سیستم خنک کنندگی ژنراتور

مقدمه

قبل از این سیستم خنک کنندگی ژنراتور را بررسی کنیم ، چگونگی به وجود آمدن افت‌های در ژنراتور را مطالعه می‌کنیم .

افت کلی ژنراتور از سه افت جداگانه تشکیل می‌شود که عبارتند از : افت اصطکاک سیال ، افت مسی و افت آهنی .

الف) افت اصطکاک سیال خنک کننده :

این افت ، در اثر گردش سیال خنک کننده در داخل ژنرتور به وجود می‌آید و عامل آن ، اصطکاک سیال در هنگام جریان آن در میان سیم پیچ‌های استاتور و روتور در حال گردش است .

ب) افت مسی :

این افت ، ناشی از عبور جریان از سیم‌پیچ‌های روتور و استاتور است که از سیم پیچ‌های استاتور ، جریان متناوب ، و از سیم پیچ‌های روتور ، جریان dc عبور می‌کند .

ج) افت آهنی :

افت آهنی ، عبارت از افت در هسته آهنی ژنراتور ، به هنگامی است که تحت تأثیر میدان مغناطیسی متناوب قرار می‌گیرد . به طور تقریبی می‌توان گفت که در هر ژنراتوری ، افت اصطکاک سیال خنک کننده در حدود ۸ /۰ ٪ ، افت مسی در حدود ۴ /۰ ٪ ، و افت آهن در حدود ۰/۴٪ است .برای این که درجه حرارت ژنراتور از حد مجاز تجاوز نکند ، برای تمام ژنراتورهایی که در نیروگاه به کار گرفته می‌شوند ، سیستم خنک کنندگی اجباری در نظر گرفته می‌شود .

به همین جهت افت اصطکاک سیال خنک کننده در همه ژنراتورهای قدرت اجتناب ناپذیر است .

روش زدودن گرمای ایجاد شده در داخل سیم پیچی روتور و استاتور به دو روش تماس غیر مستقیم و مستقیم انجام می‌شود .

در روش خنک کنندگی تماس غیر مستقیم ، گاز (هوا یا هیدروژن) به کمک پره‌های نصب شده در دو طرف روتور به سمت داخل ژنراتور فرستاده می‌شود و از طریق فاصله هوایی بین روتور استاتور و کانال‌های ونتیلاسیون به حرکت در می‌آید .

در این روش خنک کنندگی ، گاز خنک کننده با سیم پیچی روتور و استاتور تماسی ندارد و گرمای گرفته شده توسط گاز از طریق سد یا مانع حرارتی ایزولاسیون سیم پیچی صورت می‌گیرد .

در روش خنک کنندگی مستقیم یا بدون واسطه ، عامل خنک کننده (گاز یا مایع) مستقیماً با فلز سیم پیچی ژنراتور (یعنی شمش مس) در تماس است تا گرما را از شمش بگیرد ؛ بدون آنکه تجهیزات عایق کاری یا دندانه‌های روتور در مسیر انتقال گرما نقشی داشته باشند .

– خنک کردن به وسیله هوا

با وجود این که بازده ژنراتورهایی که با آب خنک می‌شوند نسبتاً بالاست و افت آنها به حدود ۱/۵ ٪ می‌رسد ، ولی در ژنراتورهای بزرگ ، چون قدرت خروجی آنها زیاد است ؛ حتی این مقدار درصد کم افت انرژی نیز مقدار قابل ملاحظه‌ای از کل انرژی می‌باشد .

برای مثال برای یک ژنراتور MW ۶۰ و با بازده ۵/ ۹۸ ٪ افت قدرت به مقدار زیر است :

$$\text{افت قدرت} = \frac{(100-98/5*60*1000KW}{100} = 900KW$$

بدیهی است که این افت قدرت (که در حدود **KW ۹۰۰** است) به حرارت تبدیل می‌شود . در این صورت یک سیستم خنک کننده مؤثر برای نگهداشتن درجه حرارت ژنراتور در حد مناسب لازم است .

در ژنراتورهای قدیمی به وسیله گردش هوا در داخل ژنراتور ، عمل خنک کردن انجام می‌شد . برای این کار ، هوا از محیط اطراف گرفته یا کشیده می‌شد و پس از عبور از ژنراتور دوباره در محیط اطراف تخلیه می‌گردید . به این سیستم خنک کنندگی ، سیستم خنک کنندگی باز می‌گویند . با این که این سیستم از جهت خنک کردن ، کاملاً مؤثر و مفید و مفید بود ولی معایب زیادی از جمله موارد زیر داشت :

۱ ــ بررسی سیم پیچی‌ها مقدار زیادی گرد و خاک می‌نشست و در نتیجه ، سیم پیچ‌ها خیلی کثیف می‌شدند .

۲ ــ در هنگام کار ، سرو صدای زیادی تولید می‌شد .

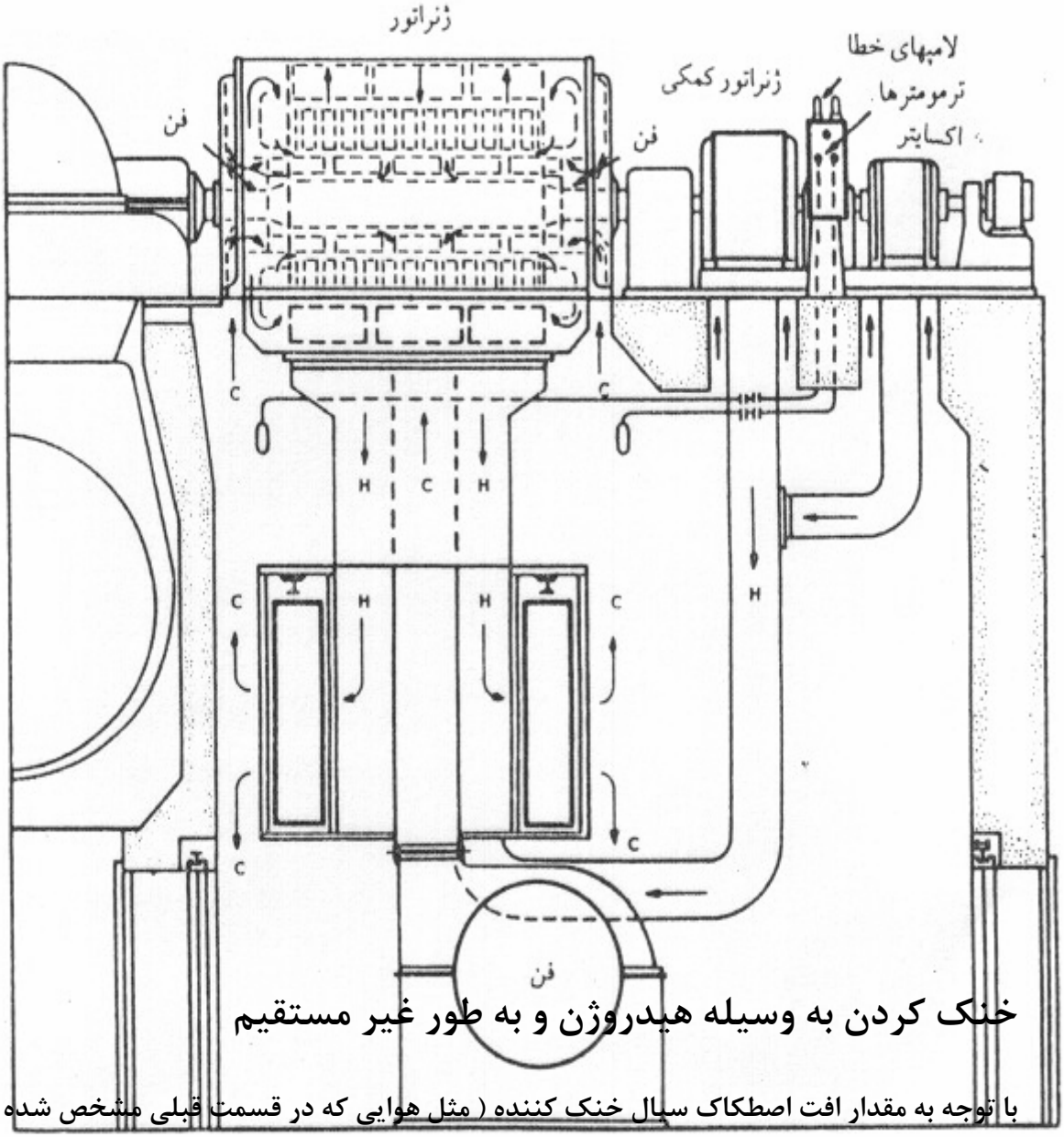
۳ ــ احتمال آتش سوزی زیاد بود ؛ چون هر گونه آتش سوزی در داخل ژنراتور به وسیله جریان مداوم هوای تازه تشدید می‌شد .

با قرار دادن فیلترهایی در محل ورود هوا ، از ورود گرد و خاک جلوگیری می‌شد ، ولی معایب قسمت ۲ و ۳ باقی می‌ماند . امروز با به کار بردن یک سیستم جدیدتری ، این عمل را انجام می‌دهند ؛ به طوری که همان مقدار هوای مورد لزوم در یک مدار بسته به طور پیوسته گردش می‌کند و ضمن خنک کردن ژنراتور خود نیز به وسیله خنک کننده‌هایی به طور مداوم خنک می‌گردد .

به این روش ، سیستم خنک کنندگی بسته می‌گویند . برای به جریان انداختن هوا از بادبزن‌هایی که به روتور چسبیده ، یا بادبزن‌هایی که به طور جداگانه از روتور یا با وسیله دیگری مچرخد ،

استفاده می‌شود . این سیستم خنک کنندگی از سیستم قبلی تمزیز است و خیلی آرامتر و بی‌سر و صداتر کار می‌کند و خطرات آتش سوزی هم در آن کمتر می‌شود . شکل زیر سیستم خنک کنندگی بسته با سیال هوا را برای یک ژنراتور و به منظور خنک نمودن روتور و استاتور آن نشانمی‌دهد . همچنین در شکل زیر مسیر عبور هوا در داخل ژنراتور با جرئیات بیشتری مشخص شده است .

مقدار هوای خنک کنندگی برای هر کیلو وات تلفات ، تقریباً حدود m^3/min ۱/۸۴ (ft^3/min ۶۵) می‌باشد . به عنوان مثال ، برای یک ژنراتور ۶۰ مگاواتی (ذکر شده در این قسمت که دارای تلفات در حدود kw ۹۰۰ بود) نیاز به هوای خنک کنندگی m^3/min ۱۶۵ (ft^3/min ۵۸۵۰۰) در دقیقه خواهد داشت تا دمای هسته و سیم پیچ‌های ژنراتور در محدوده مجاز خود باقی بماند . نمونه‌ای از این نوع سیستم خنک کنندگی بسته با سیال هوا را می‌توان در ژنراتورهای نیروگاه‌های چرخه ترکیبی قم و گیلان مشاهده نمود .



خنک کردن به وسیله هیدروژن و به طور غیر مستقیم

با توجه به مقدار افت اصطکاک سیال خنک کننده (مثل هوایی که در قسمت قبلی مشخص شده است) ، اگر این افت کمتر شود (افت فشار جریان سیال در داخل سوراخ‌های ژنراتور) بازده کلی ژنراتور به مقدار قابل ملاحظه‌ای اضافه می‌گردد.

برای این منظور از سیال سبکتری به نام هیدروژن (برای عمل خنک کردن) استفاده می‌شود . با مقایسه هوا و هیدورژن در می‌یابیم که در فشار اتمسفر ، چگالی هیدروژن تقریباً $\frac{1}{14} \approx \frac{2}{29}$

سیستم خنک‌کنندگی یک ژنراتور با سیال هوا

چگالی هوا است و در شرایطی که فشار هوا به مقدار ۰/۰۳۴ atm (یا ۰/ ۰۳۵ kg/cm^2) می‌باشد چگالی آن ، $\frac{1}{10}$ چگالی هوا است .

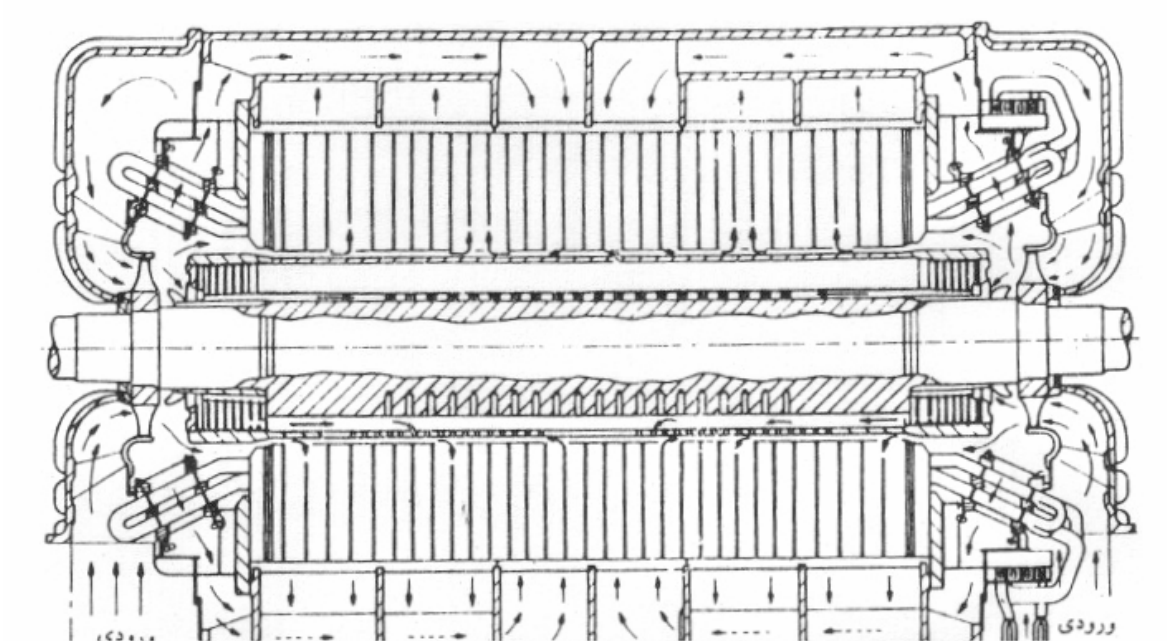
علاوه بر آن هیدورژن دارای ضریب هدایت گرمایی و ظرفیت حرارتی بالاتری است . با توجه به این که افت اصطکاک سیال خنک کننده ، متناسب با چگالی سیال خنک کننده است ، در نتیجه خواص خنک کنندگی هیدروژن شرایط ایده آلی را مهیا می‌کند .

با استفاده از هیدروژن در فشار ۰/۰۳۴ atm (یا ۰/ ۵ psi) و با توجه این که چگالی آن ، $\frac{1}{10}$ چگالی هوا می‌باشد در نتیجه افت اصطکام سیال به $\frac{1}{10}$ تقلیل می‌یابد . به عنوان مثال برای یک ژنراتور ۶۰ mw داریم .

افت در سیم پیچ‌ها با سیال خنک کننده هوا = $\frac{۶۰ \times ۰/۸ \times ۱۰۰۰ \quad kW}{۱۰۰} = ۴۸۰ \quad kW$

افت در سیم پیچ‌ها با سیال خنک کن هیدروژن = $\frac{۶۰ \times ۰/۰۸ \times ۱۰۰۰ \quad kW}{۱۰۰} = ۴۸ \quad kW$

مقدار قدرت صرفه جویی شده = ۴۸۰ – ۴۸ = ۴۳۲ kw



دین ترتیب ملاحظه می‌شود که مقداری از تلفات ، کاسته می‌شود . ضمناص استفاده از هیدروژن دارای مزایای دیگری به قرار زیر است:

۱ ــ چون قدرت خنک کنندگی هیدروژن نسبت به هوا زیاد است ، در نتیجه می‌توان ژنراتورهای سنگین‌تر و با قدرت بیشتری ساخت . همچنین با توجه به عدم نیاز به خنک کننده‌های خنک کنندگی ، فونداسیون کوچکتر می‌شود . لازم به ذکر است که قابلیت هدایت گرمایی هیدروژن تقریباً ۷ برابر هوا است .

۲ ــ چون در منافذ داخل ژنراتورها اکسیژن وجود ندارد (به علت پر بودن ژنراتور از گاز ازت یا گاز کربنیک) عمر قسمت‌های عایق کاری سیم پیچ‌ها اضافه می‌شود .همچنین به علت عدم وجود هوا در هنگام ایجاد قوس الکتریکی ، امکان به وجود آمدن اسیدنیتریک وجود ندارد . در نتیجه ، استفاده از هیدروژن ، ضریب اطمینان کار کرد ژنراتور را افزایش می‌دهد .

۳ ــ خطر آتش سوزی کاهش می‌یابد ، زیرا هیدروژن خالص غیر قابل انفجار است ؛ در نتیجه در ژنراتورهایی که توسط گاز هیدروژن خنک می‌شوند ، استفاده دستگاه اطفاء حریق الزامی نیست .

۴ ــ به علت استفاده از هیدروژن ، محفظه‌های ورود هیدورژن کاملاً آب بندی می‌شوند و امکان ورود گرد و خاک و رطوبت وجود ندارد . در نتیجه تعمیرات ژنراتور کم می‌شود .

۵ ــ وزن مخصوص هیدروژن در مقایسه با هوا بسیار کم است (حدود ۱۴ برابر سبکتر از هوا است) و این امر باعث می‌شود که تلفات ناشی از اصطکاک ژنراتور ، ۸ الی ۱۰ ٪ کاهش یابد و ضریب بهره ژنرانورهایی که با هیدروژن خنک می‌شوند ، سر و صدای ژنراتور نسبت به ژنراتورهای با سیال خنک کننده هوا کمتر می‌گردد .

هیدروژنی که توسط آن ، پوسته ژنراتور پر می‌شود ، در صورتی که به شکل مخلوط با هوا در آید (به نسبت ۱ به ۴ تا ۷۴ ٪) و در صورت وجود بخار روغن (به نسبت ۲ به ۳ تا ۸۱/۵ ٪) مخلوط قابل انفجاری ایجاد می‌شود .

بنابراین در ژنراتورهایی که توسط هیدروژن خنک می‌شوند ، باید بدنه آن از فولاد غیر قابل نفوذ ساخته شود و مسیر گاز خنک کننده در داخل ژنراتور کاملاً آب بندی شود . همچنین آب بندی شین‌های خروجی ژنراتور و آب بندی در پوش‌های سردکن گاز و آب بندی دریچه‌ها و قسمت‌های مجزا که به هم وصل می‌شود ، نیز باید کاملاً تأمین گردند .

اما مشکل اصلی در آب بندی ژنراتور ، محلی در بین محور روتور و محافظ‌های انتهایی استاتور می‌باشد .

برای این منظور ، از گلندهای آب بندی شونده به وسیله روغن استفاده می‌شود . این گلندها در هر طرف انتهای روتور واقع است . یک پمپ کوچک برای برقراری آب بندی در مواقعی که توربین کار نمی‌کند ، تدارک دیده می‌شود که روغن آن از سیستم روغن کاری توربین تأمین می‌گردد . به عنوان نمونه در نیروگاه شهید محمد منتظر قائم ، روتور و استاتور به وسیله هیدروژن خنک می‌شوند ، و هیدروژن هم توسط چهار خنک کننده آبی که در چهار گوشه استاتور قرار دارند ، خنک می‌شود . در طرف روتور نیز فن‌های سیرکولاسیون گاز هیدروژن نصب

شده است . همچنین برای آب بندی گاز هیدروژن در دو طرف ژنراتور از آب بندی به وسیله روغن استفاده می‌شود .

نخستین ژنراتورهای خنک شده به وسیله هیدروژن با فشار هیدروژن معادل atm ۳۴٪ (یا psi ۰/ ۵) کار می‌کردند ، ولی در ژنراتورهای جدیدتر این مقدار تا بالاتر از aim ۱ / ۴ (یا psi ۶۰) افزایش یافته است .

حرارت گاز هیدروژن به وسیله خنک کننده‌هایی که شامل یک دسته لوله می‌باشد ، جذب می‌شوند . در داخل این لوله‌ها ، آب جریان دارد که حرارت گاز را خارج می‌کند . این خنک کننده‌ها در بدنه استاتور (قاب ژنراتور) قرار دارند .

باید گفت ژنراتورهایی که به صورت غیر مستقیم با هیدروژن خنک می‌شوند ، در صورت لزوم می‌توانند توسط هوا خنک شوند ؛ ولی این نوع عملکرد به شرطی است که قدرت گرفته شده از ژنراتور به نسبت زیادی کاهش داده شود .

خنک کردن به روش مستقیم توسط هیدروژن

یکی از اشکالات سیستم خنک کننده غیر مستقیم ژنراتورها پایین بودن ضریب هدایت عایق های الکتریکی سیم پیچ های روتور و استاتور است .این عایق ها مانند یک عایق حرارتی عمل می کنند و در نتیجه. اختلاف درجه حرارتی بین سیم پیچ مسی و گاز خنک کننده به وجود می آید.

امروزه در ژنراتورهای جدید. هیدروژن با سیم پیچ های مسی تماس مستقیم دارد. بنابر این با به کار بردون این روش. خنک کنندگی ژنراتورها توسط هیدورژن. موثرتر از روش قبل است" زیرا در این طریق. هیدورژن می تواند گرما را مستقیماً از شمش سیم پیچی روتور یا استاتور دریافت کند.

در این سیستم. در داخل شمش مسی سیم پیچی های استاتور و روتور. لوله ای از فولاد غیر مغناطیسی قرار می گیرد تا هیدروژن در داخل این لوله به حرکت درآید.

گفتنی است که ژنراتورهایی را که مستقیماً توسط هیدورژن خنک می شوند. نمی توان به وسیله هوا خنک نمود" زیرا سیم پیچ های استاتور و روتور براساس خنک شدن اجباری محاسبه شده اند و در صورتی که به جای هیدروژن توسط هوا خنک شوند. درجه حرارت زیاد می شود که خود باعث صدمه به ژنراتور می گردد.

بنابراین به محض پیدا شدن نشتی زیاد هیدروژن از این ژنراتورها (که باعث کاهش زیاد فشار هیدروژن می گردد. باید بلافاصله ژنراتور را بی بار نمود تا از شبکه جدا گردد. وصل مجدد چنین ژنراتوری به شبکه فقط در صورت رفع نشتی امکان پذیر خواهد بود.

خنک کردن مستقیم ژنراتور توسط مایعات

در ژنراتورهای با قدرت بسیار بالا به منظور خنک کردن مستقیم ژنراتورهای توسط مایعات. از روغن یا آب مقطر استفاده می شود" زیرا گرما زدایی به هنگام استفاده از آب با روغن در مقایسه با هیدورژن خیلی زیاد است.

به عبارت دیگر. ضریب انتقال حرارت آب و روغن بیشتر از گاز هیدورژن می باشد. به عنوان نمونه در فشار ۲/۰۴ atm(۳۰psi) ضریب انتقال حرارت آب. تقریباً ۱۴ برابر ضریب انتقال حرارت گاز هیدورژن است.

در نتیجه با استفاده از روش خنک کنندگی مستقیم توسط مایعات. ژنراتورهایی با قدرت بیشتر و حجم کمتری می توان ساخت.

البته استفاده از آب مقطر به عنوان مایع خنک کننده در مقایسه با روغن بهتر است" زیرا اولاً خاصیت گرمازدایی آب. بیشتر از روغن است. در ثانی از نقطه نظر خطر آتش سوزی. آب دارای ایمنی بیشتری است.

بنابراین در بسیاری از ژنراتورهای پرقدرت(به خصوص ژنراتورهای پرقدرت ساخته شده توسط شوروی سابق از قدرت ۱۶۵ تا ۸۰۰ مگاوات) از آب مقطر برای خنک کنندگی سیم پیچ های روتور و استاتور استفاده می شود. البته خنک کنندگی مستقیم آب برای ژنراتورهای کاربردی در نیروگاه های آبی هم استفاده می شود.

همچنینی در تکنولوژی تولید ژنراتورها می توان از آب و هیدروژن برای خنک کنندگی استفاده نمود" به این صورت که سیم پیچ های روتور و استاتور توسط آب مقطر و فولاد مغناطیسی(مسیر عبور فوران مغناطیسی) توسط هیدورژن خنک شود.

البته در بعضی از ژنراتورها. آب خنک کننده فقط از شمش های استاتور عبور می کند و بقیه ژنراتورها. آب خنک می گردد. آب گرم خارج شده از ژنراتور توسط دستگاه سردکن(که از خارج ژنراتور می باشد) خنک می شود تا دوباره توسط پمپ به ژنراتور برگردانده شود.

همچنین گردش هیدروژن داخل ژنراتور.(به منظور خنک کردن مدار مغناطیسی ژنراتور) توسط پره های نصب شده بر روی محور روتور امکان پذیر خواهد بود.

البته برای هیدورژن هم یک سیستم خنک کنندگی مجزا در نظر گرفته می شود. نمونه ای از این نوع سیستم خنک کنندگی را می توان در واحدهای ۳۲۰ مگاواتی نیروگاه اسلام آباد و نیروگاه های تبریز. نکا و رامین مشاهده نمود.

در این نیروگاه ها برای خنک کردن شمش های استاتور ژنراتور از سیستم آب خنک کن مدار بسته با آب بدون یون استفاده می شود. در ژنراتورهای نیروگاه نکا. سیم پیچ های استاتور از نوع تسمه های توخالی ساخته شده اند که به وسیله عبور آب خالص و به دور از هر گونه یون. خنک می شوند.

همچنینی روتور ژنراتور هم به وسیله عبور گاز هیدروژن از میان شیارها و سطح روتور خنک می شود. فشار لازم برای به گردش درآوردن گاز هیدروژن گرم شده توسط دو پروانه که در دو انتهای روتور تعبیه شده. تامین می گردد .

گاز هیدروژن گرم شده در خارج از ژنراتور به وسیله چهار خنک کننده خنک می گردد تا دوباره در ژنراتور مورد استفاده قرار گیرد. البته خنک کننده های جداگانه ای برای خنک کردن آب عبوری از سیم پیچ های استاتور وجود دارد.

ضمناً برای جلوگیری از نشت هیدروژن به خارج از ژنراتور و همچنین ممانعت از اتلاف آن. از سیستم آب بندی روغنی استفاده می شود.

در واحدهای ۳۲۰ مگاواتی نیروگاه اسلام آباد(مشابه با نیروگاه نکا) و برای خنک کردن شمش های استاتور ژنراتور از سیستم آب خنک کردن مدار بسته استفاده می شود.

در این سیستم. آب گرم خارج شده از شمش های استاتور وارد یک تانک انبساط می شود که حداکثر درجه حرارت آب خروجی از استاتور ۸۵° c می باشد.

سپس توسط یک پمپ گریز از مرکز. آب ذخیره شده در تانک پس از عبور از خنک کننده. فیلتر و یک دیونیزر(که وظیفه کنترل قابلیت هدایت آب را بر عهده دارد) دوباره وارد سیم پیچ های استاتور می شود.

البته با توجه به اهمیت خنک کنندگی ژنراتور. تعداد پمپ. خنک کننده و فیلتر این سیستم. دو عدد می باشد که در حالت عادی . یکی از آنها در حال بهره برداری و دیگری به صورت ذخیره می باشند.

همچنین برای خنک کردن بقیه ژنراتور(به غیر از سیم پیچ های استاتور) از گاز هیدروژن استفاده می شود و جهت جلوگیری از نشت هیدروژن هم از آب بندی روغن استفاده می گردد.

برای خنک کردن گاز هیدروژن هم از سیستمی که شامل ۴ عدد خنک کننده است. استفاده می شود. در این خنک کننده ها. انتقال حرارت بین گاز گرم هیدروژن و آب خنک کن انجام می شود.آب ورودی به این خنک کننده با دمای ۳۳° c و دبی ۴۵۰ m^3/h و فشار ۳/۷۵ kg/cm^2 وظیفه خنک کردن گاز هیدروژن را بر عهده دارد.

روش پرکردن و خالی نمودن هیدروژن

مخلوط هیدروژن و هوا(در صورتی که درصد حجمی در حدود ۴ تا ۷۶٪ باشد) قابل انفجار است. از این رو سعی می شود تا از مخلوط شدن آنها جلوگیری شود.بدین منظور و پیش از ورود هیدروژن به ژنراتور. هوا را باید بیرون راند.

در حال حاضر و برای این منظور. از دی اکسید کربن(گاز co_2 که گاز بی اثری است و از آتش سوزی جلوگیری می کند) استفاده می شود. گاز کربنیک به صورت مایع نگهداری می شود و پیش از استفاده. با گذراندن آن از شیرها و لوله های حرارتی مناسب تبخیر. منبسط و گرم می شود.

دی اکسید کربن از هوا سنگین تر است و هنگامی که به محفظه ژنراتور وارد می شود با قسمت های پایینی ماشین تماس پیدا می کند تا بدین ترتیب. هوا را هر چه بیشتر از مجرای هیدروژن در بالای بدنه خارج کند و از آنجا به جو بفرستد . به این عمل. پاک سازی ژنراتور[11] از هوا می گویند.

معمولاً به منظور جلوگیری از مخلوط هیدروژن و هوا. مقدار co_2 لازم برای عمل پاک سازی. لااقل ۱/۵ برابر ظرفیت گازی ژنراتور در فشار و دمای استاندارد است.

با خارج شدن هوای درون ماشین . هیدروژن با فشار حداکثر ۱۰/۲ atm(معادل با ۱۵۰psi) به بالای بدنه فرستاده می شود که گاز co_2 . به نوبه خود از پایین و از طریق منافذ آن به جو خارج می گردد.

---

purging_ [11]

پرکردن ژنراتور از هیدروژن باید تا آنجا ادامه یابد که خلوص هیدروژن و فشار درون محفظه به مقادیر مورد نظر رسیده باشد. معمولاَ دو برابر ظرفیت هیدروژن ماشین در شرایط دما و فشار استاندارد برای حصول خلوص مورد نظر به میزان ۹۹ تا ۹۹/۵ درصد لازم است.

برای احتراز از اتلاف هیدروژن در اثر اختلاط آن با co_2 .معمولاَ پرکردن را هنگامی که ژنراتور ساکن است. انجام می دهند. به عنوان نمونه در نیروگاه های نکا. شهید محمد منتظر قائم و واحدهای ۳۲۰ مگاواتی نیروگاه اسلام آباد. فشار هیدروژن خنک کننده به ترتیب برابر cm^2 /۳kg .kg/cm^2(۳۰psi)۲/۰۷ و kg/cm^2 ۴/۰۳۳ می باشد که درجه خلوص هیدروژن آنها به ترتیب برابر ۹۹/۹۵^. ۹۸٪ و ۹۰٪ می باشد.

تخلیه هیدروژن از ژنراتور.عکس عمل پرکردن آن است. در تخلیه هیدروژن با دخول گاز کربنیک از پایین ژنراتور . از قسمت بالا دفع می شود . سپس گاز کربنیک توسط هوای خشک فشرده که در ورودی هیدروژن اعمال می شود . به بیرون رانده می شود . عمل پاک سازی و تخلیه هوا از ژنراتور را می توان با استفاده از هر گونه گاز انجام داد . به عنوان مثال . استفاده از گاز ازت را هم می توان به عنوان جانشین مناسب گاز کربنیک

به کار برد . البته به دلایل اقتصادی . گاز ازت به عنوان گاز آماده به کار در شرایط اضطراری به کار می رود . اما دارای مزیت پاک سازی سریع و عدم انجماد است .

عمل پاک سازی را می توان توسط ایجاد خلا نیز انجام داد . در این حالت . اعمال . ساده تر و سریعتر از گاز کربنیک انجام می شود و استفاده از خلا . نسبت به استفاده از هیدروژن اقتصادی تر است.

هوا یا هیدروژن توسط یک پمپ خلا' آنقدر از ژنراتور گرفته می شود که فشار آن به میزان ۰/۹۳۵atm(معادل با ۲۸ اینچ جیوه) برسد.

سپس پمپ خلا' خاموش می شود و بسته به مورد . هوا یا هیدروژن به ژنراتور وارد می شود.فشار پایین بدنه . خطر تشکیل مخلوط منفجره را می کاهد" لیکن اگر این حالت در خلا' شدید دست دهد. انفجاری با فشار پایین رخ خواهد داد که بی ضرر است.

با استفاده از پاک سازی به وسیله خلا'. پرکردن ژنراتور از هیدروژن ساده تر از پرکردن با گاز کربنیک است. زیرا هنگام ورود هیدروژن. امکان اختلاط گازها(همان گونه که در مورد گاز کربنیک به وجود می آید) فراهم نمی شود.

آب بندی هیدروژن ژنراتور

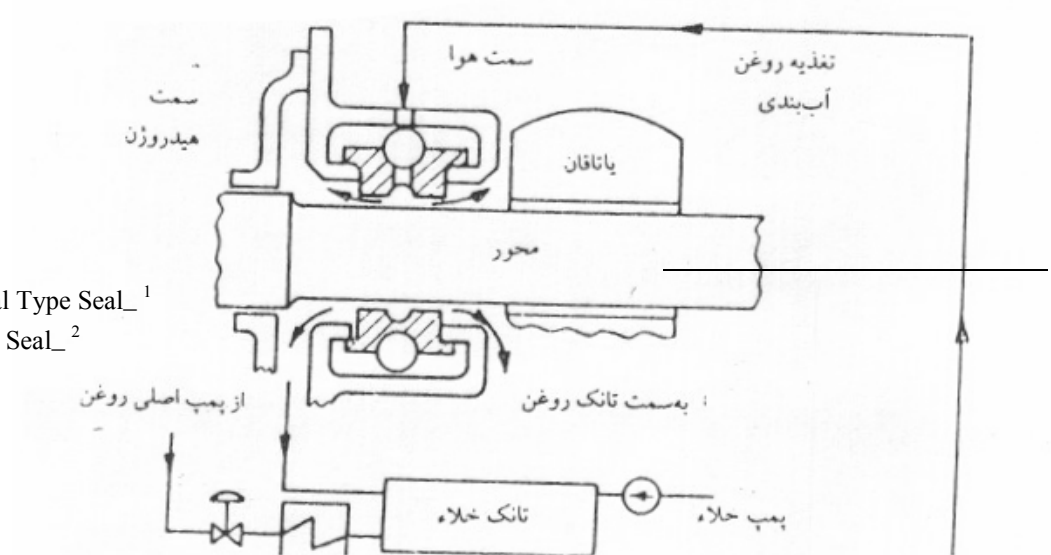
با توجه به این که در اکثر ژنراتورهای با قدرت بالا از گاز هیدروژن به عنوان سیال خنک کننده استفاده می شود. لذا ضروری است تا به منظور جلوگیری از خروج این گاز از محفظه اصلی ژنراتور و ترکیب با هوای خارج ژنراتور. آب بندی گاز هیدروژن صورت گیرد.

آب بندی هیدروژن ژنراتور به دو صورت آب بندی شعاعی[1] و آب بندی محوری[2] انجام می گردد. در اولین ژنراتورهایی که به هیدروژن خنک می شدند. از آب بندی شعاعی استفاده می شد و هم اکنون از سیستم آب بندی محوری استفاده می شود.

در روش آب بندی شعاعی که در شکل (۸_۷) نشان داده شده است. روغن با فشار زیاد به طور شعاعی وارد سیستم آب بندی می شود. تامین فشار زیاد این روغن به وسیله پمپ مخصوصی انجام می شود.

مطابق با شکل با تقسیم روغن در دو جهت مخالف. کل محفظه موجود در اطراف محور را روغن با فشار زیاد پرمی کنند.با توجه به این که فشار روغن از فشار گاز هیدروژن بیشتر می باشد. امکان خروج این گاز به خارج از ژنراتور وجود ندارد.

البته برای جلوگیری از نفوذ روغن با فشار زیاد به داخل پوسته ژنراتور (که دارای منافذ حاوی هیدروژن است) از تعدادی رینگ روغنی استفاده می شود.



Radial Type Seal_ [1]
Axial Seal_ [2]

سپس روغن عبوری از سیستم آب بندی وارد یک تانک خلا' می شود تا در این تانک. گازهای هیدروژن نفوذی در روغن . جدا شوند. روغن تصفیه شده از گاز هیدروژن. دوباره به سیستم آب بندی وارد می شود.

همچنین از پمپ اصلی روغن توربین به عنوان پشتیبان کننده روغن آب بندی هیدروژن ژنراتور استفاده می گردد تا در صورت اشکال در پمپ روغن این سیستم. بتوان روغن مورد نیاز را از طریق پمپ اصلی روغن توربین تامین نمود.

با توجه به این که در ژنراتورهای کنونی از گاز هیدروژن با فشار زیاد(با فشار بیش از spi۴۵) استفاده می شود. مناسب است تا از آب بندی محوری استفاده شود.

در این روش. با استفاده از سه دسته رینگ آب بندی که در هر طرف محور ژنراتور وجود دارند. دو محفظه جداگانه بین این سه دسته رینگ ایجاد می شود. در هر محفظه. روغن با فشار زیاد(فشاری بالاتر از فشار هیدروژن) برقرار می گردد.

تنها تفاوتی که بین این دو محفظه وجود دارد. آن است که محفظه بیرونی. دارای جریان روغن به صورت محوری است" ولی در محفظه داخلی(محفظه مجاور فضای حاوی هیدروژن) جریان روغن به صورت شعاعی است.

به عبارت دیگر. روغن از وسط محفظه داخلی وارد می شود و سپس به طور شعاعی به دو طرف محفظه داخلی در دو طرف محور ژنراتور وجود دارد که باید روغن مذکور وارد تانک جداکننده شود تا هیدروژن موجود در روغن. جداش ده و سپس تانک اصلی مخزن روغن شود.

در نهایت. روغن به محفظه های داخلی و بیرونی هدایت می شوند.مزیت اصلی این روش آن است که میزان روغن به کار رفته برای آب بندی. بسیار کم می باشد. همچنین به خاطر کم بودن جریان شعاعی روغن و کم بودن میزان هیدروژن نفوذی به روغن. نیازی به تجهیزات ایجاد خلا٬ در تانک ذخیره نمی باشد.

محافظت و کنترل ایزولاسیون ژنراتورها با خنک شوندگی مستقیم با أب

اختلال در ایزولاسیون سیم پیچی های استاتور به علل مختلف حرارتی _ مکانیکی و الکتریکی. همچنین تحت تاثیر عوامل محیطی مشاهده می شود.

اضافه ولتاژهای تخلیه جوی که از طریق خطوط انتقال وارد نیروگاه می شوند.همچنین اضافه ولتاژهای موقت از عوامل الکتریکی بروز عیب محسوب می شوند. علت عمده دیگر عیب در

ایزولاسیون اضافه ولتاژهای موجی ناشی از بروز Restrik می باشند که در پی بروز عیب فاز _ زمین به طور متولی در هر لحظه صفر در ولتاژ استاتور ظاهر می شوند.

حداکثر دامنه ولتاژهای ناشی از بروز Restrik طبق آنچه که دیده شده به حدود $۳/۵_{p.u}$ بالغ می گردد.

برای ژنراتورها که به هوا خنک می شوند تاثیر عوامل محیطی موجب فرسودگی و کاهش عمر و دوام ایزولاسیون می گردد. مهمترین عامل محیطی درجه حرارت می باشد که تغییرات شیمیایی در ایزولاسیون را موجب گشته. عمر آن را تقلیل می دهد.

بر طبق مطالعات صورت گرفته هنگامی که درجه حرارت ماده ایزوله تا حدود $^{\circ}c$ ۱۰ کاهش یابد. عمر ایزولاسیون به دو برابر فزونی می یابد.به همین علت ایزولاسیون ژنراتورها که به طور مستقیم با آب خنک می شوند. تحت تاثیر افزایش درجه حرارت محیط واقع نبوده تحت درجه حرارت. نسبتاً ثابت واقع می باشد. در این نوع ژنراتورها عمر و دوام ایزولاسیون بیش از ایزولاسیون ژنراتورها خنک شونده با هوا می باشد.

به عبارت دیگر به علت درجه حرارت ثابت ماده ایزوله ناشی از آب خنک کننده. ایزولاسیون تحت تاثیر شرایط محیطی واقع نمی باشد.

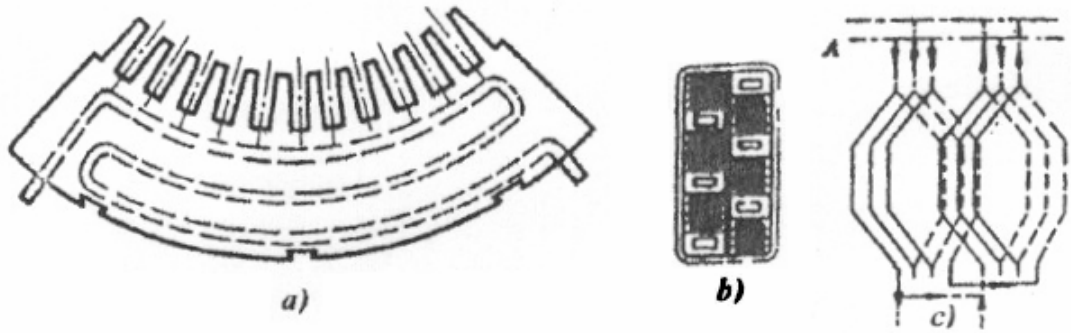
ایزولاسیون سیم پیچی های استاتور در ژنراتاورهای بزرگ به طور دائم در طی بهره برداری کنترل می شود. هنگامی که مقاومت ایزولاسیون تا حدودد Ωk ۱۰-۲۰۰ کاهش یابد. لازم است آلارم مربوطه ارسال شود.

کنترل ایزولاسیون به طور مداوم در ژنراتورها خنک شونده با آب (به طور مستقیم) با مشکلاتی همراه می باشد. در این ژنراتورها کانال های آب در فاصله ایزولاسیون سیم پیچی های استاتور طبق شکل ۴۲_۳ واقع بوده. بخشی از فاصله ایزولاسیون سیم پیچی ها را کانال آب تشکیل می دهد.

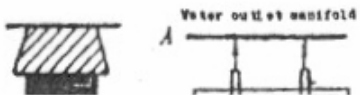
در حالی که آب در مدار بسته گردش نموده. با بدنه فلزی و زمین شده دستگاه تبادل حرارتی یا Heat Exchange در تماس می باشد. در شکل ۴۳_۳ کانال های آب خنک کننده واقع در سیم پیچی جریان مستقیم رتور دیده می شود.

با توجه به اینکه بخشی از فاصله ایزولاسیون سیم پیچی ها را آب تشکیل داده. به عنوان ماده ایزوله به کار می رود لازم است مقاومت اهمی در حدود مقاومت اهمی ایزولاسیون سیم پیچی ها را دارا باشد. مقاومت ایزولاسیون سیم پیچی های استاتور برابر یا بیش از مقدار ارائه شده طبق رابطه زیر می باشد.

$$p_H = \frac{U_H}{1000 + 0/01 p_H}$$



شکل ۴۲-۳ : مسیر کانال‌های آب در سیم‌پیچی استاتور خنک شوندهٔ مستقیم با آب
a ـ لوله‌های آب کلاف در سیم‌پیچی‌ها، b ـ مقطع سیم‌پیچی با لوله‌های آب، c ـ کانال‌های توزیع آب

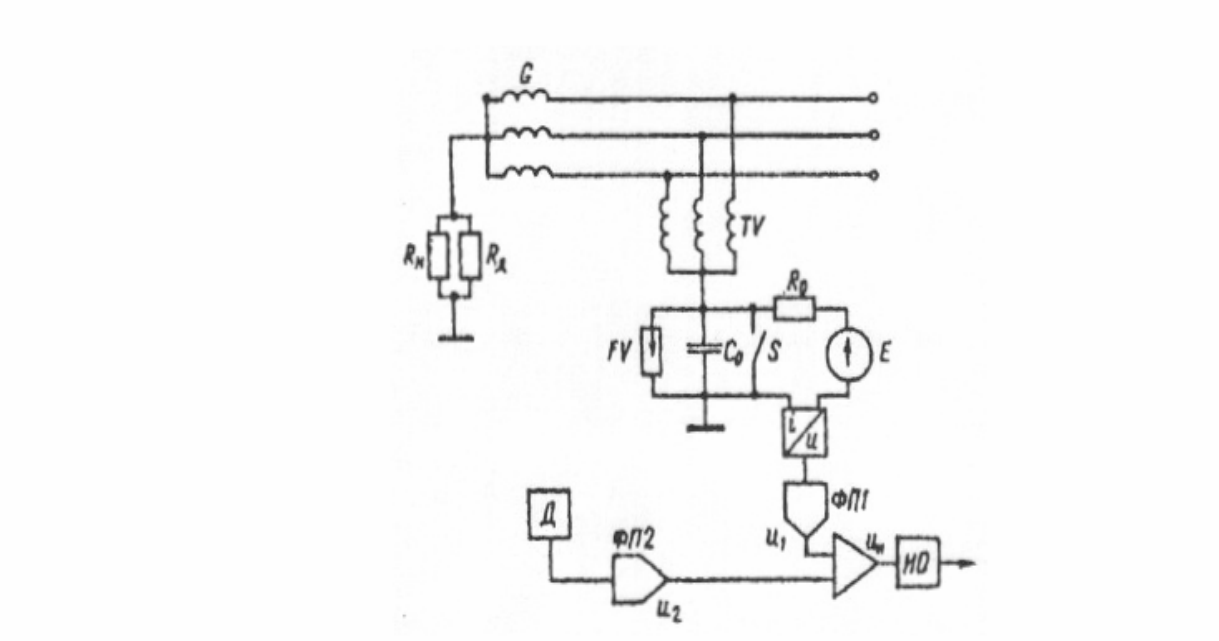


u_H و P_H به ترتیب ولتاژ و قدرت اسمی ژنراتور را تشکیل می دهند. به عنوان مثال برای ژنراتور MNA ۳۲۰ مقاومت ایزولاسیون سیم پیچی های استاتور لازم است حدود $5\,M\Omega$ را دارا باشد. در حالی که برای آب خنک کننده این مقاومت در حدود $۱۵_۶۰۰\,K\Omega$ می باشد.

بنابراین در شرایط عادی بهره برداری مقاومت فاز _ زمین سیم پیچی های استاتور در حدود مقاومت آب خنک کننده می باشد. آب مورد استفاده. آب مقطر بوده در مدار بسته شامل کانال ها. پمپ دستگاه تبادل حرارتی (Heat Exchange) گردش می نماید. چنان که دیده شده آب به کار برده شده گذشته از نقش خنک کنندگی به عنوان ماده ایزوله نیز محسوب می شود. با توجه به قرار گرفتن آب در فاصله ایزولاسیون. ایزولاسیون سیم پیچی استاتور با بدنه از طریق دو مقاومت جداگانه موازی با هم نشان داده می شود. مقاومت ایزولاسیون مدل سیم پیچی ها با بدنه یا R_I و مقاومت آب خنک کننده واقع بین هادی های تحت ولتاژ و بدنه که با R_d نشان داده می شود.

(شکل ۴۴-۳).

چنان که دیده می شود کیفیت آب مقطر و هدایت الکتریکی آن در تامین ایزولاسیون سیم پیچی های استاتور موثر بوده. لازم است به طور منظم و مرتب کنترل شود آن چنان که از حدود مشخص کمتر نشود



کنترل ایزولاسیون سیم‌پیچی‌های استاتور با استفاده از اعمال ولتاژ مستقیم به سیم‌پیچی‌ها و مدار دستگاه کنترل

مقاومت $\mathbf{R_0}$ به منظور محدود ساختن جریان برقرار شده به کار می رود. جریان مستقیم برقرار شده از مدار استاتور به زمین اندازه گیری می شود که در مدار اندازه گیری تبدیل کننده جریان مستقیم $\mathbf{I}$ به $\mathbf{u}$ پیش بینی شده است . المان ϕp_2 هدایت الکتریکی آب مقطر را اندازه گیری و به مدار مقایسه $\mathbf{u_n}$ ارائه می نماید. جریان مستقیم برقرار شده در مدار بسته بین بدنه و سیم پیچی های استاتور. عبارت است از:

$$I = \frac{E(R_H + R_A)}{R_H R_A + (R_H + R_A)R_O}$$

رابطه فوق به شکل زیر نوشته می شود:

$$\frac{1}{R_H} = \frac{1}{\frac{E}{I} - R_O} - \frac{1}{R_A}$$

ولتاژ u_1 متناسب با جمله اول سمت راست راطبه فوق توسط مدار $\phi p1$ تهیه می شود.

$$U_1(t) = \frac{1}{\frac{E}{I} - R_O} M$$

M ضریب تناسب می باشد.

ولتاژ u_2 متناسب با جمله دوم سمت راست طبق رابطه زیر تهیه می شود.

$$U_2(\rho) = \frac{M}{R_A} - \frac{S_T m_T}{\rho L_T} M$$

برای این منظور از دستگاه اندازه گیری هدایت الکتریکی آب مقطر استفاده می شود. مقدار اندازه گیری شده متناسب با هدایت طولی مخصوص آب p و طول کانال هدایت آب و مقطع آن می باشد.

در این رابطه S_T و L_T به ترتیب مقطع و طول کانال هدایت أب می باشند. M_T تعداد لوله های واقع در داخل استاتور.

با استفاده از بلوک U_A ولتاژ $U_A=U_1-U_2$ تعیین می شود. که متناسب با مقاومت ایزولاسیون سیم پیچی استاتور بوده به منظور کنترل ایزولاسیون سیم پیچی استاتور به کار می رود.

تهیه مدار فوق عیلرغم روش ساده اندازه گیری مقاومت تا حدودی پیچیده می باشد. مشخصات تجهزیات مدار از جمله ولتاژ اعمال شده. حدود ولتاژ اندازه گیری شده به نوع و ساختمان ژنراتور. مشخصات ترانسفورماتور ولتاژ و دقت اندازه گیری هدایت الکتریکی آب بستگی دارد.

در حالی که هدایت الکتریکی مخصوص آب به درجه حرارت أن بستگی داشته . به ازا, تغییر هر یک درجه حرارت آب. میزان هدایت الکتریکی تا حدود ۵-۴٪ افزایش و یا کاهش می یابد.

به همین علت محل مناسب نصب دستگاه اندازه گیری هدایت طولی أب یا Conductometere حائز اهمیت می باشد.

محل مناسب نصب آن. در خروجی آب مقطر از مبدل حرارتی(HE) می باشد که درجه حرارت آن تسبتاً ثابت می باشد.

در حالی که درجه حرارت أب مقطر خارج شده از ژنراتور در حدود ۸۵° -۴۵. برحسب میزان بار ژنراتور. حرارت تولید شده در سیم پیچی ها. متفاوت می باشد. به همین علت حتی با فرض مقدار متوسط حرارت جذب شده توسط أب خطای اندازه گیری هدایت آب به حدود ۵۰٪ بالغ می گردد.

مدار کاملتر محافظت أن چنان که تاثیر کمیاب مورد اشاره در اندازه گیری به عمل أمده به حداقل کاهش یافته. موجبات ایجاد خطا در اندازه گیری را فراهم نسازد در شکل ۴۵-۳ نشان داده شده است. جریان برقرار شده در این مدار به شرح زیر می باشد:

$$I = \frac{E}{\frac{1}{Y_b} + \frac{1}{Y_H + Y_A}}$$

Y_b - هدایت الکتریکی سیم پیچی های ترانسفورماتور ولتاژ و مقاومت محدود کننده R_0

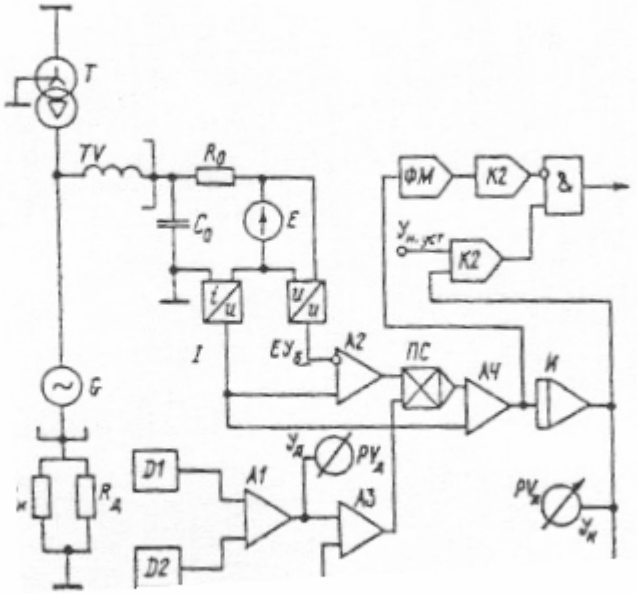
Y_H - هدایت الکتریکی ایزولاسیون استاتور

Y_A ـ هدایت الکتریکی أب مقطر

رابطه فوق به شرح زیر نوشته می شود:

$$(Y_A - Y_H)(I - E_b) + Y_b I = dY_H / dt = 0$$

مدار شکل زیرطبق رابطه فوق آماده گردیده است که خطای مربوطه در أن تا حدودی کاهش یافته است.



مدار اصلاح شده به منظور اندازه‌گیری و کنترل مقاومت اهمی ایزولاسیون سیم‌پیچی رتور با دقت بالا