



آشنایی با نیروگاه گازی



Mobin petrochemical co.

MEHDI MAJIDI

Autumn - 1387



چهار روش برای اتلاف وقت وجود دارد:
کار نکردن، کم کار کردن، بد کار کردن و کار بیوده کردن.

پیشگفتار

با توجه به نقش حیاتی انرژی الکتریسیته در ساختار زیربنایی صنعت و اقتصاد کشور، لزوم توجه به نیروگاه های برقی به عنوان منبع اصلی تولید انرژی الکتریسیته اهمیت بسیاری پیدا می کند. توان تولیدی این نیروگاه ها از طریق شبکه سراسری به شهرها و مراکز صنعتی، کشاورزی، تجاری و... منتقل می شود تا چرخه اقتصادی کشور به حرکت در آید. در واقع بدون وجود نیروگاه ها، سخن گفتن از مقوله ای به نام صنعت برق بیهوده است.

انواع نیروگاه های تولید برق

در میان پرکاربردترین و مهمترین نیروگاه های متداول در جهان و ایران می توان از نیروگاه های حرارتی نام برد. این نوع نیروگاه ها مبدل هایی هستند که انرژی نهفته در سوخت های جامد، مایع، گازی و یا سوخت های هسته ای را به انرژی برق تبدیل می کنند. نیروگاه های حرارتی، طیف وسیعی از نیروگاه ها را در بر می گیرند که از آن جمله می توان به نیروگاه های بخاری، گازی، چرخه ترکیبی، دیزلی و هسته ای اشاره نمود. نوع بسیار متداول نیروگاه های حرارتی، نیروگاه بخاری می باشد. در این نوع نیروگاه با مشتعل شدن سوخت های فسیلی، آب سیکل تبدیل به بخار میشود سپس انرژی بخار تولیدی سبب چرخش توربین و در نهایت تولید انرژی برق میگردد. تفاوت اساسی نیروگاه های گازی با بخاری در آن است که سیال سیکل توربین گازی، هوای محیط می باشد. اما نیروگاه های چرخه ترکیبی، متشکل از واحدهای گازی و بخاری می باشند که در آنها به منظور افزایش بازده کل حرارتی و بازیافت بخشی از انرژی باقی مانده در گازهای خروجی از توربین های گازی، این گازها را به یک دیگ بخار بازیاب هدایت میکنند. بخار حاصل از این طریق، توربین بخاری را به گردش در می آورد.

از مهمترین نیروگاه های حرارتی می توان به نیروگاه های هسته ای اشاره نمود. در این نوع نیروگاه ها معمولاً با استفاده از انرژی نهفته در سوخت های هسته ای (اورانیوم غنی شده، پلوتونیوم و...) بخار با انرژی نهفته بسیار زیادی تولید میشود. با استفاده از انرژی بخار تولید شده، توربین بخاری به چرخش در می آید و در نهایت انرژی الکتریکی تولید میشود. در نیروگاه های برق آبی، عامل و سیال واسطه، جریان آب و یا انرژی پتانسیل آب پشت سدها و آب بندها است. نیروگاه های جریان رودخانه ای و نیروگاه های برق آبی از این نوع نیروگاه هستند. از انرژی موجود در جریان آب رودخانه ها می توان در چرخاندن پره های یک توربین آبی برای تولید انرژی مکانیکی (و پس از آن تولید الکتریکی توسط ژنراتورها) بهره جست. همچنین با ایجاد سدها و ذخیره سازی آب رودخانه ها در پشت این سدها می توان از انرژی پتانسیل نهفته در آب پشت سد (برای به چرخش در آوردن توربین ها) نیز استفاده نمود. در حال حاضر نیروگاه های حرارتی بیشترین سهم را در تولید و تامین انرژی برق مورد نیاز صنعت برق بر عهده دارند. علاوه بر نیروگاه های بخاری، هسته ای، گازی، چرخه ترکیبی و آبی که کاربرد بیشتری دارند، می توان از انواع زیر نیز نام برد :

۱- نیروگاه دیزلی

۲- نیروگاه تلمبه ذخیره ای

۳- نیروگاه خورشیدی

۴- نیروگاه بادی

۵- نیروگاه زمین گرمایی^۱

۶- نیروگاه آبی با امواج دریا

۷- نیروگاه آبی جذر و مدی^۲

نیروگاه های گازی

مقدمه

یکی از نیروگاه های کاربردی در شبکه های قدرت، نیروگاه های گازی می باشد که در کشور ما سهم کمی از تولید را بر عهده دارند. سیال این نیروگاه ها که بر پایه یک سیکل باز است هوای محیط می باشد. تجهیزات اساسی این سیکل شامل کمپرسور، محفظه احتراق و توربین می باشد که نسبت به نیروگاه های بخاری بسیار کم است. این نوع نیروگاه ها بیشتر در بار پیک شبکه ها مورد استفاده قرار می گیرند.

با توجه به دو مشکل اساسی نیروگاه های گازی یعنی بازده کم آن و تلفات حرارتی زیاد (ناشی از هوای داغ خارج شده از توربین گازی) استفاده از نیروگاه های چرخه ترکیبی مفید به نظر می رسد. در واقع عموماً نیروگاه های چرخه ترکیبی از دو سیکل گازی و بخاری تشکیل شده اند تا با استفاده از انرژی حرارتی هوای خارج شده از توربین نیروگاه گازی در دیگ بخار بازیا سیکل بخاری، بخار مناسبی برای به چرخش در آوردن توربین بخاری یا استفاده در صنایع (به طور مثال برای واحد آب شیرین کن و...) مهیا شود. در نتیجه بازده این نیروگاه ها و تلفات حرارتی آنها نسبت به نیروگاه های گازی بهبود می یابد. در این قسمت به بررسی تجهیزات اساسی و جانبی این نیروگاه ها می پردازیم.

تجهیزات نیروگاه گازی

مقدمه

تجهیزات اساسی نیروگاه گازی شامل کمپرسور، محفظه احتراق و توربین گازی می باشد. در قسمت کمپرسور، فشار هوای ورودی زیاد می شود و در محفظه احتراق، سیال هوا با فشار زیاد گرم می گردد. سیال خروجی از محفظه احتراق، هوای با دما و فشار زیاد است. برای اینکه هوای ورودی به توربین، محور چرخنده آنرا به حرکت درآورد باید هوای با فشار زیاد تبدیل به هوای با سرعت زیاد شود. این کار توسط نازل ابتدای توربین انجام می شود. سپس سرعت زیاد هوا باعث چرخش روتور توربین می شود و حرکت دورانی محور چرخنده، تولید انرژی مکانیکی می کند. البته تجهیزات جانبی دیگری برای هر کدام از این وسایل وجود دارد که در قسمت های بعدی به تشریح تجهیزات مذکور خواهیم پرداخت.

کمپرسور

کمپرسورها وسایلی هستند که با مکش هوای محیط به درون خود فشار آن را افزایش می دهند. کمپرسورهای بکار رفته در توربین گازی شامل دو نوع کمپرسور محوری^۱ و کمپرسور گریز از مرکز^۲ می باشند. البته در نیروگاه های گازی عموماً از کمپرسورهای محوری استفاده می شود.



^۱ - Axial compressor

^۲ - Centrifugal compressor

کمپرسور محوری

در کمپرسورهای محوری مشابه توربین های نیروگاه از دو دسته پره های ثابت (متصل به بدنه کمپرسور) و پره های متحرک (متصل به محور کمپرسور) استفاده می شود. ابتدا سیال هوا توسط ردیفی از پره های متحرک شتاب می گیرد و سپس عمل پخش کردن هوا به وسیله پره های ثابت انجام می شود.

پره های ثابت علاوه بر اینکه وظیفه ایجاد زاویه مناسب سیال هنگام ورود به پره های متحرک را دارند، خاصیت پخش کنندگی نیز خواهند داشت. خاصیت پخش کنندگی به این معناست که سرعت سیال ضمن عبور از پره های ساکن کم می شود و بالطبع فشار آن بالا می رود. با افزایش تعداد پره های ثابت و متحرک (تعداد طبقه های کمپرسور : مجموعه هر پره ثابت و متحرک را یک طبقه می گویند) فشار سیال خروجی از کمپرسور را می توان تا بیش از ۱۸ برابر فشار ورودی افزایش داد.

لازم به ذکر است که در بعضی کمپرسورها یک ردیف اضافی از پره های ثابت (پره های راهنمای ورودی) در ورودی کمپرسور به کار می رود تا اطمینان حاصل شود که هوا به پره های متحرک طبقه اول، تحت زاویه مطلوب و مورد نظر وارد می گردد. بازده کمپرسورهای محوری بین $90\% \sim 85\%$ است.



روتور کمپرسور

کمپرسورهای گریز از مرکز

در کمپرسور گریز از مرکز هوا در جهت محوری وارد کمپرسور شده، در جهت شعاعی (عمودی) از آن خارج می شود و سپس وارد پخش کننده می گردد. در این نوع، ابتدا هوا از طریق القاء کننده جریان^۱ داخل یک کمپرسور گریز از مرکز می شود.

القاء کننده جریان که معمولاً بصورت ادغام شده در دیسک دوار می باشد، خیلی شبیه روتور یک کمپرسور محوری است. هوا با یک چرخش ۹۰ درجه خارج می شود و به داخل یک پخش کننده می رود. آنگاه هوا از خروجی پخش کننده وارد یک محفظه شده و در آنجا جمع می شود. به عبارت دیگر هوا از راه ورودی مکیده می شود و در اثر نیروی گریز از مرکز، سرعت آن زیاد می گردد تا با برخورد به بدنه خروجی کمپرسور (که به شکل خاصی ساخته شده است) سرعت سیال هوا تبدیل به فشار شود. بازده این نوع کمپرسورها اندکی کمتر از نوع محوری است ولی طیف کاربرد آنها وسیعتر می باشد.

محفظه احتراق^۱

تنها وظیفه محفظه های احتراق، بالا بردن درجه حرارت هوای فشرده شده خروجی از بازیاب است. در محفظه احتراق مقدار کمی مواد سوختنی با هوای فشرده مخلوط می شود و در اثر سوختن گاز با مواد سوختنی، حرارت تولید می گردد. ساختمان این محفظه باید بگونه ای باشد که آتش در لایه ای از هوا قرار گیرد و در ضمن، هوای زیاد باعث خاموش شدن شعله نگردد. بدین منظور مقدار کمی از هوا از راه سوراخ های اطراف مشعل^۲ با سوخت مخلوط می شود که اصطلاحاً به این هوا هوای اولیه^۳ می گویند. این هوا برای روشن نگه داشتن سوختی که از مشعل وارد می شود کافی است. مابقی هوای ورودی به محفظه احتراق از سوراخ های مجرای داخلی زنبیلی شکل باسکت^۴ وارد قسمت اصلی محفظه احتراق می شود.

به این هوا هوای ثانویه^۵ می گویند که مقدار آن نسبت به هوای اولیه به مراتب بیشتر است. هوای اولیه با حرارت مشعل ها بسیار داغ می شود ولی هوای ثانویه با حرارت حاصل از سوختن گاز (که با هوای اولیه مخلوط شده) گرم می گردد. هوای ثانویه و هوای اولیه پس از مخلوط شدن با هم از محفظه خارج می شوند.

^۱ - Combustion chamber

^۲ - Burner

^۳ - Primary Air

^۴ - Basket

^۵ - Secondary Air





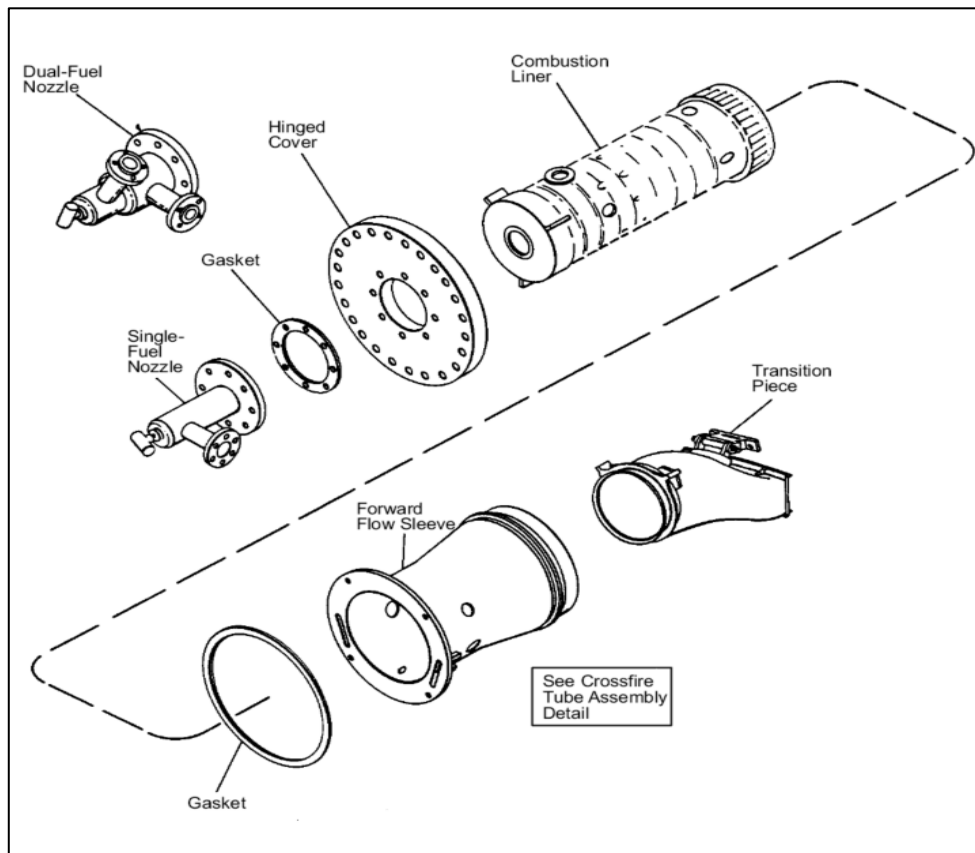
Combustion liner



Flow sleeve



Transition piece



اگر محفظه احتراق به خوبی طراحی نشده باشد بگونه ای که هوای ثانویه و اولیه کاملاً با هم مخلوط نشوند آنگاه توده های خیلی داغ گاز و هوا ایجاد می شود که ممکن است بر اثر حرارت زیاد این توده ها، دیواره های محفظه و تیغه های فلزی آسیب ببینند.

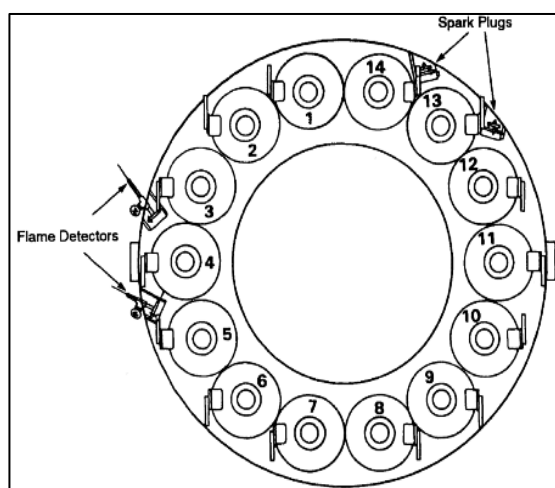
بدین منظور در بعضی از محفظه های احتراق به منظور مخلوط شدن هوای اولیه و ثانویه از پره هایی که جریان هوا را چرخشی¹ می کنند استفاده می شود. در محفظه های احتراق مادامی که مواد سوختنی و هوا وجود دارد باید مشعل روشن بماند. به عبارت دیگر در هنگام روشن شدن مشعل نباید مقدار زیادی مواد سوختنی و هوا در محفظه احتراق باشد زیرا احتمال انفجار وجود دارد.

برای روشن کردن مشعل ها ابتدا از شمع جرقه زن استفاده می شود. در بعضی از توربین ها شمع را به گونه ای تعبیه نموده اند که پس از روشن شدن مشعل، به عقب کشیده شود تا دور از حرارت زیاد شعله قرار گرفته و خراب نشود. مانند شکل صفحه بعد.

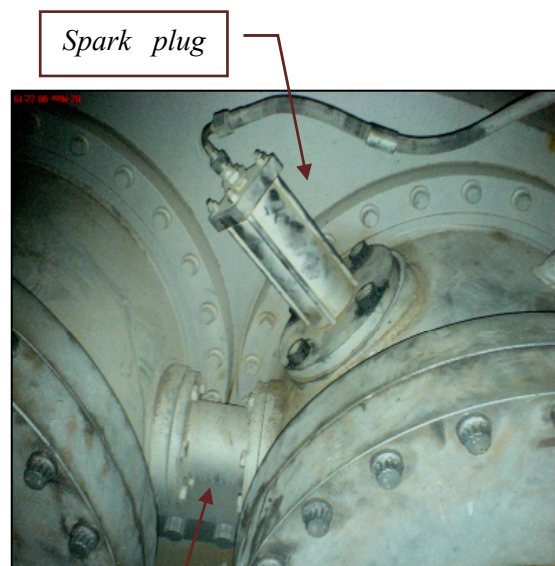
در نیروگاه های گازی با قدرت بالا از چند محفظه احتراق افقی استفاده می شود. در این نوع نیروگاه ها، همزمانی ایجاد شعله در این محفظه ها و نیز یکسان بودن دبی سوخت های ورودی به آنها اهمیت زیادی دارد زیرا در غیر این صورت نیروهای اعمال شده روی توربین یکسان نبوده و ارتعاشات توربین را سبب می شود. به این منظور، محفظه ها از طریق لوله هایی به یکدیگر ارتباط دارند و کافی است که تنها در یکی از آنها جرقه زده شود تا با اشتعال گازهای موجود در این لوله کلیه محفظه های احتراق روشن شوند (شکل الف).

البته برای بالا بردن درجه اطمینان، از دو یا چند سیستم جرقه زن (بسته به تعداد محفظه ها) استفاده می شود. پس از ایجاد شعله در این محفظه، شعله از طریق لوله های رابط به محفظه های دیگر منتقل می گردد زیرا در همه آنها از طریق سوخت پاش ها قبلاً سوخت پاشیده شده است.

برای اطمینان از روشن شدن تمام محفظه ها، از سیستم نشان دهنده شعله استفاده می شود که در یک یا چند محفظه (در دورترین نقطه نسبت به جرقه زن) نصب می گردد تا در سیستم کنترل و حفاظت توربین وجود یا فقدان شعله را مشخص کند (شکل ب).



شکل ب



شکل الف

لوله های رابط

عموماً سوخت بکار رفته در محفظه های احتراق، گاز طبیعی یا مایع های سوختنی مثل گازوئیل می باشد. البته در بیشتر نیروگاه های گازی از گاز طبیعی استفاده می شود که این گاز از طریق لوله هایی با فشار معین به محفظه احتراق ارسال می شود. در محفظه های احتراقی که با سوخت مایع کار می کنند سوخت مایع باید به صورت ذرات خیلی ریز پاشیده شود تا سوختن آن سریعتر انجام گردد. بدین منظور از سوخت پاش جهت پخش سوخت به شکل پودر به داخل محفظه احتراق استفاده می شود.

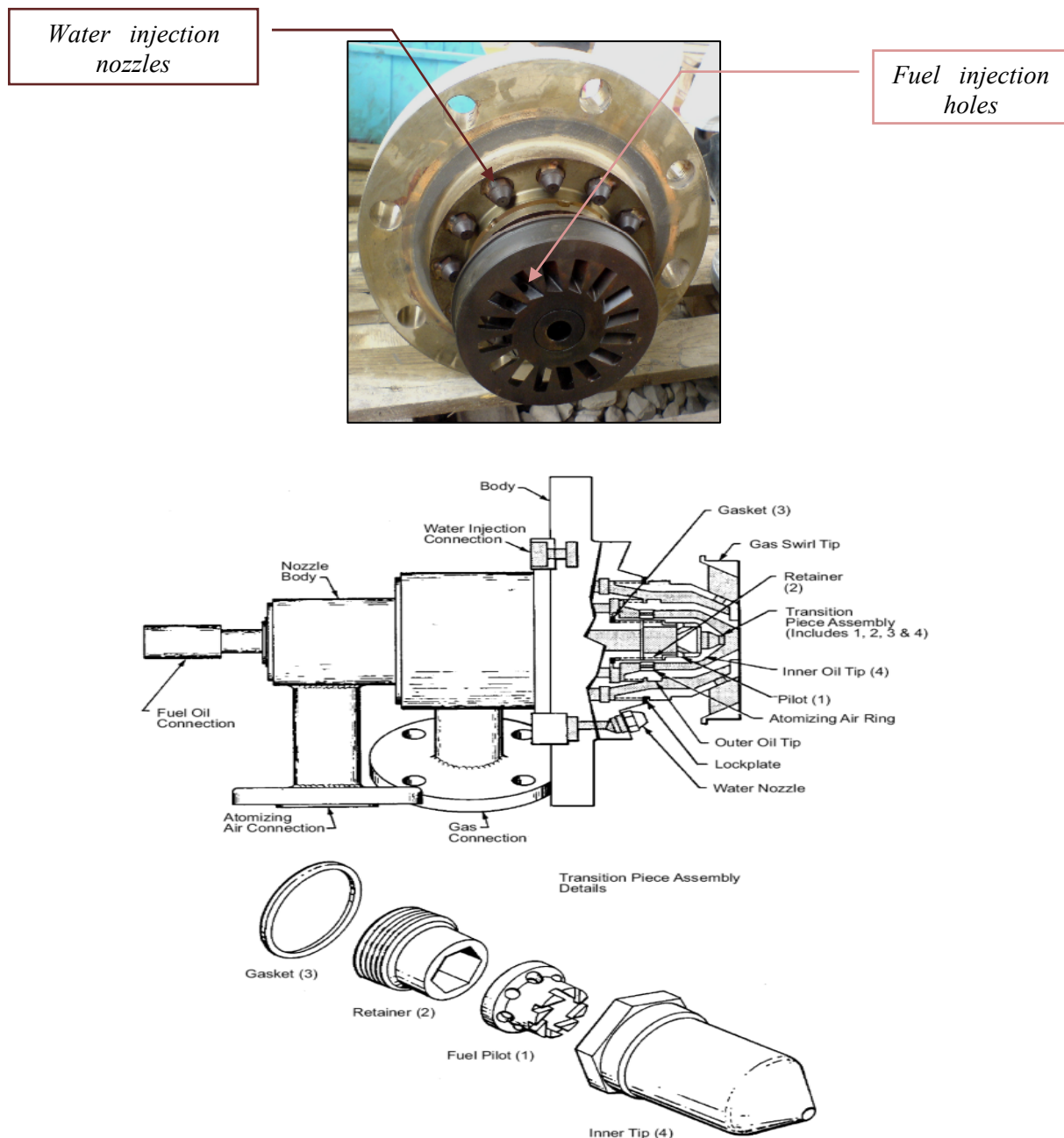


Figure CI-L3. Fuel Nozzle Assembly — Dual Fuel.

توربین گازی

توربین نیروگاه های گازی دارای دو نوع جریان محوری و جریان شعاعی است که توربین با جریان محوری در بیش از 80 % موارد کاربرد دارد. همچنین توربین های با جریان محوری از دو نوع پره متحرک ضربه ای و عکس العملی استفاده می کنند. اساس کار توربین نیروگاه های گازی بسیار شبیه توربین نیروگاه بخاری است و تنها دو تفاوت عمده بین آنها وجود دارد که عبارتند از :

الف) دمای گازهای احتراق ورودی به توربین نیروگاه گازی بسیار بیشتر از دمای بخار پس تافته^۱ ورودی به توربین نیروگاه بخاری است. دمای گازهای احتراق در حدود 1200°C است. پس پره های توربین گازی باید تحمل دمای بسیار زیادی را (نسبت به پره های توربین بخاری) داشته باشند.

ب) در گازهای احتراق ورودی به توربین گازی عناصر زائدی از قبیل گوگرد، فسفر، سدیم، وانادیم و... وجود دارد که باعث خوردگی پره های توربین می شود زیرا این عناصر در سوخت تزریق شده به محفظه احتراق موجود می باشند. این مواد زائد با توجه به غیر قابل اشتعال بودن، به همراه گازهای داغ وارد توربین شده و روی سطح پره ها می نشینند و باعث خوردگی شیمیایی و مکانیکی سطح پره ها می شوند لذا استقامت پره های توربین گازی در مقابل خوردگی باید بسیار بیشتر از پره های توربین بخاری باشد.

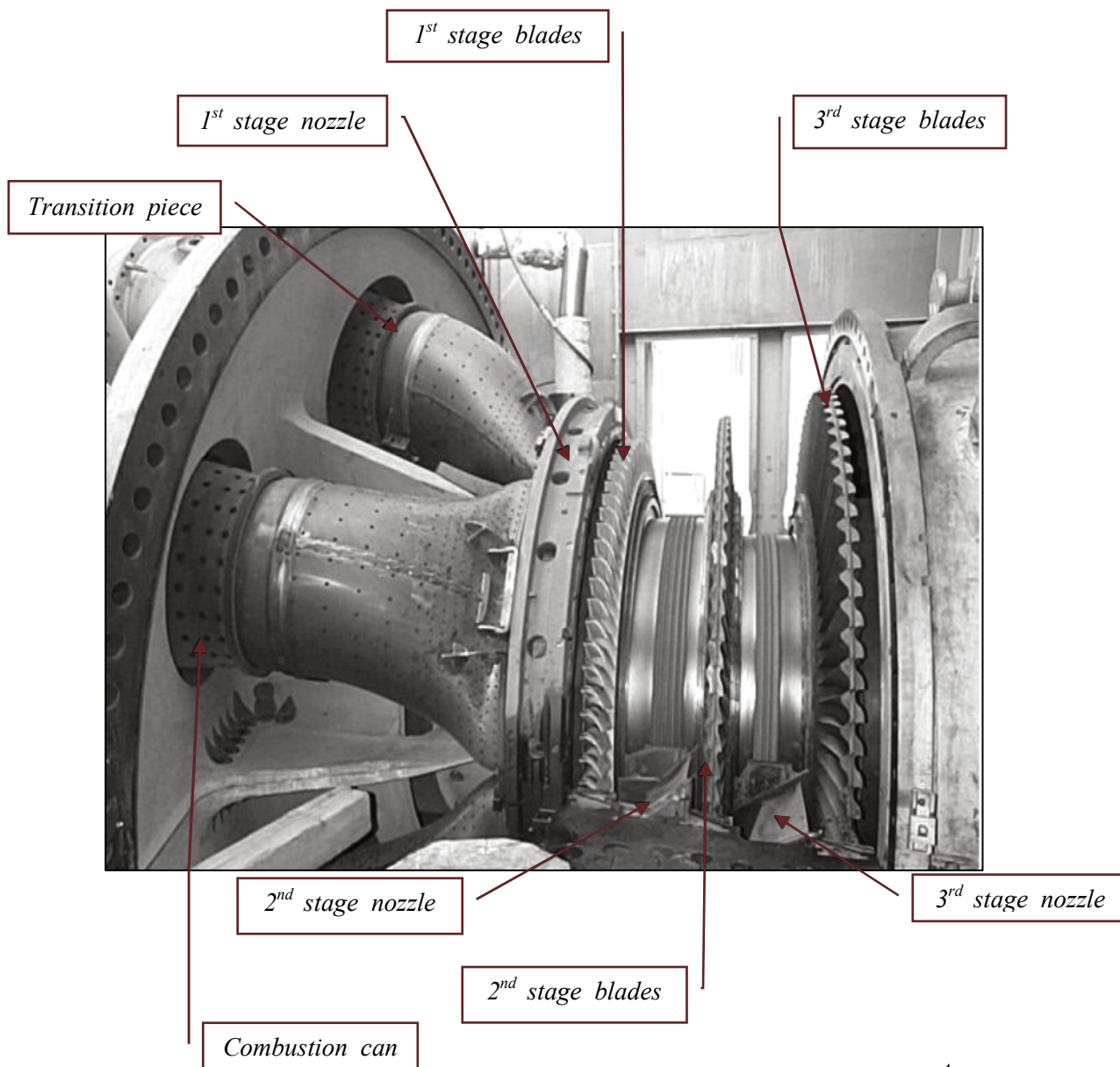
اجزاء مختلف توربین

توربین شامل قسمت های زیر می باشد :

الف - فونداسیون توربین

ب - پوسته^۱

ج - روتور



د - پره های توربین

ه - یاتاقان های توربین^۲

به منظور تحمل وزن محور توربین و جلوگیری از خم شدن محور و حرکت های نامناسب محور روتور در جهت های نامطلوب باید از وسایلی به نام یاتاقان استفاده نمود. یاتاقان های توربین به دو دسته یاتاق های ژورنال و کف گرد تقسیم می شوند.

یاتاقان های ژورنال

در طول محور توربوژنراتورها یاتاقان های متعددی به نام یاتاقان های ژورنال نصب می شوند تا ضمن تحمل وزن روتور، لقی شعاعی موجود بین روتور و پوسته را در حد معینی محفوظ دارند. در واقع ارتعاشات روتور توسط یاتاقان ها به پایه ها و سپس فونداسیون منتقل می شود. پوسته این نوع یاتاقان ها چدنی است و در سطح افقی به دو نیم، تقسیم می شوند. برای جلوگیری از اصطکاک مستقیم فلز محور به فلز یاتاقان، یک جریان روغنی با فشار معین از طریق شیارهای موجود در یاتاقان ها وارد آن می شود تا بین محور توربین و یاتاقان، فیلمی از روغن تشکیل شود. در هنگام چرخش روتور، فیلم روغن ایجاد شده علاوه بر روغن کاری روتور و کاهش اصطکاک، مقداری از دمای آن را نیز تقلیل می دهد.



یاتاق های کف گرد¹

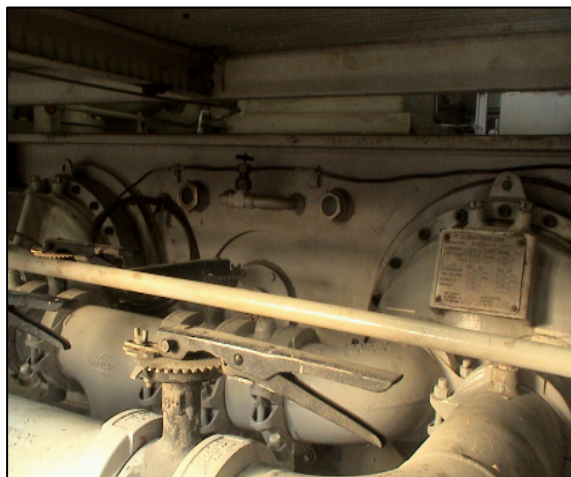
برای حفظ فاصله مناسب بین پره های ثابت و متحرک و به منظور جلوگیری نمودن از حرکت روتور در جهت محوری (ناشی از نیروی محوری در توربین های با پره های عکس العملی) از یاتاقان های محوری استفاده میشود. البته در اغلب توربین ها با استفاده از روشهایی نیروهای محوری وارد بر پره های عکس العملی متحرک خنثی می شوند اما در مواقعی که به دلایل مختلف (از جمله تغییر ناگهانی بار توربین) این تعادل به هم بخورد وظیفه یاتاقان *Thrust* کنترل نیروی محوری اضافی و تثبیت آن در حد مجاز است. در واقع همانگونه که یاتاقان های ژورنال، نیروی شعاعی روتور را تحمل می کنند، یاتاقان های کف گرد، نیروی محوری را خنثی می کنند.

خنک کردن یاتاقان ها و روغن آنها

اصطکاک موجود در یاتاقان ها باعث تولید حرارت در داخل آنها می شود که با ایجاد فیلم روغن، اصطکاک به مقدار زیادی کاهش می یابد و انتقال حرارت هم از یاتاقان به روغن صورت می گیرد. در واقع فیلم روغن علاوه بر کاهش اصطکاک، خنک کنندگی یاتاقان ها را هم بر عهده دارد. به منظور خنک کردن مناسب یاتاقان ها، باید روغن در داخل یاتاقان ها جریان یابد. این کار توسط پمپ روغن انجام می گیرد.

پمپ روغن وظیفه دارد که روغن تصفیه شده و مناسب را از تانک ذخیره روغن به سمت یاتاقان ها پمپاژ کند. با توجه به اینکه حداکثر روغن در سیستم روغن کاری (به خاطر روغن کاری یاتاقان ها) به کار برده می شود لذا در اثر گرفتن گرمای یاتاقان ها، روغن نیز گرم می شود و لزوم کاربرد خنک کننده ها برای روغن، ضروری می باشد.

یک نوع از خنک کننده های روغن به طور سطحی ساخته می شود بگونه ای که آب خنک کننده از داخل لوله ها عبور می کند و روغن با عبور از جدار خارجی لوله های آب خنک کننده و در اثر تماس با لوله های فوق، حرارت خود را به آب خنک کننده می دهد. نوع معمول دیگر خنک کننده ها آن است که لوله های آب سرد در مجاورت لوله های روغن بطور عمودی قرار می گیرند و با عمل انتقال حرارت، روغن ورودی خنک می شود. معمولاً لوله های درون خنک کننده دارای یک سر آزاد و یک سر ثابت است تا امکان انبساط و انقباض آن وجود داشته باشد. در سیستم های مدرن از فلز تیتانیوم برای ساخت لوله ها استفاده می شود. لازم به ذکر است که عموماً باید دو خنک کننده روغن هر کدام با ظرفیت % 100 یا سه خنک کننده بصورت ذخیره وجود داشته باشد تا در مواقع اضطراری، نیروگاه به خاطر خرابی یکی از خنک کننده های روغن از مدار خارج نگردد.



کولرهای روغن



فیلتر روغن

تجهیزات جانبی نیروگاه گازی

کوپلینگ ها^۱

در توربین های با پوسته های متعدد باید محور این توربین ها به هم متصل شوند. علاوه بر این، محور توربین هم به ژنراتور متصل می شود تا یک محور کامل تشکیل شود. به این منظور از کوپلینگ ها برای اتصال محورها به هم استفاده می شوند.

بطور کلی کوپلینگ ها جهت انتقال گشتاور مکانیکی به کار می روند اما بسته به نوع آن می تواند انحراف زاویه ای محدود در دو قسمت روتور را نسبت به هم و نیز نسبت به حرکت محوری روتور تحمل نماید و انتقال دهند. این کوپلینگ ها به دو نوع زیر ساخته می شوند :

۱) کوپلینگ قابل انعطاف^۲

این نوع کوپلینگ ها علاوه بر آنکه حرکت محوری روتور را منتقل می کنند، قادر به تحمل مقدار محدودی از انحراف زاویه ای دو بخش روتور نسبت به یکدیگر هستند. نوعی که به کوپلینگ پنجه ای^۳ معروف است، به خاطر کم بودن اصطکاک بین سطوح، به راحتی قادر است تا بارهای کم را با انعطاف پذیری محدودی انتقال دهد. در بارهای زیاد، به خاطر زیاد شدن اصطکاک، کوپلینگ مذکور به صورت صلب عمل می کند و در نتیجه خاصیت انعطاف پذیری آن کم می شود که به این نوع، کوپلینگ چند دندانه^۴ می گویند. در این نوع دو فلنج کوپلینگ، دارای دنده هستند و قطعه ای مجزا که دارای دندانه های داخلی است با آنها درگیر می شود. کوپلینگ بعدی شبیه به نوع اول است با این تفاوت که قطعه واسطه وجود ندارد و هر دو فلنج کوپلینگ به صورت چرخ دنده های داخلی و خارجی با یکدیگر درگیر می شوند. در این حالت انعطاف پذیری کوپلینگ نسبت به حالت اول کمتر می شود.

¹ - Couplings

² - Flexible coupling

³ - Claw coupling

⁴ - Multi-tooth coupling

نوع دیگر از کوپلینگ های قابل انعطاف، مشهور به بای بی^۱ است که کوپل به واسطه یک فنر تسمه ای (که در شیارهای موجود روی محیط فلنج ها قرار می گیرد) انتقال می یابد. لذا مانند انواع قبلی، هم در جهت طولی و هم در جهت شعاعی انعطاف پذیر خواهد بود. از خواص عمومی کوپلینگ های قابل انعطاف آن است که تا زمانیکه دامنه ارتعاشات روتور از مقدار لقی بین قطعات کوپلینگ کمتر باشد، ارتعاشات به قسمت دیگر روتور انتقال نمی یابد. لازم به ذکر است که با روغنکاری مناسب این کوپلینگ ها، اصطکاک موجود بین قطعات کوپلینگ به حداقل خود کاهش می یابد.

۲) کوپلینگ صلب^۲

در مواردیکه حرکات محور لازم نباشد کوپلینگ صلب به کار می رود. در این حالت دو محور روتور به وسیله پیچ هایی به هم محکم می شوند و اتصال کاملاً صلبی را ایجاد می کنند. در توربین های بزرگ استفاده از کوپلینگ های قابل انعطاف عملی نیست زیرا باید گشتاور زیادی توسط آنها انتقال یابد. لذا از کوپلینگ های صلب استفاده می شود.

پمپ های نیروگاه

در نیروگاه های برق تعداد بسیار زیادی پمپ به منظور انجام کارهای مختلف و برآوردن اهداف مورد نظر استفاده می شود. از جمله :

پمپ روغن

پمپ های روغن نیروگاه وظیفه تامین روغن را برای تجهیزات مورد نیاز بر عهده دارند. عموماً این پمپ ها به پمپ اصلی روغن^۱، پمپ کمکی^۲، پمپ روغن اضطراری^۳ و پمپ روغنی بلند کننده^۴ تقسیم می شوند.

پمپ اصلی روغن :

پمپ اصلی روغن، پمپی است که مستقیماً به محور توربین متصل می شود که به تعداد دور توربین می چرخد و عمل روغن کاری توربین را بطور دائمی و در حال کار توربین انجام می دهد.



Main oil pump

¹ - Main oil pump

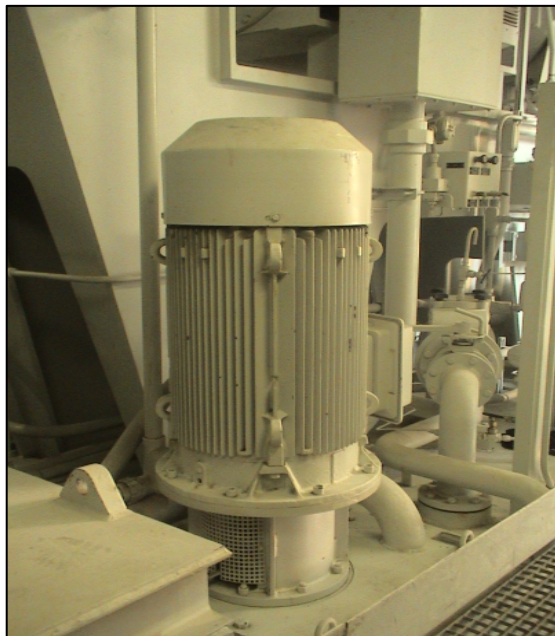
² - Auxiliary oil pump

³ - Emergency oil pump

⁴ - Jacking oil pump

پمپ کمکی روغن :

پمپ کمکی روغن، معمولاً از نوع پمپ های سانتریفوژ است و دارای ظرفیتی برابر با پمپ اصلی روغن است و می تواند بوسیله موتور الکتریکی و یا یک توربین کوچک چرخانده شود. در شرایط راه اندازی که دور توربین پایین می باشد از این پمپ جهت روغنکاری استفاده می شود و زمانیکه فشار روغن خروجی از پمپ اصلی به حد لازم رسید، پمپ کمکی باید از مدار خارج شود. البته در زمانیکه توربین تریپ می کند، پمپ کمکی به طور اتوماتیک وارد سرویس می شود.



Auxiliary oil pump

نکته قابل ذکر اینکه *START* و *STOP* پمپ توسط سیستم کنترل انجام می شود. حال اگر در پروسه راه اندازی و بعد از دور 2850 rpm پمپ در سرویس باقی مانده باشد هشدار خواهیم داشت. در اینصورت پس از بررسی فشار سیستم روغنکاری و عملکرد مناسب پمپ اصلی، می توانیم پمپ کمکی را خارج نمائیم.

پمپ اضطراری روغن :

این پمپ با الکتروموتور *DC* کار می کند و در شرایط خروج اضطراری واحد یعنی زمانیکه برق *AC* نیز در دسترس نباشد و یا به هر دلیلی پمپ کمکی توان کارکرد نداشته باشد پمپ *DC* کار خواهد کرد. نحوه عملکرد پمپ به گونه ای است که 3 دقیقه کار می کند و 15 دقیقه *OFF* می باشد. همچنین در صورتیکه قطعی برق لحظه ای بیش از 2 ثانیه داشته باشیم پمپ *DC* بصورت خودکار استارت خواهد شد و به هیچ وجه خارج نمی شود.

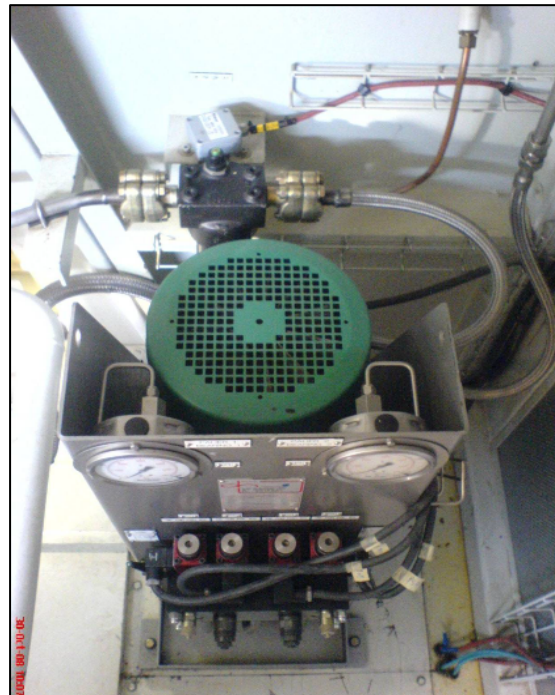
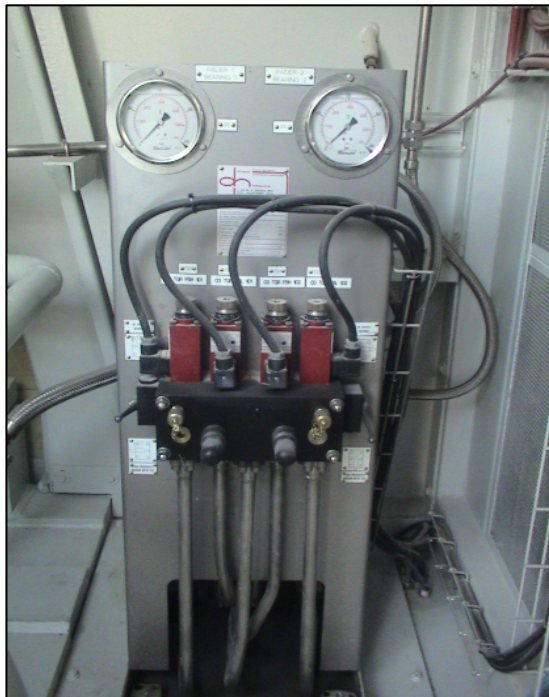
در صورتیکه سیستم کنترل *SPEED TRONIC* به هر دلیلی *OFF* شود پمپ *DC* استارت خواهد شد. همچنین اگر در طی پروسه *ON.C.D* پمپ *AC* خارج شود و بواسطه آن واحد *COOL DOWN FAIL* شود پمپ *DC* در انجام سیکل کارکرد خود 3 دقیقه استارت شده و 15 دقیقه *OFF* می ماند و اینکار تا زمان اتمام تایم 14 ساعته مربوط به زمان *ON.C.D* ادامه دارد .



Emergency oil pump

پمپ روغنی بلند کننده :

این پمپ برای بلند کردن محور توربین از روی یاتاقان ها (به منظور کاهش اصطکاک) روغن با فشار زیاد را (در حدود 136.1 atm یا 2000 psi) به زیر محور توربین (در محل یاتاقان ها) می فرستد تا با بالا رفتن محور توربین، بتوان به راحتی محور توربین را به چرخش درآورد. این پمپ، معروف به پمپ روغنی بلند کننده است. لازم به ذکر است که این پمپ، پس از راه اندازی از مدار خارج می شود. باید توجه داشت که وجود پمپ های جکینگ در هر مرحله از کارکرد واحد که شافت اصلی در حال گردش می باشد ضروری و مهم است. اهمیت این موضوع در سیستم کنترل واحد به حدی است که اگر در حال راه اندازی افت فشار روغن در سیستم جکینگ داشته باشیم و یا هر اشکالی که مانع از بهره برداری از سیستم جکینگ شود (بطور مثال ایرادی در الکتروموتور جکینگ ظاهر شود) بلافاصله شات دان خواهیم داشت. در نتیجه می بایست دقت زیادی در کنترل و چک سیستم جکینگ اعمال نمائیم.



Jacking oil pump

پمپ های متفرقه

پمپ های آب مصرفی نیروگاه : در هر نیروگاهی تعدادی پمپ وجود دارد که وظیفه تامین آب مصرفی نیروگاه در سیستم های اصلی و کمکی از قبیل سیستم تصفیه آب و سیستم تولید بخار را به عهده دارند.

پمپ های تزریق مواد شیمیایی :

اینگونه پمپ ها به منظور تزریق مقدار معینی از مواد شیمیایی به داخل آب سیکل نیروگاه بکار می روند.

دیگ بخار بازیاب

بازده نیروگاه های گازی (بخاطر تلفات حرارتی بسیار زیاد آن) نسبت به نیروگاه های بخاری بسیار کم می باشد. در توربین های گازی دمای هوای با فشار زیاد حدود $1100 \sim 1450^{\circ}\text{C}$ است و سیال هوا پس از انبساط در توربین به دمای حدود نصف دمای ورودی توربین می رسد. پس انرژی بسیار زیادی در هوای خروجی از توربین وجود دارد. یکی از راه های بسیار مناسب در بالا بردن بازده نیروگاه های گازی و افزایش کار سیکل، استفاده از انرژی بسیار زیاد گازهای خروجی از توربین گازی برای تولید بخار می باشد.

گازهای داغ خروجی از توربین نیروگاه گازی وارد دیگ بخار بازیاب¹ می شود تا در آنجا برای تولید بخار استفاده گردد. دیگ های بخار بازیاب از تعدادی سوپرهیتر، اوپراتور و اکونومایزر تشکیل شده است.

در نیروگاه های با دیگ بخار بازیاب، توربین گازی به عنوان منبع تولید هوای احتراق عمل می نماید و هوای مورد نیاز مشعل های دیگ بخار بازیاب را تامین می کند. به عبارت دیگر توربین گازی هم به منزله فن اجباری و هم به عنوان پیش گرمکن هوا می باشد.

در چنین نیروگاهی با تعبیه مشعل های همراه با سوخت اضافی در دیگ بخار بازیاب می توان بخار را افزایش داد که در نتیجه قدرت تولیدی واحدهای بخاری افزایش می یابد. در مجموع می توان گفت که تعبیه مشعل در دیگ بخار بازیاب مسائلی را به همراه خواهد داشت که عبارتند از :

۱- با این عمل مقدار بخار تولید شده در دیگ بخار بازیاب افزایش می یابد که تقریباً میزان این افزایش دو برابر حالتی است که مشعل های اضافی مورد استفاده قرار نگرفته باشند.

۲- با استفاده از مشعل در دیگ بخار بازیاب، مقدار فشار و دمای بخار موجود در سیکل بخاری افزایش می یابد.

این موارد باعث افزایش بازده کلی چرخه ترکیبی خواهد شد. به این نوع نیروگاه ها، چرخه ترکیبی با مشعل^۱ می گویند.



^۱ - Fired combined cycle power plant

سیستم هوای ورودی :

سیستم هوای ورودی که یکی از بخشهای مهم تشکیل دهنده یک واحد نیروگاهی است، مجموعه ایست که برای اهداف و وظایف زیر طراحی شده است :

- تصفیه هوا ورودی از غبار و ذرات آلاینده
 - دمپ کردن (حذف) صدای تولید شده توسط توربین
 - هدایت هوا به طرف توربین با زاویه مناسب (یکنواخت کردن مولفه های سرعت هوا)
 - تنظیم دمای هوای ورودی برای جلوگیری از یخ زدگی فیلترها و مسیر هوا تا توربین
 - ایجاد فضای مناسب بین توربین و محیط (جدا کردن توربین از محیط)
 - حفظ پاکیزگی کمپرسور توربین با تصفیه هوا و شستشوی ثانوی
- برای رسیدن به اهداف مذکور، این سیستم از اجزاء مختلفی ساخته شده است که مهمترین آنها عبارتند از :

۱- هود ورودی که از ورود باران، پرندگان و حشرات به داخل سیستم جلوگیری می کند

Suction hoods or Inlet louvers

۲- بخش تصفیه کننده هوا - *Filter House*

۳- فیلتر کارتریجها - *Cartridges Filter*

۴- داکت واسط - *Duct Transition*

۵- صدا خفه کن - *Silencer*

۶- کانال زانوئی شکل - *Bend Duct*

۷- اتصال ضد ارتعاش - *Expansion Joint*

۸- تنظیم کننده حجم هوای مورد نیاز توربین - *Damper*

۹- کانال ورودی هوا به توربین - *Vertical Duct & Inlet Cone*

۱۰- سیستم جلوگیری کننده از یخ زدگی فیلترها و کانالها - *Deicing System*

۱۱- سیستم تمیز کننده فیلتر کارتریجها - *Plus Jet System*

با مشخص شدن اجزاء اصلی سیستم هوای ورودی به تشریح این اجزاء و مشخصه های فنی آنها می پردازیم:

۱- هود ورودی - *Section Hood*

هوا از طریق هود (*Anti rain*) وارد بخش تصفیه کننده هوا (*Filter house*) می گردد. در این مرحله اولین جداسازی ذرات درشت بدلیل حرکت رو به بالای هوا صورت گرفته و وجود توریهایی از جنس *AISI*^۱ در دهانه آن که دارای مش پایین هستند از ورود پرندگان و حشرات به داخل سیستم جلوگیری می گردد .



۲- بخش تصفیه کننده هوا - *Filter House*

این بخش بسته به نوع هوا از قسمتهای مختلفی تشکیل شده که عبارتند از :
الف (پیش فیلتر

۱- *Inertial filter* در مواقعی که آلودگی هوا بالاست.

۲- *Sand trap* در مواقع عادی

پیش فیلتر نوع اول (*Inertial filter*) : این فیلترها بر اساس خاصیت اینرسی ذرات طراحی شده و از محفظه ای پانچ و فرم داده شده ساخته می شود. هوا بعد از ورود به داخل آن تغییر جهت داده و با زاویه ای 180° از آن خارج می گردد و این عمل باعث می گردد که ذرات درشت بدلیل اینرسی خود از هوا جدا شده و به انتهای فیلتر رانده شده و با استفاده از یک کانال از سیستم خارج گردند.

پیش فیلتر نوع دوم (*Sand trap*) از تیغه هایی عمودی ساخته می شود. در اینجا نیز هوا بعد از چرخش درون تیغه ها که بطور یک در میان در مقابل یکدیگر قرار داده شده اند از ذرات درشت جدا شده و به درون *Filter house* کشیده می شود. ذرات درشت نیز بعد از جدا شدن از هوا به پایین افتاده و از سیستم خارج می گردند. این فیلترها از فولاد ضد زنگ *AISI* ساخته می شوند.



فیلترهای اولیه



فنهای مکنده غبارات

ب (*Filter house horizontal*) - این بخش با داشتن *Grating* ، *Basket* و *ladder* نقش سرویس دهی به قسمت های دیگر *Filter house* را برعهده دارد.

ج (*Filter house vertical*) - این بخش فیلتر کارتریجها و سیستم *Puls Jet* را در خود جای می دهد.

۳- فیلتر کارتریجها - *Cartridges Filter*

این بخش از تعدادی فیلتر کارتریجی تشکیل شده که بصورت دوتایی بر روی پایه ها سوار شده و با پیچ محکم می گردند. راندمان این فیلترها که بطور پیوسته توسط سیستم *Puls Jet* تمیز می گردد بالای 99 % می باشد.



۴- داکت واسط - *Duct Transition*

هوا بعد از تصفیه شدن و خروج از فیلتر کارتریجها وارد این بخش می گردد. در کف این داکت چهار دریچه (*Anti implosion doors*) تعبیه شده است و در مواقعی که فشار مکش حدوداً به 2000 پاسکال می رسد برای جلوگیری از مچاله شدن داکتها، این دریچه ها که از یک طرف لولا شده و بر روی آنها وزنه هایی قرار داده شده است باز می گردد.

۵- صدا خفه کن - *Silencer*

این بخش بعد از *Transition duct* قرار گرفته و وظیفه کاهش صدای خروجی از توربین را بعهده دارد. پانلها بطور عمودی قرار گرفته و قابل تعویض می باشند. دیواره این بخش از سمت بیرون به منظور جلوگیری از انتقال صدا عایق می گردد.

۶- کانال زانوئی شکل - *Bend Duct*

وظیفه این بخش انتقال هوا همراه با تغییر جهت آن می باشد. این داکت همانند *silencer* از سمت بیرون عایق کاری شده است.

۷- اتصال ضد ارتعاش - *Expansion Joint*

این بخش جهت حذف ارتعاشات توربین و همچنین تصحیح خطا در نصب داکت‌های دو طرف آن طراحی شده و از دو قسمت تشکیل شده است. یک بخش آن *Flexible textile* و بخش دیگر از جنس ورق گالوانیزه که بصورت هرم ناقص ساخته شده می باشد.

۸- تنظیم کننده حجم هوای مورد نیاز توربین - *Damper*

این بخش وظیفه جدا سازی داکت‌های پائین تر و بالاتر از خود و همچنین تنظیم هوای مورد نیاز توربین در دوره‌های مختلف را داشته و از یک باکس و یک تیغه متحرک که توسط یک موتور گیربکس کلاچ دار به حرکت در می آید ساخته می شود. برای مشخص کردن وضعیت باز و بسته بودن آن سنسورهایی تعبیه شده و وزنه هایی جهت حذف گشتاور ایجاد شده توسط وزن تیغه بکار گرفته شده است.

۹- کانال ورودی هوا به توربین - *Vertical Duct and Inlet Cone*

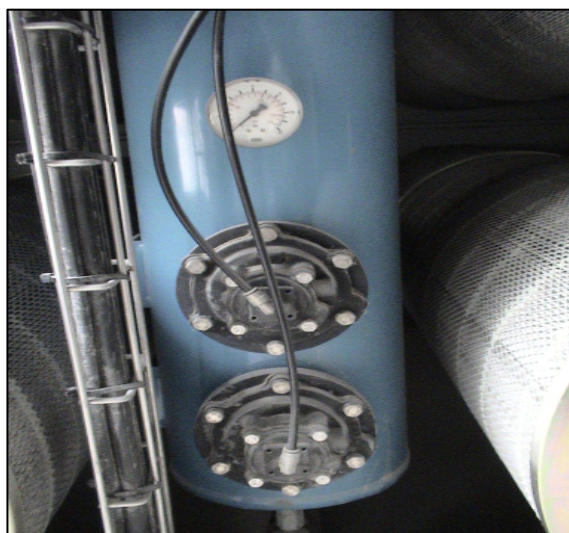
این بخش که آخرین بخش از داکت‌های سیستم هوای ورودی می باشد به توربین متصل شده و وظیفه انتقال هوا به کمپرسور توربین را دارد. جهت حذف توربولانس هوای ورودی علاوه بر *Cone* مرکزی، محل اتصال این داکت به توربین به شکل مخروط ناقص طراحی گردیده است. برای شستشوی کمپرسور در محل اتصال *Cone* به توربین یک عدد رینگ (*washing ring*) قرار گرفته است که آب پمپ شده توسط نازل‌هایی که بر روی آن قرار گرفته به درون توربین پاشیده می گردد.

۱۰- سیستم جلوگیری کننده از یخ زدگی فیلترها و کانالها - *Deicing System*

این سیستم از شبکه ای از داکتها، *silencer*، شیرهای پنوماتیک و سیستم کنترل کننده تشکیل شده که هوای بسیار گرم کمپرس شده در خروجی کمپرسور توربین را به هوای ورودی به *filter house* در مواقعی که دمای هوا پایین بوده و رطوبت بالاست اضافه نموده و از یخ زدگی سیستم و فیلتر کارتریجها جلوگیری می کند.

۱۱- سیستم تمیز کننده فیلتر کارتریجها - *Puls Jet System*

این سیستم با استفاده از هوای فشرده که بصورت جت هوا به درون فیلترها تزریق می گردد، غبار جمع شده بر روی لایه خارجی فیلترها را جدا نموده تا افت فشار سیستم در حد نرمال تنظیم گردد. این سیستم وقتی افت فشار فیلتر از حد تنظیم شده بیشتر گردد بکار افتاده و با فرمان دادن به شیرهای پنوماتیک از طریق مدار *PLC* بترتیب فیلترها را تمیز نموده و وقتی افت فشار به میزان از پیش تعیین شده رسید از مدار خارج می گردد. تمیز شدن فیلترها با این روش عمر مفید آنها را افزایش می دهد.



سلونوئید های پالس



سیستم تمیز کننده فیلتر کارتریجها

سیستم محفظه فراگیر توربین:

محفظه‌های فراگیر *Enclosures* عبارتند از مجموعه‌های متشکل از *Structure* و پانلهای عایق صوتی - حرارتی (مقاوم نسبت به آتش) که در اطراف هر یک از تجهیزات اصلی نیروگاه (توربین - ژنراتور و اسکید گاز) در سایت مونتاژ می‌شوند. این محفظه از یک طرف وظیفه کاهش آلودگی صوتی حاصل از عملکرد توربین و ژنراتور و از طرف دیگر وظیفه محافظت سایر واحدهای نیروگاه از بروز آتش‌سوزی احتمالی در داخل محفظه‌ها، با توجه به نصب سیستم آتش‌نشانی در داخل آن و مقاومت کل مجموعه در برابر آتش تا بیش از یک ساعت را دارا می‌باشد. البته می‌توان وظایف نگهداشتن دمای اطراف توربین، ژنراتور و اسکید گاز در یک میزان معین، تهویه مناسب اطراف محفظه‌ها، مراقبت از نفوذ گرد و غبار به داخل مجموعه‌ها، هدایت مخلوط هوا و گاز به خارج از ساختمان نیروگاه در محفظه‌های اسکید گاز و... را نیز نام برد.

قسمت‌های اصلی این مجموعه‌ها متشکل از بخشهای ذیل می‌باشد:

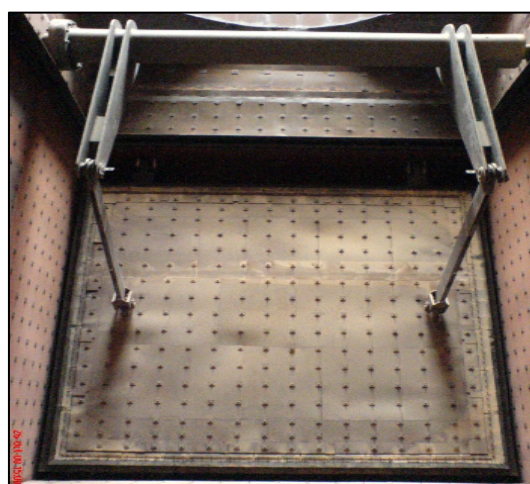
- *Structure*
- *Ventilation Ducts*
- *Silencers*
- *Thermal & Acoustical Panels*
- *Ventilation Fan*
- *Dampers*
- *Electrical Tables*
- *Lighting & Electrical Feed Systems*

سیستم هوای خروجی:

سیستم اگزوز توربین گازی مجموعه‌ای است که به قسمت خروجی توربین نصب شده و وظایف اصلی آن عبارتند از:

- انتقال گازهای خارج شده از توربین به محیط بیرون
 - کاهش صدای تولید شده در اثر خروج گازها از توربین
 - یکنواخت و یکسان کردن شکل گازهای خروجی
 - تقسیم و هدایت گازهای خروجی به قسمت بویلر یا به اتمسفر بیرون
- قسمت‌های اصلی یک سیستم Exhaust عبارتند از:

Cone
Diffuser
Expansion Joint
Diverter
Silencer
Stack
Support Structure



وزن هر واحد اگزوز حدود 230 ton است و عمده عملیاتی که برای ساخت این مجموعه انجام میشود شامل فرم دهی، جوشکاری، تستهای غیر مخرب جوش، پیش مونتاژ، عایقکاری و رنگ می باشد. عمده مواد اولیه بکار رفته شامل فولادهای کربنی، فولادهای ضد زنگ، مواد عایقی صوتی و حرارتی مقاوم در حرارتهای بالا می باشند.

سیستم کولر هوایی :

این سیستم که به سیستم خنک کننده آبی مدار بسته نیز معروف می باشد جهت دفع کردن حرارت آبی بکار می رود که وظیفه خنک کردن کولرهای ژنراتور و روغن سیستم روانکاری را بعهده دارد. این سیستم از قسمتهای زیر تشکیل شده است :

Tube Bundle

این بخش از *Fined Tubes* و *Headers* تشکیل شده که با یک *Structure* گالوانیزه شده، بصورت یک *Bundle* بهم مونتاژ می گردند و بصورت یک مبدل هوا - آب عمل می کنند. *Header* های فوق از آلیاژ خاص، که بعد از نوردکاری و سوراخکاری بهم جوش داده شده و تنش زدایی شده است بدست می آید. فین ها نوارهای آلومینیومی می باشند که بصورت *Embedded* بر روی لوله ها قرار گرفته اند. *Bundle Tube* بعد از ساخت هیدروتست می گردند.

Pumps

پمپ ها گردش آب را تامین می کنند که با ایجاد فشار لازم جهت غلبه بر افت فشارهای سیستم جریان مطلوب را جهت گردش در لوله های *Bundle Tube*، لوله های ارتباطی و مبدلهای حرارتی ژنراتور و نیز روغن روانکاری را فراهم می کنند.



Cooling water pump motor

Expansion Tank

این بخش وظیفه تنظیم آب درون سیستم را برعهده دارد.



Structure

استراکچر که از بخشهایی نظیر *Fan Casing* ، *Ladders* ، *Platform* و ستونها تشکیل شده است، کلیه بخشهای اصلی دیگر را در خود جای می دهد و فضای مناسب جهت نصب فن ها به تیوب *Bundle* را فراهم می کند و کاملاً گالوانیزه می باشند.



Piping

این لوله‌ها ارتباط بین پمپ‌ها، تیوپ باندلها و تانک انبساط با هم و با مبدل‌های حرارتی ژنراتور و روغن را برقرار می‌کنند و از مجموعه‌ای از لوله، فلنچ و زانو تشکیل شده‌اند. این بخش که وظیفه کنترل و تنظیم فشار، دما، دبی و... را برعهده دارد از سنسورهای تشکیل شده و در مواقع لزوم Alarm خطر را نیز فعال می‌کند. کارکرد کلی سیستم بدین صورت است که وقتی توربین در حال کار می‌باشد، پمپ‌ها با پمپ کردن سیال خنک شده به درون مبدل‌های حرارتی ژنراتور و روغن روانکاری از طریق لوله‌های ارتباطی، جریان سیال را ایجاد نموده و بعد از بازگشت آب به تیوپ باندلها، فن‌ها با فرمان سنسور وارد مدار شده و هوای لازم را جهت خنک کردن آب ایجاد می‌نمایند و سیکل به همین صورت ادامه پیدا می‌کند.

تعداد فنهایی که وارد مدار می‌شوند بستگی به دمای آب داشته و نسبت به دمای محیط و حرارت سیستم کم و یا زیاد می‌شوند. عمده عملیات ساخت عبارتند از فین کردن لوله‌ها، مونتاز، جوشکاری، تنش‌گیری، گالوانیزاسیون و تست.



Fin fan cooler



piping

سیستم اطفاء حریق :

سیستم حفاظت از آتش بر اساس استانداردهای *ASME* ، *ANSI* ، *NFPA* و *ISPEL* طراحی می شود. این سیستم شامل قسمتهای تشخیص و اطفاء حریق بوده و به دو منظور زیر طراحی می گردد :

- تشخیص سریع هر نوع حریق در محدوده مورد حفاظت
- اطفاء حریق توسط سیستم نصب شده در سراسر منطقه تحت حفاظت

سیستم کنترل و تشخیص حریق

این سیستم توسط یک پانل کنترل که شامل المانهای الکترونیکی است و همچنین میکروپروسسور مرتبط با آن، که اطلاعات ارسالی توسط آشکار کننده های¹ نصب شده در نقاط مختلف را تحلیل می کند نظارت می شود. آشکار کننده های مورد استفاده در این سیستم از انواع زیر می باشند:

آشکار کننده های دود

آشکار کننده های حرارت

آشکار کننده های شعله

آشکار کننده های گاز

تعدادی کلید عمل کننده دستی نیز در نقاط حساس منطقه تحت حفاظت نصب می شود که در شرایط اضطراری با شکستن شیشه محافظ آنها قابل استفاده خواهند بود. این کلیدها به پانل کنترل متصل بوده و مانند یک آشکار کننده هشدار لازم را به آن ارسال می نمایند.

اطفاء حریق با استفاده از گاز CO_2 انجام می شود. گاز CO_2 در حالت تحت فشار در مخازن فلزی نگهداری و توسط یک شبکه بهم پیوسته به سراسر منطقه تحت حفاظت توزیع شده است. در نقاط مختلف این شبکه نازل هایی نصب شده اند که بمحض تشخیص آتش سوزی و صدور فرمان توسط سیستم کنترل، گاز CO_2 را به محوطه تحت حفاظت تخلیه می کنند. مقدار گاز CO_2 موجود در سیستم بسته به نوع طراحی معادل مقدار مورد نیاز برای بزرگترین منطقه تحت حفاظت و یا مقدار مورد نیاز برای حفاظت همزمان کلیه مناطق خواهد بود. بمنظور جلوگیری از مخاطرات جانی، گاز CO_2 بطور اتوماتیک با یک تاخیر زمانی پس از هشدار تخلیه می شود تا فرصت لازم برای خروج کارکنان از منطقه آتش سوزی فراهم باشد. مناطق تحت حفاظت سیستم اطفاء حرق به شرح زیر می باشد:

- محفظه توربین
- محفظه ژنراتور
- محفظه سیستم سوخت گاز
- اتاق کنترل توربین



ژنراتور نیروگاه

مقدمه

برای تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه ها (به عبارت دیگر تبادل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی) از ژنراتورهای سنکرون سه فاز جریان متناوب استفاده می شود. این ژنراتورها را به دو گروه توربوژنراتورها (ژنراتور سنکرونی که گرداننده آن توربین بخاری یا گازی است) و هیدروژنراتورها (ژنراتور سنکرونی که گرداننده آن توربین آبی باشد) تقسیم می کنند. با توجه به اینکه عموماً در نیروگاه های حرارتی با قدرت بالا (گازی، بخاری، سیکل ترکیبی، هسته ای) سرعت گردش توربین 3000 دور در دقیقه است لذا ژنراتور سنکرون کوپل شده با توربین، دو قطبی می باشد. در نیروگاه های آبی به خاطر کم بودن سرعت توربین های آبی، باید تعداد قطب های هیدروژنراتورها زیاد باشد تا بتوان به فرکانس تولیدی 50 Hz در تولید الکتریکی ژنراتور نایل شد.

از دیگر خصوصیات ژنراتورهای سنکرون، سهولت در عملکرد موازی آنها می باشد. در واقع شبکه های قدرت از تعداد بسیار زیادی ژنراتور سنکرون (واقع در نیروگاه) تشکیل شده اند که توسط خطوط انتقال با هم موازی می شوند. سنکرونیزم این شبکه بسیار بزرگ، با وجود مواجه بودن با اغتشاشات و مشکلات خاص خود، به سبب برخورداری از طرح ها و امکانات ضروری باید حفظ شود که این سنکرونیزم به معنای هماهنگی در عملکرد ژنراتور نیروگاه ها می باشد.

ساختمان ژنراتور

مقدمه

ژنراتور نیروگاه ها از اجزاء زیادی تشکیل شده است، اما معمول آن است که ماشین ها را بر حسب دو جزء مهم آنها یعنی استاتور و روتور بررسی نمایند. استاتور، قسمتی از ژنراتور است که ثابت بوده و شامل بدنه، هسته و سیم پیچ ها می باشد. توان نامی ماشین از استاتور گرفته می شود و استاتور باید نسبت به تنش های ناشی از بارگذاری عادی و تنش های شدید ناشی از خطاهای گذرا و شرایط اتصال کوتاه، مقاوم باشد. روتور این ژنراتورها بسته به تعداد دور آنها، بصورت قطب صاف یا قطب برجسته ساخته می شود. با توجه به اینکه سرعت محور توربین در نیروگاه های حرارتی بسیار بالا است، بنابراین تعداد قطب آن کم می باشد و روتور از نوع قطب صاف ساخته می شود.

سرعت این ژنراتورها از 3000 ~ 1200 دور بر دقیقه تغییر می کند اما در نیروگاه های آبی که سرعت توربین های آن بسیار کم است روتور از نوع قطب برجسته ساخته می شود.

استاتور ژنراتور

قسمت ثابت ژنراتور از تجهیزات متعددی تشکیل شده است که اساسی ترین آنها بدنه (قاب) استاتور، هسته و سیم پیچ های استاتور می باشد.

الف) قاب استاتور

قاب استاتور که بدنه خارجی ژنراتور را تشکیل می دهد، از قطعات فولادی تشکیل شده است که با جوش دادن این قطعات به یکدیگر بدنه محکم و سختی تشکیل می گردد. به منظور محکم نمودن قسمت های مختلف بدنه از میله های بزرگی که در داخل قاب استاتور نصب می شوند، استفاده می شود. این میله ها را به سادگی می توان خارج نمود.

در ژنراتورهای با قدرت بالا در داخل بدنه (قاب خارجی) قفسه داخلی دیگری به شکل مدور ساخته میشود که همراه با شیارهای محوری است. این شیارها، بدنه قاب را از قسمت هایی جدا می کند که از میان آنها، هیدروژن در کانال های شعاعی در هسته استاتور جاری می شود و در میان آن، خنک کننده های گازی که در قاب جا داده شده اند گردش می کند.

در ژنراتورهای بزرگ (با قدرت بیش از 300 MW و بالاتر از آن) قاب در دو قسمت جداگانه ساخته می شود و قفس تولیدی بعد از آنکه هسته استاتور ساخته شد و سیم بندی آن هم تمام گردید در قاب خارجی گذاشته می شود. یکی از روش های ساخت قاب استاتور، به اینگونه است که قاب خارجی در دو نیمه (مانند هم) ساخته می شود که توسط اتصالات جوش خورده و وصل می شود. پس از آن، قاب داخلی (که سیم بندی استاتور در آن جا سازی می شود) به قاب خارجی محکم می گردد.

ب (هسته استاتور

وظیفه هسته استاتور، ایجاد مسیر بسته برای فوران مغناطیسی ایجاد شده توسط قطب های روتور می باشد. این فوران پس از عبور از روتور و فاصله هوایی بین رتور و استاتور وارد هسته استاتور می شود و پس از تداخل با سیم پیچ های واقع بر شیارهای استاتور دوباره وارد روتور شده و مسیر بسته ایجاد می گردد.

به منظور کاهش تلفات ناشی از جریان های گردابی استاتور، هسته استاتور از تعداد زیادی صفحات از جنس فولاد سیلیکون نازک (که دارای خواص مغناطیسی عالی است) درست می شود. این صفحات نازک با لاک یا کاغذ برشمان نسبت به هم عایق می شوند که پس از قرار گرفتن بر روی یکدیگر یک هسته دایره ای شکل را با شیارهایی که سیم پیچ ها در آن نصب می شوند بوجود می آورد.

ضخامت ورقه های هسته ای که اکنون در ساخت توربو ژنراتورهای بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند عموماً بین $0.014 \sim 0.013$ inch است.

در این ژنراتورها صفحات هسته را بصورت بسته های ورقه ای فشرده شده، ایجاد می کنند. این بسته با ضخامت $1.5 \sim 2.5$ inch توسط مجراهای شعاعی تهویه به عرض $5 \sim 10$ cm مجزا شده اند تا گذرگاهی برای هیدروژن بگذارند.

صفحات فاصله انداز، معمولاً از جنس نوارهای غیر مغناطیسی فولاد نورد شده هستند که بر برش های نسبتاً ضخیم هسته و در دو انتهای هر بسته ورقه ها جوش نقطه ای می شوند. در بعضی از انواع طراحی ها، هسته استاتور به صورت محوری خنک می شود که در این حالت برای عبور هیدروژن سوراخ هایی در ورقه ها ایجاد می کنند.

قبل از آنکه سیم بندی روی هسته سوار شود آزمایش های استاتیکی جهت ارزیابی تقریبی هسته به عمل می آید. شدت شار در هسته توسط بوبین های اندازه گیر بدست می آید و اشباع هسته در آن سطح نیز به دست می آید.

ج (سیم پیچ های استاتور)

سیم پیچ های استاتور از نوارهای مسی تشکیل می گردند و برای عایق کاری آنها از نوارهای عایقی آغشته به لاک استفاده می شود. این نوارهای عایقی به دور شمش های مسی پیچیده شده، تحت شرایط خلاء و در اثر حرارت پرس می شوند. در نهایت، نوارهای عایقی پرس شده با شمش های مسی، یک کلاف عایق کاری شده کاملاً محکمی را تشکیل می دهند. سپس این کلاف ها در شیارهای استاتور جاسازی می شوند و بوسیله گوه (چوب های مخصوص مخروطی شکل) در شیارها محکم می گردند. این کلاف ها در انتها به هم متصل می شوند و تشکیل حلقه های انتهایی در هر طرف هسته را می دهند.

این حلقه های انتهایی به وسیله برنج، کاملاً محکم و با مواد عایقی، عایق کاری می شوند تا در مقابل نیروهای ناشی از جریان های اتصال کوتاه و یا اتفاقات دیگر مقاوم باشند. در ژنراتورهای جدید، سیم پیچ ها از لوله های مسی ساخته می شوند تا با عبور جریان آب در داخل آنها بتوان ژنراتور را خنک نمود.

روتور

روتور ژنراتورها وظیفه دارند تا علاوه بر تحمل سیم پیچ های تحریک، یک مسیر مغناطیسی با مقاومت مغناطیسی کم را برای شار مغناطیسی مهیا نموده و گشتاور نامی را از توربین به عکس العمل الکترومغناطیسی در فاصله هوایی منتقل نمایند. فولاد تنها ماده ای است که توانایی برآورده ساختن این نیازها را دارد.

روتور ژنراتورها مشابه استاتور از قسمت های متعددی تشکیل شده است که در اینجا به قسمت های آن اشاره می شود :

الف) ساختمان روتور

ساختمان روتور الکتریکی، پیچیده ترین قسمت ژنراتور است. با توجه به اینکه روتور ژنراتورهای مدرن با سرعت 3000 rpm می چرخند لذا نیروهای گریز از مرکز بسیار زیادی بر روی روتور ایجاد می شود. روتور در حقیقت یک ماده الکترومغناطیسی است و برای اینکه دارای قدرت مغناطیسی کافی باشد باید از سیم پیچ های آن جریان زیادی عبور کند. عبور جریان از سیم پیچ های روتور باعث ایجاد حرارت می شود که نباید از حد مجاز فراتر رود، در غیر اینصورت اشکالاتی را در عایق کاری به وجود می آورد.

برای کاهش درجه حرارت می توان سطح مقطع سیم ها را بزرگتر انتخاب نمود ولی وقتی سطح مقطع سیم پیچ ها بزرگ شود باید شیارهای پهن تر و عمیق تری را در درون روتور ایجاد نمود که این عمل، مقاومت مکانیکی روتور را کاهش می دهد.

این مساله را می توان با به کار بردن حداکثر مس در سیم پیچ های روتور و با طراحی خوب و دقت زیاد در ساختمان روتور حل نمود. روتور در ابتدا به صورت یک شمش فولادی است که دارای مقداری نیکل، کروم، مولیبدن و وانادیوم می باشد. فولاد مذکور سخت و قابل تراش است و خواص مغناطیسی خوبی دارد که در کارگاه های مخصوص، عملیات فلزکاری و ماشین کاری روی آن انجام می شود و سپس کارهای تراش کاری نهایی روی آن انجام می شود. در هنگام ساختن روتور معمولاً سوراخی در امتداد محور روتور از یک انتها به انتهای دیگر به وجود می آرند که با این عمل سطح داخلی روتور را می توان مورد بازرسی قرار داد. این عمل به کمک دستگاهی به نام بروسکوپ¹ انجام می شود. سپس برای نصب سیم پیچی و عبور سیال خنک کننده، شیارهایی در روی روتور ایجاد می شود. البته شیار زنی باعث تضعیف روتور می گردد. اینکار، یکی از علل نوسانات روتور با فرکانس دو برابر می باشد که همیشه در ماشین های دو قطبی وجود دارد.

طراحی شیارها از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است و باید با دقت خاصی طراحی و انجام شود زیرا باید میان مساله لزوم جریان زیاد سیم پیچی و موضوع استواری و استحکام روتور توازن مناسب و مطلوبی برقرار شود. این شیارها معمولاً بیش از 74 % ~ 68 سطح روتور را اشغال می کنند لیکن در بیشتر طرح ها، شیارهای کمکی برای برابر سازی سختی روتور در تمامی سطوح ایجاد می شود. این شیارها در بهبود تبرید روتور نیز موثر می باشد.

ب) سیم پیچ های روتور

ساختمان سیم پیچ های روتور با هر نوع سیستم خنک کنندگی آن یکسان می باشد. در سیم پیچ های هر قطب از سیم های مسی که روی آن را آب نقره می دهند استفاده می شود. سپس سیم پیچ های هر قطب در چارچوب های مستطیلی شکل قرار می گیرند تا آماده جایگذاری در شیارها شوند. قبل از قرار دادن هادی ها در داخل شیارها، باید سطح داخلی شیارها را با آزبست پیچیده شده با عایق میکا، نوارهای شیشه ای یا دیگر عایق های رده B فرش نمود. سپس هر هادی در شیار جا داده و فشرده می شود و توسط جداکننده های عایقی (به عنوان مثال عایق میکا) از هادی های دیگر عایق می گردد.

امروزه در روتورهای بزرگ، ترکیبی از سیم های توخالی و شیارهای با سوراخ هایی جهت عبور و گردش گاز خنک کننده از داخل سیم های هادی در نظر گرفته می شود. با توجه به اینکه روتورها با سرعت زیاد می چرخند، نیروی گریز از مرکز سعی دارد تا سیم پیچ ها را از داخل شیارها خارج نماید. لذا سیم پیچ ها توسط حلقه های نگهدارنده به شیارها محکم می شوند. سپس روتور را در معرض درجه حرارت بالا قرار می دهند تا اصطلاحاً پخته شود. پس از خنک شدن روتور، عایق بیشتری روی بالای هادی ها و روی دهانه دم چلچله ای قرار می دهند. در نهایت برای مقابله با نیروی گریز از مرکز گوه های T شکلی را در داخل شیارها و روی سیم پیچ ها نصب می کنند تا هادی ها را به طور استوانه ای در جای خود نگه دارند. در اغلب موارد یک میله مسی، زیر هر گوه قرار می دهند که بخشی از سیم پیچ میراکننده را جهت بهبود بخشیدن رفتار ژنراتور تحت شرایط بار نامتعادل تشکیل می دهد. حرکت سیم پیچ های انتهایی روتور را (که ممکن است در طول عملکرد روتور ایجاد شود) می توان بوسیله جا دادن قطعات شیشه آزبستی عمل آمده یا با فاصله دهنده های عایقی محکم میان سیم پیچ ها خنثی نمود.

ج) حلقه های نگهدارنده انتهایی سیم پیچی

چنانچه سیم پیچ های انتهایی روتور بوسیله حلقه های وزین نگهداری کننده با استقامت کششی بالا نگهداری نشوند در سرعت کار عادی روتور، سیم پیچ های آن از جای خود کنده شده و به بیرون پرتاب می شوند.

بدین منظور از حلقه هایی استفاده می شود که در قسمت انتهایی روتور و در خارج شیارها قرار می گیرند و بوسیله یک رینگ انتهایی پوشیده می شوند. این حلقه های انتهایی از فولاد ریخته گری شده نیکل - کروم دار غیرمغناطیس ساخته می شوند (گرچه در موارد معدودی هنوز از فولاد مغناطیسی هم استفاده می شود). این حلقه ها که از نزدیک روی سیم پیچ های انتهایی عایق شده قرار می گیرند، در هر انتهای بدنه روتور بر روی شیارهایی نصب می شوند به طوریکه دو انتهای بیرونی روی صفحات فولادی مناسبی واقع می شوند.

البته همان دقتی که حین ساخت بدنه روتور مراعات می شود، باید در مورد حلقه ها نیز بکار گرفته شود زیرا حلقه ها باید بتوانند نه تنها نیروی اعمال شده بر سیم پیچی انتهایی روتور را تحمل کنند بلکه نیروی از هم پاشی خودش را نیز (که به میزان بسیار زیادی است) تحمل نمایند. لازم به ذکر است که حلقه های نگهدارنده در تمامی مراحل ساخت مورد بررسی قرار می گیرند و برش های آن تجزیه و تحلیل می شوند.

د) حلقه های لغزان

جریان روتور بوسیله حلقه های لغزان که از فولاد مرغوب ساخته می شود جمع می گردد. این حلقه ها روی یک غلاف عایق شده سخت که معمولاً به بوش فولادی متصل است منقبض می گردند و سپس قسمت های روی هم سوار شده، بر روی محور روتور پرس می شوند. حلقه های لغزان همراه با نگهدارنده جاروبک، بین یاتاقان خارجی ژنراتور و تحریک کننده قرار می گیرند.

در ژنراتورهای بزرگ از دو یا چهار حلقه لغزان می توان استفاده کرد که به ازاء هر حلقه تعدادی جاروبک برای انتقال جریان لازم است. سطوح حلقه های لغزان معمولاً شیار مارپیچی خورده اند تا به توزیع یکنواخت جریان در سطوح تماس با جاروبک و نیز به خنک شدن آن کمک کند. هوای خنک کننده در یک مدار بسته یا همراه با سیستم تهویه تحریک کننده اصلی است و یا بطور مستقل توسط یک فن که روی شافت روتور قرار دارد ایجاد می شود.

ه (فن های واقع بر روتور

بمنظور به چرخش در آوردن هیدروژن خنک کنندگی از میان استاتور و تجهیزات ژنراتور، از فن هایی واقع بر روی روتور استفاده می شود. این فن ها در دو طرف محور روتور نصب می گردند و هر کدام وظیفه تهویه نصف طول ژنراتور را بر عهده دارند. این فن ها به دو نوع گریز از مرکز (شعاعی یا سانتریفوژ) و جریان محوری ساخته می شوند.

در نوع گریز از مرکز پره های زیادی در یک سیستم حلقه مانند قرار می گیرند ولی در نوع جریان محوری پره های ملخی شکل بر روی محور روتور نصب می شوند. فاصله نوک پره های مقابل یکدیگر (قطر خارجی واقع بر نوک پره های مقابل) باید از قطر داخلی استاتور بیشتر باشد تا پس از قرار گرفتن روتور در داخل استاتور، پره ها سطح مقطع روتور را بطور کامل بپوشانند. با توجه به اینکه این فن ها از شرایط ایده ال عملکرد به دور هستند، لذا از پره های راهنمای ثابت برای کاهش جریان گردابی هوا استفاده می شود. همچنین کاهش صدای این فن ها از اهمیت زیادی برخوردار نمی باشند زیرا بدنه خارجی استاتورها مجهز به موانع انتشار صدا هستند.

متعادل کردن روتور

بعد از تکمیل بدنه، روتور باید از نظر مکانیکی متعادل شود یعنی باید اطمینان حاصل کنیم که در سرعت های بالاتر از سرعت نامی هیچگونه ارتعاشی در روتور به وجود نمی آید. بدین منظور روتور باید نسب به محورش متقارن و یکنواخت باشد. برای انجام این عمل باید وزنه های متعادل کننده نصب شود.

این وزنه ها بگونه ای نصب می شوند که روتور در سرعتی به مقدار ۱۵٪ بیشتر از سرعت نامی بچرخد و هیچگونه نوسانی در روتور به وجود نیاید.

عایق کاری محور روتور و مجموعه یاتاقان

هنگامیکه ژنراتوری کار می کند همیشه مقدار مشخصی عدم توازن مغناطیسی در ماشین وجود دارد که این موضوع منجر به القاء ولتاژی کم در بدنه و محور روتور می شود. چنانچه این ولتاژ محدود نشود جریان شدیدی را از مدار آهنی با امپدانس کم (متشکل از بدنه روتور، مجموعه یاتاقان و آب بندی، قسمت کاسه نمد و شاسی و صفحه پایه ژنراتور) خواهد گذراند. چنین جریانی می تواند صدمه جدی به سطوح یاتاقان ها و روغن روانکاری وارد آورد. جریان شفت توسط جاگذاری عایق محکمی در محل های لازم برای عایق بندی یاتاقان ها، آب بندی محور، پاک کننده های روغن و شبکه لوله هایی که در بدنه ژنراتور وجود دارد انجام می شود. روش های متعددی برای این منظور وجود دارد و آنکه متداول تر است عایق کاری قسمت خارجی مجموعه یاتاقان است.

در این روش ساخت، هنگامیکه مجموعه یاتاقان تکمیل شد مقاومت الکتریکی بین محور روتور و بدنه ژنراتور باید آنقدر زیاد باشد که امکان عبور جریان محوری پدید نیاید.

سنکرونیزم ژنراتورها

مقدمه

شبکه های قدرت شامل تعداد بسیار زیادی ژنراتور هستند که محور آنها با سرعت (فرکانس) ثابتی می چرخند و بصورت منفرد یا گروهی به شین های شبکه متصل می شوند. این شین ها توسط خطوط انتقال و پست های رابط با هم موازی می شوند. اتصال یک ژنراتور بصورت موازی با ماشین های دیگر و با شبکه باید تحت شرایطی صورت گیرد که هیچگونه اختلال و اشکالی را در کار عادی شبکه ایجاد ننماید. بطور کلی روند اتصال یک ژنراتور به شبکه را سنکرونیزم می گویند.

قبل از اینکه ژنراتوری به شبکه وصل شود باید شرایطی که به آن شرایط سنکرونیزم می گویند فراهم گردد. این شرایط عبارتند از :

۱- ولتاژ پایانه ماشین تازه وارد باید برابر با ولتاژ باس بار باشد.

۲- فرکانس ماشین تازه وارد باید معادل با فرکانس باس بار باشد.

میزان ستینگ حفاظت فرکانس ژنراتور بین $47.5 \sim 52 \text{ Hz}$ با زمان عملکرد 3.2 ثانیه می باشد. این خود نشان دهنده این موضوع است که در صورت افزایش یا کاهش فرکانس ژنراتور از حد تعیین شده، باعث تریپ ژنراتور شده و در واقع یکی از شرایط سنکرون از بین می رود.

نکته :

در زمان پارالل واحد بایستی به این موضوع توجه داشت که شبکه به دلیل گستردگی دارای توانی به مراتب بیشتر از توان واحدهای نیروگاهی می باشد و به همین دلیل با وصل بریکر ژنراتور، شبکه قصد تحمیل شرایط خود به واحد نیروگاهی را دارد. اصطلاحاً به این مسئله شرایط ترمزی اطلاق می گردد.

در نتیجه در زمان پارالل واحد اگر فرکانس ژنراتور کمی بالاتر از فرکانس شبکه باشد باعث افزایش ایمنی واحد در مقابل شرایط تحمیل شده شبکه می شود و میزان پایداری واحد را در این شرایط افزایش می دهد.

۳- فاز ولتاژ ماشین ورودی باید همان زاویه باس بار نسبت به بار باشد تا در لحظه وصل کلید ژنراتور، هیچ جریان گردشی بین سیم پیچ ژنراتورهایی که قبلاً در مدار بوده اند (باس بارها) و ماشین ورودی بوجود نیاید.

۴- ترتیب توالی فاز^۱ ماشین ورودی و باس بار یکسان باشد. منظور از توالی فازها، آرایش صحیح سه فاز اصلی T, S, R ژنراتور با T, S, R مربوط به BUS شبکه می باشد. بدین شکل که فاز R ژنراتور به فاز R شبکه متصل شده باشد و در واقع فازها نظیر به نظیر یکدیگر متصل شده باشند.

ترتیب صحیح فازها با اتصال فازهای همنام به یکدیگر را می توان بوسیله سه عدد لامپ کنترل کرد. برابر نمودن ولتاژها و فرکانس ها به وسیله تغییر ولتاژ تحریک و تنظیم تعداد دور توربین ایجاد می شود.

روش های سنکرونیزم

روند اتصال یک ژنراتور به شبکه معمولاً به سه صورت دستی، نیمه اتوماتیک و اتوماتیک صورت می گیرد. در کنار پانل کنترل ژنراتور جهت سنکرونیزم تجهیزات آنالوگ مشروحه زیر نصب گردیده است :

۱- فرکانس متر

۲- ولت متر ΔV دامنه ولتاژ

۳- سنکرون متر

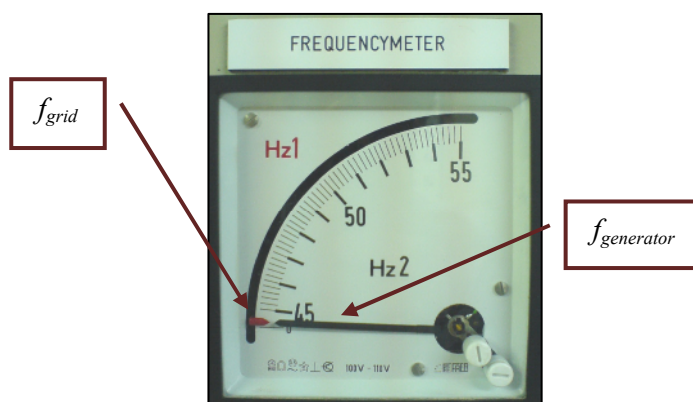
۴- آمپر متر جریان تحریک

۵- سلکتور وضعیت سنکرون (دستی و اتوماتیک)



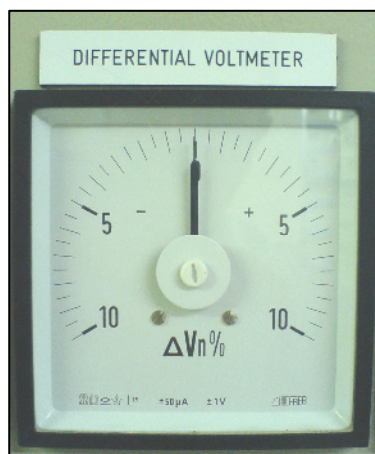
۱- فرکانس متر (*FREQUENCY METER*)

این فرکانس متر دارای دو عقربه به رنگهای مشکی و قرمز می باشد که عقربه مشکی میزان فرکانس ژنراتور و عقربه قرمز فرکانس شبکه را نمایش می دهد. انطباق این دو عقربه در امتداد یکدیگر بر روی 50 Hz نشان دهنده آماده بودن شرایط از نظر فرکانسی جهت سنکرون واحد می باشد.



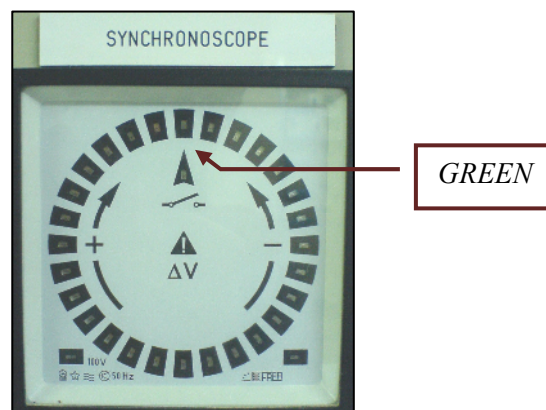
۲- ولت متر ΔV دامنه ولتاژ

این ولت متر درصد اختلاف دامنه ولتاژ تولیدی ژنراتور با ولتاژ باس شبکه را نمایش می دهد. هر مقدار عقربه ولتمتر به سمت مثبت متمایل باشد نشان دهنده بالاتر بودن دامنه ولتاژ ژنراتور نسبت به ولتاژ شبکه می باشد و همچنین تمایل عقربه ولتمتر به سمت منفی نشان دهنده بالاتر بودن دامنه ولتاژ باس شبکه نسبت به دامنه ولتاژ ژنراتور می باشد.



۳- سنکرون متر *SYNCRONIZER*

از یکسری دیود نورانی (*LED*) که بصورت مدور نصب گردیده اند تشکیل شده است و قبل از سنکرون واحد اگر *LED* ها به صورت چشمک زدن و در جهت عقربه های ساعت روشن و خاموش شوند نشان دهنده پایین تر بودن فرکانس واحد از فرکانس شبکه می باشد که با تنظیم دور واحد می توان فرکانس را تنظیم نمود. هر چه سرعت حرکت *LED* ها بیشتر باشد (منظور حالت چشمک زدن به صورت متوالی می باشد) نشان دهنده اختلاف بالاتر فرکانس ها است و هر چه میزان سرعت حرکت *LED* ها کمتر باشد نشان دهنده پایین بودن اختلاف فرکانس ها است. حرکت *LED* ها در جهت عقربه های ساعت نیز نشان دهنده بالاتر بودن میزان فرکانس واحد از شبکه می باشد.

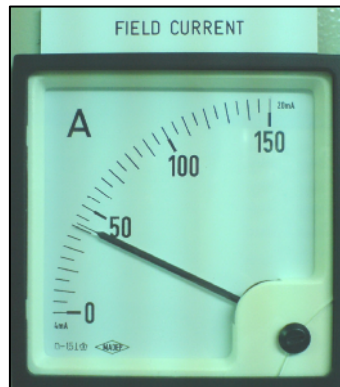


نکته :

LED ها در زمان چشمک زدن و حرکت به رنگ قرمز می باشند و تنها یکعدد *LED* سبز رنگ در موقعیت ساعت دوازده نصب شده است که یک علامت مثلث در زیر *LED* مذکور درج گردیده است. با هر بار روشن شدن *LED* سبز رنگ شرایط سنکرون مهیا شده و واحد توانایی سنکرون شدن را پیدا می کند. هرگاه زمان روشن ماندن *LED* سبز رنگ بیشتر باشد نشان دهنده اختلاف پایین فرکانس های واحد و شبکه می باشد و بالعکس.

۴- آمپر متر جریان تحرک

یک آمپر متر آنالوگ است که میزان جریان تحریک اعمال شده به اکسایتر (ژنراتور تحریک) را نمایش می دهد.



۵- سلکتور وضعیت سنکرون (دستی و اتوماتیک)

پس از سپری شدن مراحل استارت در زمانیکه واحد در وضعیت *FULL SPEED NO LOAD* قرار گرفت می توان به دو صورت دستی و اتوماتیک اقدام به سنکرون ژنراتور نمود. بطوریکه با قرار دادن سلکتور در وضعیت *AUTO*، سیستم سنکرون واحد به صورت اتوماتیک عمل نموده و با فراهم شدن شرایط سنکرون، واحد را با شبکه پارالل می نماید.



در صورت استفاده از وضعیت دستی بایستی پس از حصول اطمینان از برقراری شرایط سنکرون (که قبلاً ذکر گردید) با استفاده از سلکتور (52G) *UNIT BREAKER CONTROL* می توان واحد را بصورت دستی با شبکه پارالل نمود.



ابتدا کلید قید شده را در وضعیت *CLOSE* قرار داده هنگامیکه چراغ سبز سنکرون متر روشن گردید این کلید را به داخل می فشاریم در صورت مهیا بودن شرایط سنکرون فرمان وصل بریکر ژنراتور صادر می شود و لامپ تعبیه شده در کلید *UNIT BREAKER CONTROL* خاموش می گردد و این به معنی بسته شدن بریکر ژنراتور و پارالل شدن ژنراتور با شبکه می باشد.

تنظیم ولتاژ و فرکانس : در صورتیکه بخواهیم واحد را بصورت دستی پارالل کنیم جهت تنظیم ولتاژ و فرکانس ژنراتور می توان از کلیدهای فرمان بر روی پانل ژنراتور استفاده کرد.



برای تنظیم ولتاژ با فشردن کلید *ENABLE* و یکی از کلیدهای مثبت و منفی *EXCITATION VOLTAGE CONTROL* ولتاژ افزایش یا کاهش می یابد همچنین برای تنظیم فرکانس با فشردن کلید *ENABLE* و یکی از کلیدهای مثبت و منفی *SPEED / LOAD CONTROL* فرکانس افزایش یا کاهش می یابد.



کلیدهای *FIELD BREAKER CONTROL* نشان دهنده وصل بودن جریان تحریک (روشن بودن لامپ سیگنال *ON*) و یا قطع بودن جریان تحریک (روشن بودن لامپ سیگنال *OFF*) می باشد.

کلیدهای *REGULATION OPERATING MODE* نشان دهنده وضعیت کنترلی *AVR* می باشند که یکی از حالات دستی (*MANUAL*) و خودکار (*AUTO*) است.

مصرف داخلی نیروگاههای تولید برق

مقدمه

عموماً در نیروگاه های برق، سیستم تولید انرژی به صورت خودکار انجام می شود و برای این منظور به تجهیزات کمکی نیاز است. با طراحی مناسب این تجهیزات، نه تنها راه اندازی قسمت های اصلی نیروگاه مهیا می شود بلکه موجبات مکانیزه شدن سیکل نیروگاه نیز فراهم می گردد. این تجهیزات بسته به نوع نیروگاه متنوع است. البته بیشترین تجهیزات کمکی در نیروگاه ها، مربوط به نیروگاه های بخاری می باشد. به طور خلاصه می توان به موارد اصلی این تجهیزات اشاره نمود :

- سیستم تخلیه و انتقال سوخت، پمپ تزریق سوخت به مشعل های دیگ بخار، فن تامین کننده هوای مشعل های دیگ بخار، فن مکش گازهای کوره، فن گردش گاز کوره، گرمکن هوای کوره، پمپ تغذیه آب دیگ بخار

- تجهیزات کمکی مورد نیاز توربوژنراتور شامل پمپ آب مقطر کندانسور، پمپ ایجاد خلاء کندانسور و پمپ های آب خنک کن کندانسور، سیستم تحریک ژنراتور، برج های خنک کننده، ترانسفورماتورهای تغذیه داخلی، تابلوهای تقسیم برق، باطری های روشنایی و...

- تصفیه خانه آب، آتش نشانی، سیستم تهیه گاز هیدروژن

- آزمایشگاه های مختلف، جرثقیل ها، پمپ تخلیه، سیستم روغن رسانی و تصفیه روغن، کمپرسورهای هوا و...

- تمام وسایلی که به منظور تامین مصرف داخلی استفاده می شوند (از قبیل کلیدها، ترانسفورماتورها، شین ها، کابل های مختلف و...) تاسیسات مصرف داخلی را تشکیل می دهند.

تجهیزات کمکی در نیروگاه های بخاری با نیروگاه های گازی و آبی متفاوت است. البته بعضی از تجهیزات فوق در تمامی نیروگاه ها مشترک می باشند. دستگاه های کمکی که تعداد آنها در نیروگاه ها قابل توجه است، خود احتیاج به انرژی الکتریکی یا حرارتی دارند.

اصولاً مصرف بخشی از انرژی تولیدی نیروگاه های برق جهت در مدار ماندن و ادامه کار واحدها لازم و ضروری است. از این جهت نیروگاه های برق با یک سری مصارف، به نام مصارف داخلی روبرو هستند. این مصارف داخلی درصدی از انرژی تولیدی نیروگاه ها را به خود اختصاص می دهند. همانگونه که نوع و سیستم های تجهیزات کمکی در نیروگاه های مختلف متفاوت است، از نظر میزان انرژی مصرفی هم اختلافات ناچیزی بین نیروگاه های مختلف وجود دارد. در بین نیروگاه های مختلف برق، مصارف داخلی نیروگاه های برق آبی کمترین و مصارف داخلی نیروگاه های بخاری بیشترین مقدار را دارند که این مصارف را می توان به صورت تقریبی زیر بیان نمود :

۱) مصرف داخلی نیروگاه های برق آبی : $0.2 \sim 0.4 \%$

۲) مصرف داخلی نیروگاه های گازی : $0.5 \sim 0.7 \%$

۳) مصرف داخلی نیروگاه های دیزلی : $2 \sim 5 \%$

۴) مصرف داخلی نیروگاه های بخاری : $4.5 \sim 6.5 \%$ (با توجه به نوع سیستم خنک کنندگی)

۵) مصرف داخلی نیروگاه های چرخه ترکیبی $2.4 \sim 3 \%$ (با سیستم خنک کن خشک)

در صورت استفاده از توربو پمپ تغذیه می توان مصارف داخلی نیروگاه های بخاری را از مقدار ذکر شده $3 \sim 3.5 \%$ کاهش داد.

علت کاهش مصرف داخلی در این حالت آن است که پمپ تغذیه آب دیگ بخار (به جای آنکه با یک موتور الکتریکی به گردش در آید) بوسیله یک توربین کوچک به گردش در می آید و دیگر نیازی به صرف انرژی الکتریکی نمی باشد.

با توجه به اینکه عدم تامین انرژی مورد نیاز پمپ های اصلی نیروگاه از قبیل فن های تامین هوای مورد نیاز، فن دودکش، موتورهای تامین کننده سوخت، پمپ آب تغذیه و... باعث از کار افتادن کل نیروگاه یا قسمتی از آن می شود، بنابراین باید تاسیسات مصرف داخلی از ضریب اطمینان بسیار خوبی برخوردار باشند. همچنین در صورتیکه به دلائلی سیکل قدرت از کار بیفتد و تولید انرژی الکتریکی نیروگاه متوقف شود، برای جلوگیری از صدمه خوردن تجهیزات، باید وسایل و تجهیزاتی از قبیل پمپ روغن توربین، ترنینگ گیر، سیستم روشنایی اضطراری، مرکز کامپیوتر نیروگاه و... در مدار بمانند تا زمینه جلوگیری از صدمات احتمالی به تجهیزات و همچنین راه اندازی نیروگاه پس از رفع عیب وجود داشته باشد. این موضوع حساسیت مصرف داخلی نیروگاه و همچنین این نکته که تا چه حد این سیستم باید از ضریب اطمینان بالایی برخوردار باشد را مشخص می سازد.

تغذیه برق اضطراری

در هر نیروگاهی مصرف کننده هایی وجود دارند که تحت هیچ شرایطی (حتی قطع مصرف داخلی) نباید بی برق شوند زیرا در غیر اینصورت خطرات جبران ناپذیری را برای نیروگاه به همراه خواهد داشت. از جمله این مصرف کننده ها می توان به چند مورد زیر اشاره کرد :

الف) عموماً در نیروگاه های بزرگ، سیم بندی روتور و استاتور ژنراتور توسط هیدروژن خنک می شوند (البته در بعضی از نیروگاه ها از سیال های خنک کننده آب یا هوا هم استفاده می شود). با توجه به اینکه هیدروژن، گازی قابل اشتعال است پس هیچ گاه نباید به محیط بیرون راه یابد و در فضا پراکنده شود زیرا منجر به آتش سوزی می شود. برای اینکه هیدروژن به محیط بیرون نشت نکند، پمپی وجود دارد که روغن (یا بخار) را به حلقه سیل (آب بندی) پمپاژ می کند. فشار روغن باید از فشار گاز هیدروژن بیشتر باشد تا روغن بتواند کلیه منافذها را مسدود نماید. پس این پمپ ها باید همواره در حال چرخش باشند و موتوری که این پمپ ها را به چرخش در می آورد نباید بی برق شود.

ب) محور ژنراتور و توربین به علت سنگینی بسیار زیادی که دارند، بر روی وسیله ای به نام جکینگ قرار دارند تا فشار زیادی به یاتاقان ها و بدنه داخلی یاتاقان ها (که از جنس نرم هستند) وارد نشود و ساییده نگردند. در ساخت یاتاقان ها، پس از اینکه مفتول اصلی یاتاقان ریخته شد، سطح داخلی یاتاقان با آلیاژ نرمی به نام بابیت پوشانده می شود. این آلیاژها با بنیان قلع یا سرب، فلزهایی نرم هستند که جهت کاهش اصطکاک در سطح داخلی یاتاقان ها مورد استفاده قرار می گیرند. حال با ساییده شدن این فلز، محور توربوژنراتور (که از جنس سخت است) با سطح زیرین یاتاقان (که آن هم از جنس سخت است) درگیر می شوند و ممکن است به محور توربوژنراتور آسیب وارد شود.

بنابراین موتوری که پمپی را می گرداند تا فشار روغن را برای استفاده در جکینگ ها ایجاد کند باید همواره برق دار باشد تا محور توربین و ژنراتور (که در حال چرخش هستند و توسط یاتاقان ها نگهداری می شوند) همواره بر روی جکینگ ها قرار داشته باشند.

ج) به منظور کاهش اصطکاک در یاتاقان ها، تا زمانیکه محور توربوژنراتور می چرخد، باید لایه نازکی از روغن توسط پمپی به درون یاتاقانها تزریق شود. پس این پمپ ها جزو پمپ های اضطراری می باشند و در هر صورت پمپ های مذکور باید همیشه برق دار باشند.

د) در نیروگاه ها یک سری والوهای فشار قوی وجود دارند که توسط موتورهایی به چرخش در می آیند. از این نوع می توان به والوهای راه اندازی، والوهای دریچه بخار سوپرهیتر، والوهای دریچه در قبل و بعد از ری هیترها اشاره نمود که تحت هر شرایطی باید بتوان موتور آنها را برق دار نمود.

ه) روشنایی اضطراری نیروگاه، سیستم های خبری و حفاظتی : این ها وسایلی هستند که به دلایلی نمی توان آنها را مستقیماً از جریان مستقیم تغذیه نمود (بلکه نیاز به تغذیه از طریق جریان متناوب است) زیرا اکثر این موتورها و پمپ های اضطراری در نقاطی تعبیه شده اند که با درجه حرارت های بالایی در تماس هستند. بدین منظور موتورهای جریان متناوب با روتور قفسه ای بهتر از موتورهای جریان دائم، جوابگوی این نوع راه اندازی ها می باشند. بنابراین باید در نیروگاه های مدرن برای این نوع مصرف کننده ها یک شین اضطراری پیش بینی نمود تا تجهیزات اضطراری به این شین ها متصل گردند.

البته علاوه بر شین اضطراری نیروگاه، تجهیزات دیگری وجود دارند که فقط با ولتاژ dc کار می کنند. از این وسایل می توان به تغذیه رله های سیستم های حفاظتی ژنراتور و توربین، سیستم های فرمان، روشنایی اضطراری و علائم خبری اضطراری اشاره نمود. پس باید یک شین با ولتاژ dc در هر نیروگاهی وجود داشته باشد. نظر به اینکه با بروز اشکالی در مصرف داخلی یا در شبکه، احتمال به صفر رسیدن ولتاژ در تاسیسات مصرف داخلی وجود دارد، لذا باید شین اضطراری و شین dc از منبع مطمئنی که تابع شبکه نباشد تغذیه گردد. بدین منظور از باتری خانه استفاده می شود.



سیستم برق اضطراری

همانگونه که قبلاً هم بیان شد، علاوه بر تجهیزات اضطراری قبلی که با ولتاژ dc کار می کردند، موتورهای اضطراری وجود دارند که به خاطر کار در قسمت های با درجه حرارت بالا باید با ولتاژ متناوب تغذیه شوند. اکثر این تجهیزات درجه های والو مربوط به سوهیترها، ری هیترها و والوهای مرحله راه اندازی نیروگاه می باشد.

برای تغذیه شین اضطراری از یک مبدل dc به ac (اینورتر) استفاده می شود. این اینورتر، برق باتری خانه (شین dc) را به ac تبدیل می کند تا شین اضطراری را برق دار نماید.

با توجه به اینکه تغذیه شین اضطراری ac از طریق اینورتر و شین dc برای زمان های بسیار کم (در حدود ۱ تا ۲ ساعت) و آن هم در مواقع اضطراری و قطع برق سیستم مصرف داخلی و شبکه امکان پذیر می باشد، لذا برای تغذیه شین اضطراری در شرایط عادی سیستم مصرف داخلی، باید امکان تغذیه این شین از شین ac فشار ضعیف مصرف داخلی وجود داشته باشد.

مصرف داخلی نیروگاه های گازی

مصرف داخلی توربین های گازی بعد از واحدهای نیروگاه های برق آبی، کمترین مقدار را دارد. مصارف داخلی (تلفات نسبی) این واحدها حدود $0.5 \sim 0.7\%$ می باشد (بدون تلفات ترانسفورماتورها). لازم به ذکر است که کم بودن مصارف و تلفات این نیروگاه ها به همراه قیمت کم این تجهیزات نسبت به نیروگاه های بخاری، دلیلی بر استفاده از این نیروگاه ها به طور وسیع در شبه های قدرت ایجاد نمی کند. علت آن است که هر چند تلفات الکتریکی واحدهای توربین گازی کم است ولی در عمل مقداری از نیازهای مصارف داخلی و نگهداری واحد به شکل نیروی مکانیکی توسط توربین تولید و توسط کمپرسور جذب می گردد. در واقع کمپرسور اصلی واحد، بخشی از نیازهای خود را مستقیماً از طریق توربین گازی تامین می کند و بقیه تلفات داخلی الکتریکی، به مصرف تجهیزات کمکی (تامین کننده های نیازهای سوختی، روغن، سیستم خنک کن و...) می رسد.

به عبارت روشن تر، بازده نیروگاه های گازی بسیار کم است و نمی توان به مزایای کم بودن تلفات داخلی و ارزان بودن آن زیاد توجه نمود. بازده این واحدها در حال حاضر برای واحدهای با قدرت بیش از 100 MW و در بار کامل حدود 32% می باشد در حالیکه بازده واحدهای نصب شده در ایران (که با قدرت های کمتر از 30 MW می باشد) حداکثر 27% است و متوسط بازده سالیانه کمتر از 23% است که مقدار این بازده هم با کثیف شدن فیلتر هوای کمپرسور و پره های توربین، کاهش می یابد. به عبارت دیگر، افت بازده واحدهای گازی در شرایط محیطی بیشتر از افت بازده واحدهای بخاری است.

از تجهیزات کمکی نیروگاه های گازی می توان به تجهیزات راه انداز نیروگاه، پمپ های انتقال سوخت، پمپ های فشار قوی سوخت، پمپ های روغن هیدرولیک و روغن کاری، فن های خنک کننده آب، پمپ گردش آب و بعضی مصارف دیگر نام برد.

البته در تعدادی از این نوع نیروگاه ها، بعضی از این مصارف نیز توسط اتصال مکانیکی جعبه دنده، نیروهای خود را مستقیماً از محور توربین گازی دریافت می کنند که در اینصورت جزء مصارف الکتریکی محسوب نمی شوند. همچنین در بعضی از واحدهای گازی که از سیستم تحریک استفاده می کنند، قدرت مصرفی تحریک را نیز باید جزء مصرف داخلی منظور نمود. در این حالت با افزایش 0.5% در مصارف داخلی مواجه خواهیم بود.

اثر ارتفاع نصب در نیروگاه های گازی و مصرف داخلی آنها

با توجه به اینکه وزن هوا در واحد حجم، در ایجاد قدرت بیشتر در توربین گازی موثر است، بنابراین محل نیروگاه از نقطه نظر ارتفاع از سطح دریا و سردی و گرمی هوا در قابلیت باردهی نیروگاه (بعثت تغییرات وزن مخصوص هوا) تاثیر می گذارد، به نحویکه قدرت اسمی توربین گازی در مناطق کوهستانی به علت رقیق بودن هوا، از مناطق کم ارتفاع تر کمتر می باشد. بر این اساس حداکثر قدرت توربین های گازی از نظر تاثیر ارتفاع در شهرهای کنار دریا قرار دارد.

همچنین افزایش درجه حرارت (که باعث رقیق شدن هوا و افت وزن مخصوص آن می گردد) اثری مشابه با اثر ارتفاع مناطق کوهستانی در کاهش قدرت واحدهای گازی دارد. از طرفی چون قدرت اسمی توربین گازی بر اساس استاندارد بین المللی (ISO) برای کنار دریا و درجه حرارت هوای محیط 15 درجه سانتیگراد مشخص و اعلام می گردد، باید قدرت اسمی توربین گازی در هر منطقه را برای شرایط محیطی آن منطقه محاسبه و مشخص کرد.

از نسبت بین فشار هوای محیط به فشار هوای استاندارد در کنار دریا، ضریب اصلاح قدرت برای ارتفاع محل نصب حاصل می شود.

به عنوان مثال قدرت واحدهای توربین گازی نصب شده در تهران را می توان به صورت زیر به دست آورد :

$$F_1 = \frac{P_1}{P_0} = \frac{665 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} = \text{ضریب اصلاح قدرت برای فشار هوای تهران}$$

که در این رابطه :

$$P_1 = \text{فشار هوای تهران به طور متوسط } 665 \text{ mmHg}$$

$$P_0 = \text{فشار استاندارد، فشار هوا در کنار دریای آزاد که } 760 \text{ mmHg} \text{ می باشد.}$$

برای بدست آوردن ضریب اصلاح قدرت در اثر تغییر درجه حرارت هوای محیط از منحنی های خاصی همراه مشخصات فنی واحد استفاده می شود ولی بطور متوسط می توان 0.7% را به ازای افزایش هر درجه سانتیگراد از مبنای مقایسه (15 درجه سانتیگراد) در نظر گرفت. به عنوان مثال ضریب اصلاح قدرت برای دمای 35 درجه سانتیگراد به شکل زیر محاسبه می شود :

$$\text{افت قدرت} = \left(\frac{35-15}{100} \right) \times 0.7 = 0.14$$

$$F_2 = 1 - 0.14 = 0.86 = \text{ضریب اصلاح قدرت برای درجه حرارت}$$

با توجه به ارقام فوق قدرت یک واحد توربین گازی با قدرت اسمی 145 MW در تهران و با حرارت هوای 35 درجه سانتیگراد به صورت زیر به دست می آید :

$$N_1 = F_1 \times F_2 \times N_0$$

که :

$$N_1 = 0.875 \times 0.86 \times 145 = 109 \text{ MW}$$

هر چند برای اصلاح افت های فوق (تغییر شرایط محیط) کار عمده ای نمی توان کرد ولی به هر حال دانستن نقاط ضعف و قدرت دستگاه ها می تواند راهنمای خوبی برای بررسی ها و انتخاب راه حل های مناسب در آینده و برای صنعت برق باشد .

خصوصیات ترانسفورماتورهای قدرت نیروگاه

همانگونه که در بحث مصرف داخلی نیروگاه ها بیان نمودیم در نیروگاه، ترانسفورماتورهای متعددی وجود دارند که هر یک از آنها دارای وظایف مخصوص به خود هستند.

ترانسفورماتور ژنراتور^۱

این ترانسفورماتور به عنوان بزرگترین ترانسفورماتور نیروگاه می باشد که وظیفه آن انتقال انرژی از ژنراتور به شین اصلی نیروگاه می باشد. بنابراین، ترانسفورماتور مذکور از یک طرف به ولتاژ فشار ضعیف ژنراتور (بین $10 \sim 25 \text{ Kv}$) و از طرف دیگر به ولتاژ فشار قوی شبکه (عموماً 132 Kv ، 230 Kv و 400 Kv) متصل می گردد.

معیارهای مهم و موثری که باید در طراحی این ترانسفورماتور در نظر گرفته شود عبارتند از :

۱) ولتاژ سیم پیچ فشار قوی بسیار بالا است.

۲) جریان سیم پیچ فشار ضعیف بسیار بالا است (به عنوان مثال برای یک ترانسفورماتور 800 MVA برابر 20 KA می باشد).

۳) بمنظور کنترل ولتاژ قوی و ضریب قدرت ژنراتور، ترانسفورماتور باید مجهز به تپ چنجر زیر بار باشد. در این حالت ولتاژ فشار ضعیف در محدوده $\pm 0.5\%$ از ولتاژ نامی خود، ثابت باقی می ماند.

۴) به خاطر تحمل وزن زیاد این ترانسفورماتورها، باید پی ریزی مناسبی صورت پذیرد. همچنین برای حمل آنها نیاز به وسایل انتقالی مناسبی می باشد.

۵) قابلیت اطمینان و در دسترس بودن این ترانسفورماتورها باید تا حد امکان بالا باشد زیرا بدون وجود این ترانسفورماتور، امکان انتقال قدرت به شبکه وجود ندارد و همچنین هزینه تعویض آنها هم بسیار زیاد است. البته معیارهای دیگری نیز وجود دارند که از اهمیت کمتری برخوردار هستند.

این معیارها عبارتند از :

الف) به خاطر اینکه این ترانسفورماتورها در ضریب بار بالایی کار می کنند باید تلفات بی باری و بارداری آنها تا حد امکان پایین باشد.

ب) در طرح اتصال مستقیم ترانسفورماتور به سیستم 400 Kv ، نیروی استحکام بالایی مورد نیاز می باشد.

ج) میزان صدای ترانسفورماتور باید از حد مجاز کمتر باشد.

د) در طراحی این ترانسفورماتورها بطور عادی مقدار 4% اضافه بار برای سه دوره یک ساعته برای هر روز باید در نظر گرفته شود.

نکته بسیار مهم در مورد این ترانسفورماتورها آن است که در نیروگاه های با قدرت تولیدی زیاد وزن ترانسفورماتورهای سه فاز ژنراتورها بسیار زیاد می باشد و ابعاد آن هم بزرگ می شود در نتیجه حمل و نقل و نصب آنها با مشکل روبرو خواهد شد.

بدین منظور در این نیروگاه ها از سه ترانسفورماتور تک فاز استفاده می شود تا هزینه های حمل و نقل و نصب کاهش یابد.

ترانسفورماتور نیروگاه^۱

این ترانسفورماتور وظیفه تامین انرژی مصرف داخلی نیروگاه را برای مواقع راه اندازی بر عهده دارد. همچنین بارهایی را که در ارتباط با واحد تولیدی ژنراتورها نمی باشد می توان از این ترانسفورماتور تغذیه نمود. از این جمله می توان به مصارف روشنایی، جرثقیل ها، کارگاه ها و دیگر سرویس ها اشاره نمود. این ترانسفورماتورها از طریق شبکه انرژی های مورد نیاز را تامین می کنند.

عواملی که در طراحی این نوع ترانسفورماتورها موثر هستند عبارتند از :

الف (طرف فشار قوی این ترانسفورماتورها به ولتاژ شبکه نیروگاه ($132,230,400\text{ Kv}$) متصل می شود.

ب (با توجه به اینکه این ترانسفورماتورها برای تغذیه مصرف داخلی است در نتیجه ولتاژ فشار ضعیف این ترانسفورماتورها باید متناسب با ولتاژ مصرفی داخلی (عموماً $6,6.3,6.6\text{ Kv}$) باشد.

ج (با توجه به اینکه با تغییر بار مصرف داخلی و تغییرات ولتاژ شبکه نباید ولتاژ مصرف داخلی تغییر کند لذا باید این ترانسفورماتور مجهز به تپ چنجر زیر بار باشد.

د (با توجه به اینکه ترانسفورماتورهای نیروگاه در نصف بار نامی یا کمتر از آن کار می کنند لذا ضریب بار آنها کم می باشد. در نتیجه تلفات بار این ترانسفورماتورها زیاد است ولی باید تلفات ثابت آن تا حد امکان کم باشد.

ترانسفورماتور واحد^۱

این ترانسفورماتورها وظیفه تامین مصرف داخلی نیروگاه را در شرایط عادی از پایانه های ژنراتور به عهده دارند. به عبارت دیگر انرژی مورد نیاز مصرف داخلی از طریق این ترانسفورماتور و از انرژی تولیدی ژنراتور تامین می شود. از عوامل موثر در طراحی ترانسفورماتورهای واحد می توان به موارد زیر اشاره نمود :

الف) ولتاژ فشار قوی این ترانسفورماتورها برابر ولتاژ نامی ژنراتور می باشد.

ب) ولتاژ فشار ضعیف این ترانسفورماتورها متناسب با ولتاژ مصرف داخلی نیروگاه می باشد.

ج) با توجه به اینکه ولتاژ فشار قوی این ترانسفورماتورها برابر ولتاژ ژنراتور است و حلقه کنترل ولتاژ ژنراتور (AVR) هم وظیفه نگهداری ولتاژ پایانه ژنراتور را در حدود $\pm 0.5\%$ ولتاژ نامی آن بر عهده دارد، لذا استفاده از تپ چنجر زیر بار برای این ترانسفورماتورها لزومی ندارد.

د) در شرایط عادی مصرف داخلی نیروگاه ها از طریق این ترانسفورماتور تامین می شود لذا ضریب بار عملکرد آنها زیاد می شود. در نتیجه این ترانسفورماتورها دارای تلفات بی باری و بارداری زیادی هستند.

ترانسفورماتورهای کمکی

همانگونه که در بحث مصرف داخلی نیروگاه ها بیان نمودیم به منظور تغذیه پمپ ها، فن ها، موتورهای کوچک و بزرگ، سیستم های روشنایی و اضطراری و... سطح ولتاژهای مختلفی در مصرف داخلی نیاز می باشد. عموماً در نیروگاه با توجه به مقدار توان تولیدی، دو، سه یا چهار سطح ولتاژ مورد نیاز می باشد. در نتیجه به منظور ایجاد این سطح ولتاژها، نیاز به ترانسفورماتورهای کمکی می باشد تا از ولتاژ اصلی نیروگاه (ولتاژ ژنراتور)، ولتاژهای سطح فشار قوی و فشار ضعیف مصرف داخلی مهیا شود.

عموماً این ترانسفورماتورها با توجه به نحوه استفاده از آنها در مناطق سر پوشیده نیروگاه مورد استفاده قرار می گیرند.

ترانسفورماتورهایی که ولتاژهای فشار قوی مصرف داخلی نیروگاه را تولید می کنند از نوع ترانسفورماتورهای روغنی با سیستم خنک کنندگی *ONAN* می باشند ولی ترانسفورماتورهای تولید کننده ولتاژ فشار ضعیف مصرف داخلی، از نوع ترانسفورماتورهای خشک با سیستم خنک کنندگی هوا می باشند.

البته لازم است تا در ترانسفورماتورهای قدرت نوع خشک، از بهترین نوع عایق استفاده شود تا درجه حرارت زیادی را تحمل کند. معمولاً عایق مورد استفاده از عایق کلاس *C* می باشد که حداکثر درجه حرارت قابل تحمل آن بیش از 180°C است.

ضمائم

دستورالعمل بهره برداری از ایستگاه تخلیه سوخت (unloading) :

آنلودینگ به معنی تخلیه کردن (در اینجا منظور سوخت گازوییل) می باشد. ایستگاه اصلی تخلیه سوخت شامل سه جایگاه برای تخلیه تانکرهای گازوییل بوده و عمل تخلیه و انتقال سوخت به مخازن در هر جایگاه، توسط سه عدد شیلنگ و الکتروپمپ صورت می گیرد.



تجهیزات اصلی آنلودینگ :

۱- پمپ آنلودینگ : جهت تخلیه سوخت مایع از سه عدد الکتروپمپ (در سه جایگاه) استفاده شده که از نوع سانتریفیوژ بوده و بوسیله برق سه فاز تغذیه می گردد. اطلاعات زیر از روی پلاک الکتروموتور برداشت شده است :

MOTOR :

<i>V-Conn</i>	<i>Hz</i>	<i>Kw</i>	<i>r/min</i>	<i>A</i>	<i>Cos Φ</i>	<i>IP</i>
415-D	50	11	2935	19.4	0.88	55

PUMP :

<i>FLOW</i>	<i>HEAD</i>
40 m ³ /h	35.5 m

۲- سطح سنجهای مخازن سوخت : این سطح سنج ها جهت نشان دادن ارتفاع سطح مخازن استفاده می شود.



۳- فشارسنج خروجی : این گیج فشار خروجی پمپ های آنلودینگ را بر حسب *bar* نشان می دهد.



۴- صافی یا استرینر^۱ مسیر ورودی : قبل از اینکه سوخت وارد پمپ های آنلودینگ شود، باید اطمینان حاصل کرد که در هنگام ورود به پمپ ها عاری از ناخالصی باشد. به همین دلیل قبل از پمپ ها از استرینر یا صافی استفاده شده است.



۵- تابلو مدار فرمان راه اندازی پمپ های آنلودینگ : در کنار هر پمپ یک تابلو مدار فرمان شامل شستی های *stop* ، *start* ، *lamp test* ، *emergency stop* بصورت *mcc* یا *local* قرار داده شده است.



نکات مهم در موقع تخلیه سوخت :

- ۱- ماشین حمل سوخت خاموش باشد.
- ۲- سیم ارت به تانکر متصل شده باشد.
- ۳- قبل از تخلیه سوخت باید توجه داشت که شیلنگ های تخلیه بدرستی و محکم به تانکر متصل شده باشد تا از نشت سوخت مایع جلوگیری به عمل آید.

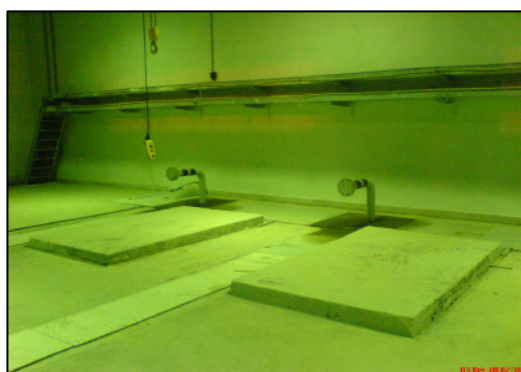


ایمنی :

جهت اطفاء حریق در محل تخلیه سوخت، دستگاههای خاموش کننده دستی پیش بینی شده که توسط پرسنل ایمنی بصورت دوره ای بازدید می گردد.

دستورالعمل بهره برداری از ایستگاه تزریق سوخت (forwarding) :

تعریف : تجهیزاتی که باعث رانش جسم یا ماده ای (در اینجا گازوئیل) می شود. به این منظور در نیروگاه گازی پتروشیمی مبین از الکتروپمپ هایی استفاده شده که باعث رانش سوخت مایع به سمت واحدهای گازی می شوند. الکتروپمپهای مذکور در ساختمان فورواردینگ قرار دارند و سوخت مایع را از مخازن مکش کرده، به سمت واحدها پمپاژ می کنند. جهت انتقال سوخت به هر واحد از دو الکتروپمپ استفاده شده که در مجموع دوازده عدد جهت شش واحد در نظر گرفته شده. همچنین جایگاه لازم برای الکتروپمپهای فورواردینگ طرح توسعه نیروگاه پتروشیمی مبین (واحدهای 7 & 8) پیش بینی شده.



در هنگام راه اندازی هر واحد با سوخت مایع یک الکتروپمپ در سرویس می باشد و الکتروپمپ دیگر در حالت آماده به کار (standby) باقی می ماند.

تجهیزات اصلی :

پمپ های فورواردینگ : این الکتروپمپها از نوع سانتریفیوژ می باشد که تغذیه آنها برق سه فاز و فشار خروجی آنها در حدود $6 \sim 10 \text{ bar}$ می باشد. اطلاعات زیر از روی پلاک الکتروموتور برداشت شده است :

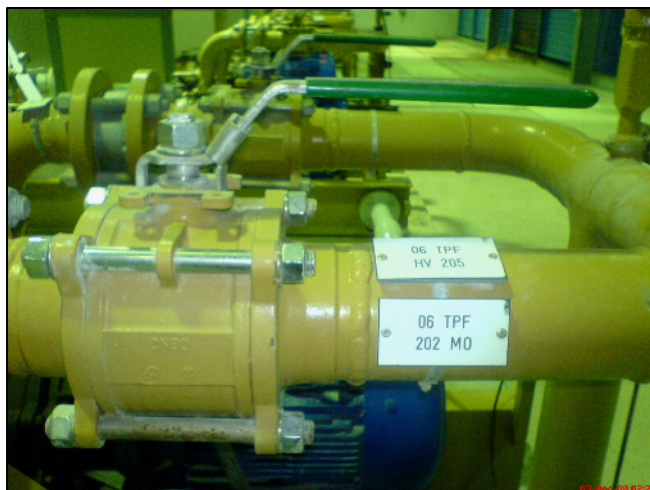
MOTOR :

V-Conn	Hz	Kw	r/min	A	Cos Φ
415-D	50	18.5	2940	33.2	0.85

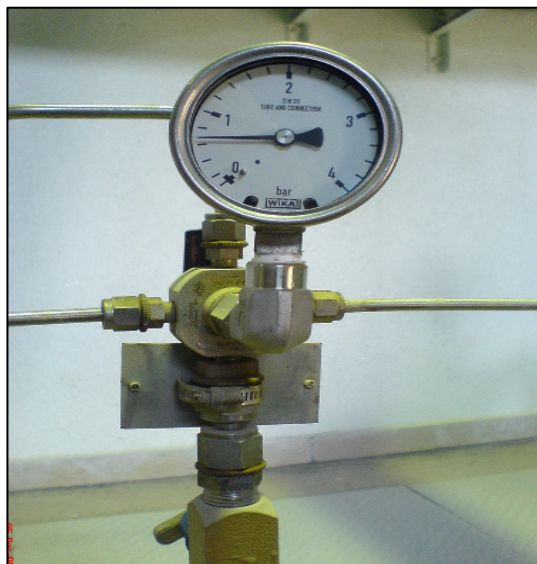
۱- صافی یا استرینر^۱ مسیر ورودی : قبل از اینکه سوخت وارد پمپ های آنلودینگ شود، باید اطمینان حاصل کرد که سوخت در هنگام ورود به پمپ ها عاری از ناخالصی باشد. به همین دلیل قبل از پمپ ها از استرینر یا صافی استفاده شده است.



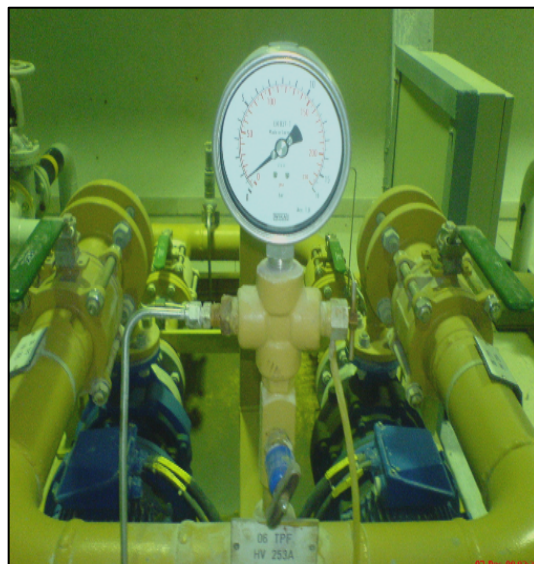
۲- بال ولوها^۲ : در ورودی و خروجی الکتروپمپها از بال ولو استفاده شده است تا در صورت نیاز برای تعمیرات و... بتوان بوسیله این ولوها مسیر سوخت مایع را بطور کامل ایزوله نمود.



فشارسنج های ورودی و خروجی : این گیجها فشار ورودی و خروجی پمپ های فورواردینگ را بر حسب bar نشان می دهد.



فشارسنج ورودی

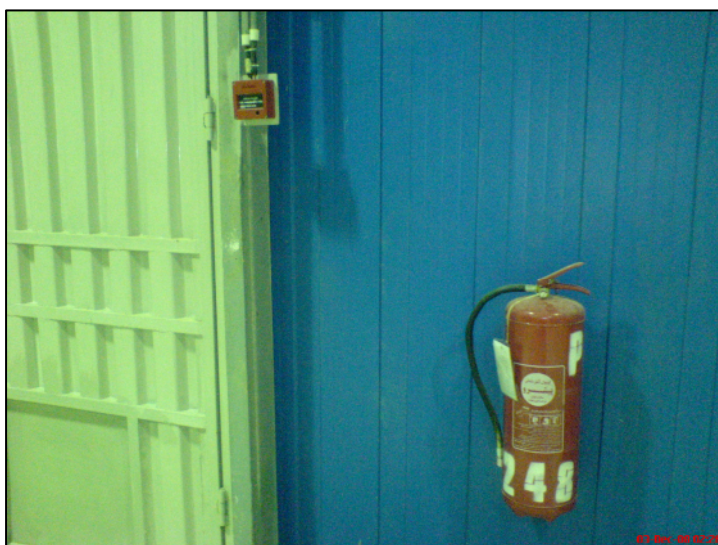


فشارسنج خروجی

پرشر سوئیچ : فشار خروجی الکتروپمپها بوسیله پرشر سوئیچ کنترل می شود که در صورت افت فشار در خروجی الکتروپمپ اصلی باعث *change* به الکتروپمپ *standby* می شود.



ایمنی : جهت اطفاء حریق احتمالی در ساختمان فورواردینگ از سنسورهای هشدار دهنده اعلام حریق، کپسول های آتش نشانی و *Manual call point* استفاده شده است. در صورت عدم عملکرد سنسورهای هشدار دهنده در مواقع آتش سوزی، پرسنل در محل می توانند با اعمال ضربه به تجهیز نصب شده، وقوع آتش سوزی را به سایرین اطلاع دهند.



منابع :

- ۱- سیستمهای کمکی توربین گاز تیپ *MS - 9001E*
شرکت تهران سمع اندیش - علی حق پرست
- ۲- مرکز اسناد پتروشیمی مبین
- ۳- تولید برق در نیروگاهها - دکتر رحمت الله هوشمند
- ۴- وب سایت شرکت توانیر : www.tavanir.org.ir