده شده اند. اگرچه *SD* واحد در پی کار رله های الکتریکی و مکانیکی ژنراتور به منظور جلوگیری از صدمه بیشتر پیش بینی شده است، با این همه انجام *SD* و قطع و وصل کلیدهای مختلف و توقف ناگهانی ژنراتور چندان مطلوب نمی باشد. به همین علت پیش بینی های لازم به منظور احتراز از *SD* صورت می پذیرد که در قسمت بعد شرح داده خواهد شد. در برخی موارد مربوط به کار غیرعادی ژنراتور، قطع کلید خروجی ژنراتور کافی خواهد بود. در این حالت نیازی به *SD* ژنراتور، قطع مدار تحریک، قطع انرژی مکانیکی و توقف رتور نخواهد بود. این حالت به عنوان قطع انرژی یا اصطلاحاً *Trip* موسوم می باشد.

3-3-4- کار غیرعادی ژنراتورها (Generators Abnormal OP.)

شرایط بهره برداری عادی و منظم ژنراتور در طی کار پارالل با شبکه مستلزم حفظ حالت سنکرن می باشد، هرگونه اختلال در کار سنکرن ژنراتور نظیر تغییر فرکانس، قطع تحریک، کار آسنکرن و غیره به عنوان بهره برداری غیرعادی ژنراتور یا *Abnormal Operation* محسوب می شود. گذشته از اختلال در کار سنکرن ژنراتور، بروز عیب الکتریکی در مدار خارج ژنراتور، عدم تقارن در نوع بار، قطع و وصل ناگهانی بارهای اکتیو و رآکتیو شبکه نیز شرایط کار عادی ژنراتور را تحت تأثیر قرار داده، کار غیرعادی آن را



در کوتاه مدت موجب می شوند. امکان بهره برداری مداوم ژنراتور در طی کار غیرعادی آن موجود نبوده، ادامه کار ژنراتور به صورت غیر عادی، صدمه به سیم پیچی ها و اختلال در ایزولاسیون یا اتصال الکتریکی سیم پیچی ها را موجب می شود.

در طول مدت بهره برداری غیر عادی ژنراتور مشخصات اسمی تعیین شده را دارا نخواهد بود، به عنوان مثال هنگامی که دور ژنراتور از دور سنکرن و حدود قابل قبول آن تجاوز نموده یا کاهش یابد، شرایط کار غیرعادی ژنراتور را موجب می شود. بروز لرزش و نوسان در رتور و ژنراتور نیز در ردیف کار غیر عادی ژنراتور محسوب می شود. هنگامی که شرایط کار غیرعادی ژنراتور تشخیص داده نشده، ادامه یابد به بروز اختلال در ایزولاسیون سیم پیچی های استاتور و رتور منجر خواهد شد که در این حالت رله های حفاظتی پیش بینی شده به منظور تشخیص عیب در ژنراتور عمل خواهند نمود. به همین علت مقابله با شرایط کار غیر عادی ژنراتور و تشخیص به موقع آن حائز اهمیت فراوان می باشد.