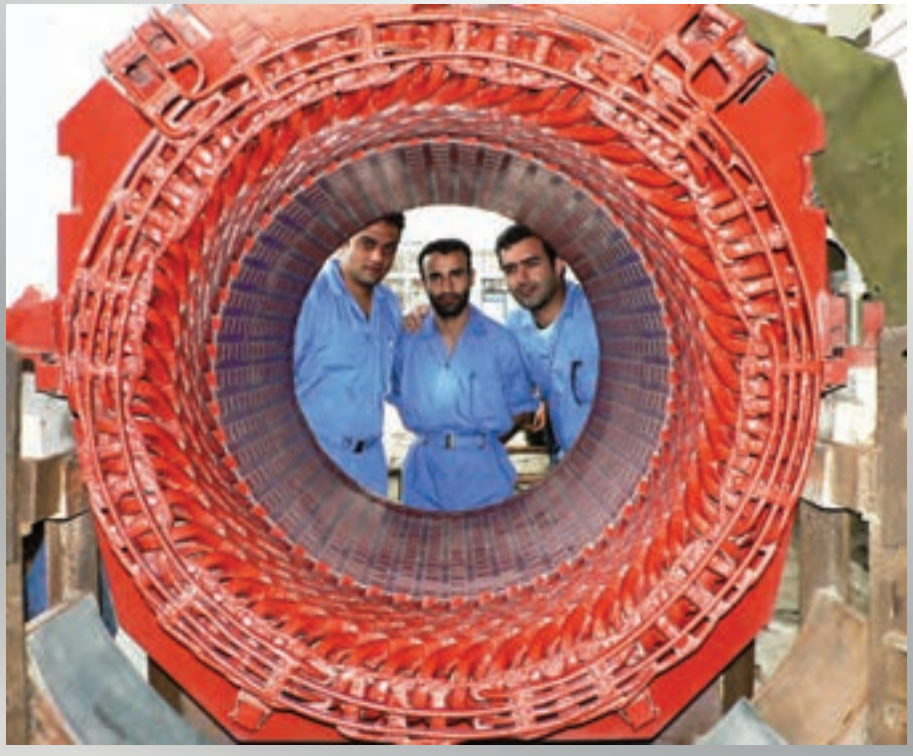
۴
ماشین‌های سنکرون



۴

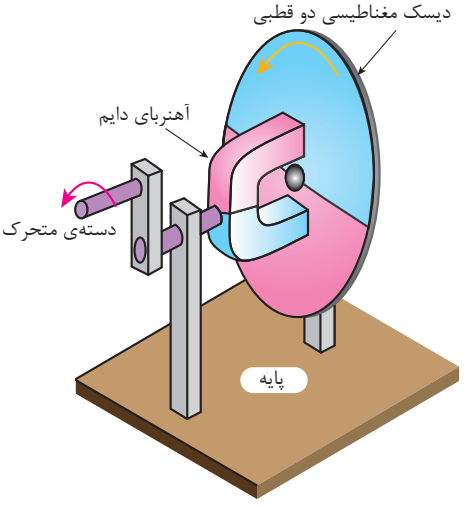
هدف‌های رفتاری :

ـ انواع ماشین‌های سنکرون را نام ببرد.
ـ ساختمان ظاهری و داخلی ماشین سنکرون را از روی شکل توضیح دهد.
ـ اساس کار موتورهای سنکرون را توضیح دهد.
ـ لغزش در موتورهای سنکرون را توضیح دهد.
ـ حالت‌های کاری موتور سنکرون را تعریف کند.
ـ حالت‌های کاری موتور سنکرون را با تغییر بار و جریان تحریک شرح دهد.
ـ منحنی مشخصه V را رسم کند.
ـ منحنی مشخصه V را تشریح کند.
ـ کاربرد موتورهای سنکرون را بیان کند.
ـ ساختمان داخلی مولدهای سنکرون را توضیح دهد.
ـ اساس کار مولدهای سنکرون را توضیح دهد.
ـ نحوه تنظیم ولتاژ را در مولدهای سنکرون توضیح دهد.
ـ انواع تلفات در مولدهای سنکرون را تعریف کند.
ـ دیاگرام توازن قدرت در مولدهای سنکرون را رسم کند.
ـ روابط توان، تلفات و بازده را توضیح دهد.
ـ مثال مربوط به توان و بازده را تشریح کند.
ـ تمرین مربوط به توان و بازده را تشریح کند.
ـ انواع مولدهای سنکرون را نام ببرد.
ـ زمینه‌های کاربردی مولدهای سنکرون را بیان کند.
ـ انواع نیروگاه‌ها را نام ببرد.
ـ تمرین‌های پایان فصل را حل کند.

مقدمه

ماشین سنکرون[1] ماشینی است که سرعت رتور با سرعت میدان دوار آن برابر است. ماشین سنکرون به عنوان ژنراتور سنکرون به منظور تولید انرژی الکتریکی و یا موتور سنکرون قابل استفاده می‌باشد. در ادامه با ویژگیها و ساختمان این ماشین سنکرون آشنا می شوید.

شکل (۱) برابری سرعت گردش رتور و سرعت میدان دوار را در ماشین‌های سنکرون به سادگی نمایش داده است. شما می‌توانید با تهیه وسایل نشان داده شده، این آزمایش را به انجام برسانید. مطابق شکل(۱) با چرخاندن دسته متحرک، آهنربای دائم متصل به آن می چرخد و با توجه به جذب قطب‌های غیر هم نام دیسک مغناطیسی، در نتیجه دیسک مغناطیسی نیز با سرعت دسته متحرک به چرخش در می‌آید.



شکل ۱ــ یک وسیلهٔ ساده برای فهم بهتر عملکرد ماشین سنکرون

این همان برابری سرعت میدان دوار n_s و سرعت گردش رتور n_r می‌باشد. علت استفاده از واژه سنکرون، نیز همان برابری سرعت گردش رتور و سرعت میدان دوار در تمام حالات کاری این ماشین می‌باشد یعنی :

$$n_s = n_r$$

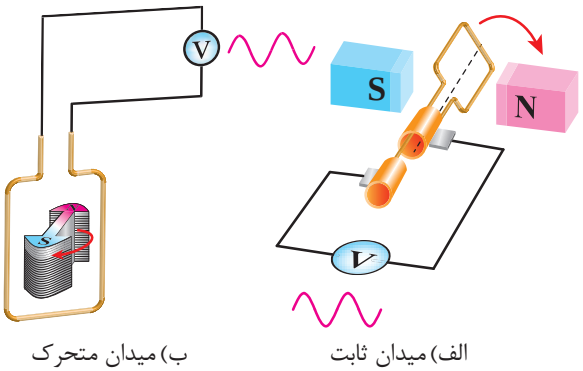
در ماشین‌های سنکرون سرعت رتور برابر سرعت میدان دوار است.

پس سرعت لغزش در این ماشین طبق رابطهٔ زیر همواره صفرخواهد بود.

$$\Delta n = n_s - n_r \qquad (۴ــ۱)$$

۱ــ۴ــ اصول کار ژنراتورهای سنکرون

اگر یک حلقه هادی در داخل میدان مغناطیسی مطابق شکل (۲ــ الف) حرکت کند حلقه خطوط شار مغناطیسی را قطع می‌کند در این صورت در حلقهٔ هادی طبق قانون فارادی نیروی محرکه القا می‌شود[2].



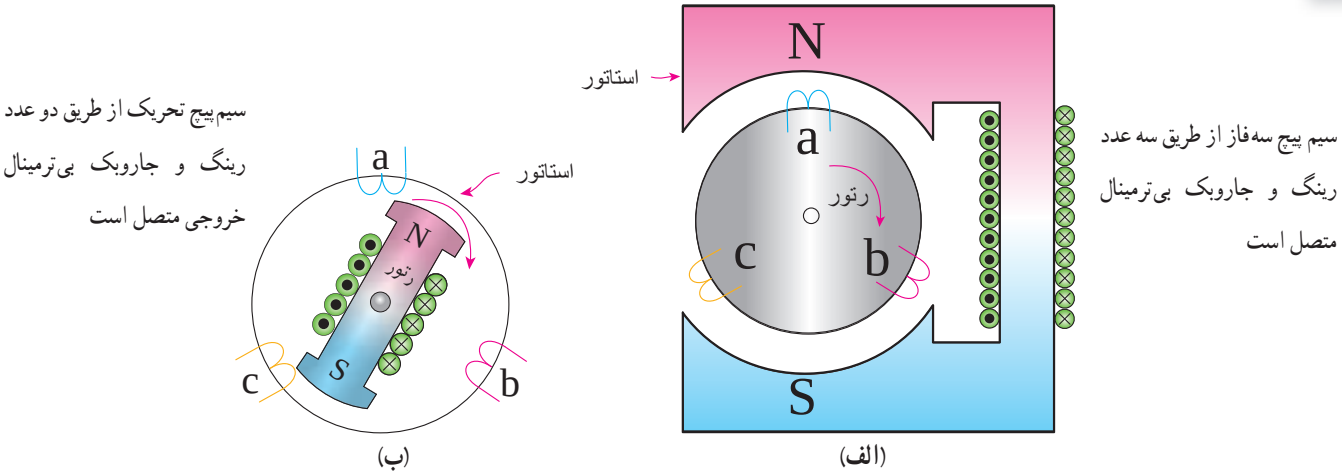
شکل۲ــ نحوهٔ القای ولتاژ در یک حلقه هادی

۱ــ سنکرون = هم‌زمانی

۲ــ به کتاب ماشین‌های الکتریکی DC رجوع کنید.

۴

حالا اگر مطابق شکل (۲ــ ب)، حلقه هادی را ساکن نگه داشته و میدان مغناطیسی درون آن به گردش در آورده شود، این بار خطوط شار مغناطیسی حلقه را قطع کرده و در آن نیروی محرکه القا خواهد شد.



مهم : در تمام ژنراتورها اتصال سیم‌پیچ‌های سه فاز به صورت ستاره می‌باشد.

شکل ۳ــ روش‌های تولید انرژی الکتریکی در ژنراتورهای سنکرون سه فاز

میدان مغناطیسی شکل (۲ــ الف) میدان مغناطیسی ساکن نامیده می‌شود. میدان مغناطیسی شکل (۲ــ ب) را میدان مغناطیسی دوار می‌نامند. چرا که میدان مغناطیسی در داخل ماشین حول یک محور گردش می‌کند.

ژنراتور سنکرون سه فاز به دو روش انرژی الکتریکی تولید می‌کند :

به کمک میدان مغناطیسی ساکن : در این حالت میدان مغناطیسی ساکن به‌وسیلهٔ سیم پیچ تحریک درون استاتور به‌وجود می آید و سه سیم پیچ مشابه با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰° روی رتور قرار داده می‌شود و در داخل میدان مغناطیسی ساکن استاتور چرخانده می‌شود (مطابق شکل (۳ــ الف)) .

به کمک میدان مغناطیسی دوار : در این حالت میدان مغناطیسی به‌وسیلهٔ سیم‌پیچ تحریک برروی رتور به‌وجود می‌آید و با چرخش رتور میدان مغناطیسی دوار فراهم می‌شود و سیم‌پیچ مشابه درون استاتور با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰° قرار داده می‌شود (مطابق شکل (۳ــ ب)).

در ماشین‌های سنکرون سیم‌پیچ تولیدکنندهٔ میدان مغناطیسی را سیم‌پیچ تحریک و جریان عبوری از آن را جریان تحریک می‌گویند.

البته القاگر بودن رتور (چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور) و دریافت انرژی الکتریکی از سیم پیچ‌های استاتور مزیت بیشتری نسبت به حالت عکس آن دارد زیرا :

الف) جریان تحریک خیلی کمتر از جریان آرمیچر می‌باشد و در نتیجه ارتباط آن از طریق حلقه های لغزان و جاروبک آسانتر و بی درد سرتر است.

ب) عایق‌بندی سیم‌پیچ‌های رتور به علت داشتن ولتاژ پایین (زیر ۱۰۰۰ ولت) بسیار آسان و ساده است.

ج) دریافت ولتاژ و جریان بالای سه فاز، از ترمینال‌های ثابت استاتور به سادگی امکان پذیر است.

د) از آنجا که قدرت ژنراتورهای نیروگاهی غالباً زیاد

است، حجم سیم بندی القاشونده و در نتیجه وزن آن به مراتب بیشتر ازسیم پیچ تحریک بوده و لذا پیاده سازی آن بر روی رتور (که دائماً متحرک می‌باشد)، مشکل عدم توازن وزن مکانیکی را در پی خواهد داشت.

هر چند دلایل فوق استفاده از چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور را در تمامی موارد توجیه می‌کند، اما گاهی در ژنراتورهای با قدرت کم از میدان مغناطیسی ساکن در استاتور و تولید ولتاژ سه فاز توسط سیم پیچ‌های رتور استفاده می‌شود.

در ادامه، ژنراتورهای سنکرونی بررسی خواهند شد که اصول عملکردشان همان چرخش میدان مغناطیسی است.

خود را بیازمایید

۱ــ لغزش ماشین سنکرون هنگام کار چقدر است ؟چرا؟

۲ــ القاگر بودن رتور در ماشین‌های سنکرون چه مزیت‌هایی دارد؟

۳ــ معمولاً ولتاژ تحریک ژنراتورهای سنکرون کمتر از .....ولت است.

۲ــ۴ــ ساختمان ژنراتورهای سنکرون

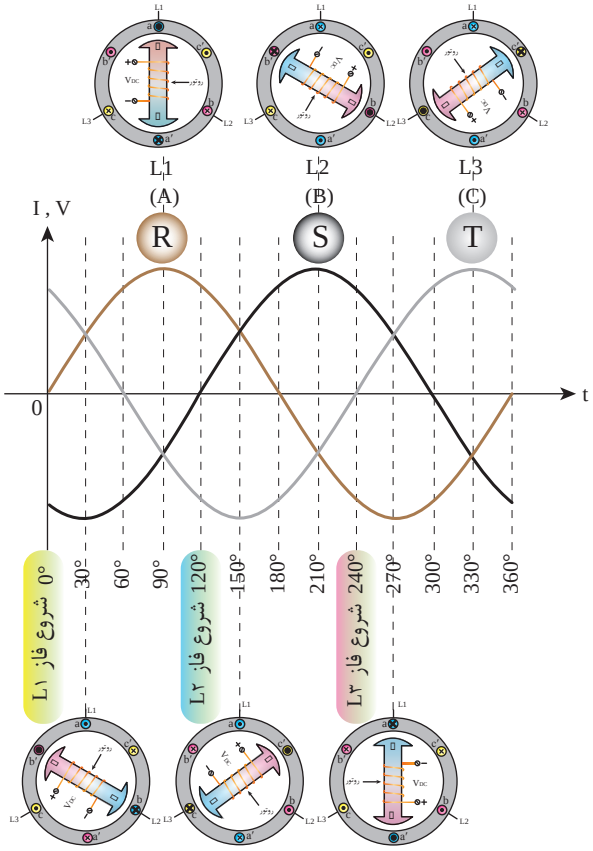
ژنراتورهای سنکرون از دو قسمت اصلی استاتور و رتور تشکیل شده‌اند.

۱ــ۲ــ۴ــ استاتور : استاتور ژنراتور سنکرون شبیه استاتور ماشین‌های القایی است و به صورت سه فاز سیم پیچی می‌شود که سیم پیچ‌های هر فاز نسبت به یکدیگر ۱۲۰° الکتریکی اختلاف فاز مکانی دارند.

با توجه به شکل (۴)، اگر رتور این ژنراتور دو قطبی یک دور کامل بزند، بر روی سیم پیچ هر فاز، نیروی محرکه‌ای به شکل سینوسی القا خواهد شد.

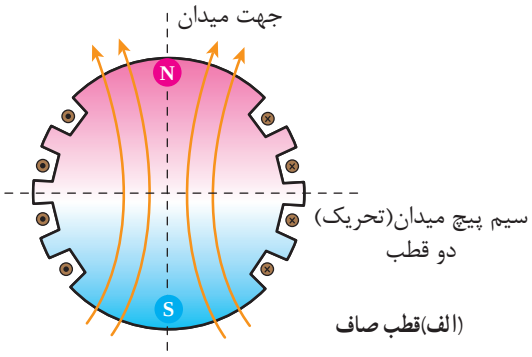
بر اساس چرخش رتور و اختلاف فاز مکانی در سیم‌پیچ‌های a، b و c در نیروی محرکه القایی، اختلاف فاز زمانی متناظر ایجاد خواهد شد.

باید توجه داشت که هر چقدر سرعت چرخش رتور افزایش یابد زمان تناوب شکل موج سینوسی کاهش می‌یابد و به عبارت دیگر موجب افزایش فرکانس شکل موج می‌شود.

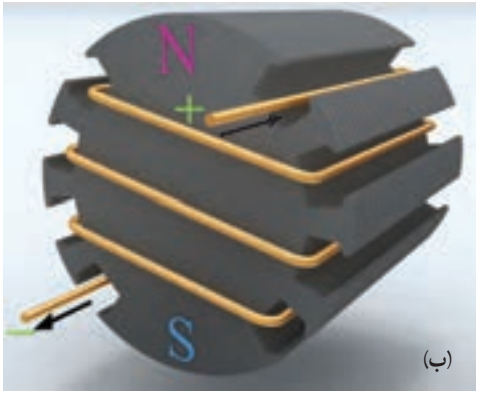


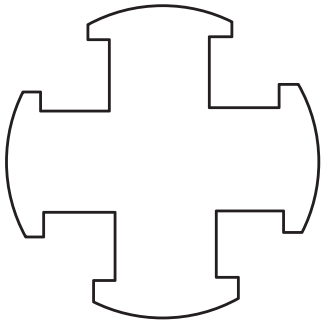
شکل ۴ــ تولید ولتاژ سه فاز با گردش میدان دو قطبی

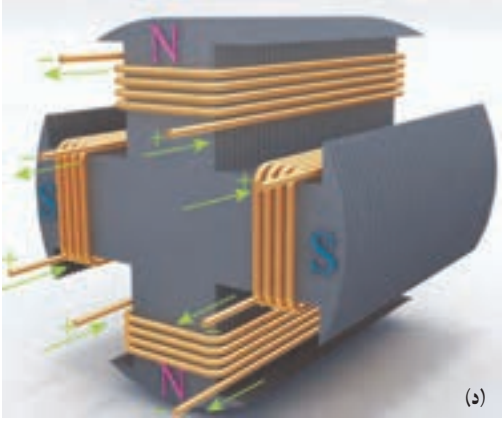
۲ــ۲ــ۴ــ رتور : در رتور ژنراتور سنکرون با جاری شدن جریان در سیم پیچ تحریک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود تا با چرخش رتور میدان دوار تولید شود. شکل (۵) طرح وارهٔ ایجاد میدان مغناطیسی دوقطبی و چهار قطبی را با سیم‌پیچ‌های رتور ماشین سنکرون نشان می‌دهد. در رتور ماشین سنکرون برای داشتن هسته مغناطیسی، ورقه‌های آهنی سیلیس‌دار را روی هم قرار می‌دهند تا هستهٔ مناسبی برای عبور میدان مغناطیسی ایجاد شود. سپس با قرار دادن سیم پیچ‌ها در این هسته و اتصال آنها به منبع جریان مستقیم، رتور ماشین الکترومغناطیس می‌شود. اتصال سیم‌پیچ‌های میدان (تحریک) به منبع جریان مستقیم از طریق دو عدد رینگ و جاروبک صورت می‌گیرد.



(الف)قطب صاف





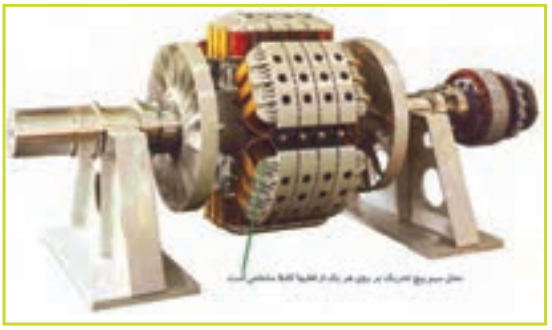


۲ــ۳ــ۴ــ رتور با قطب برجسته : رتور ژنراتورهای با تعداد قطب زیاد و سرعت کم معمولاً از نوع قطب برجسته هستند. طول این رتورها به نسبت قطر آن کمتر است و متناسب با سرعت‌های کم ساخته می‌شوند.

ساختمان رتور قطب برجسته و چگونگی قرارگیری سیم‌پیچ‌های تحریک بر روی آن در شکل (۷) نشان داده شده است.

رتور ژنراتور نیروگاه های آبی[1] و دیزل ژنراتورها[2] این‌گونه ساخته می‌شوند.

در شکل(۸) رتور ژنراتور نیروگاه های آبی در حال نصب نشان داده شده است.



شکل ۷ــ رتور قطب برجسته (آشکار)

شکل ۸ــ رتور ژنراتور نیروگاه آبی سد شهید عباسپور در حال قرارگیری در استاتور

خود را بیازمایید

۱ــ استاتور ژنراتور سنکرون دارای سه دسته سیم پیچ با ..... ۱۲۰ درجه است.

۲ــ رتور ژنراتور سنکرون دارای سیم‌پیچی است که به جریان..... (مستقیم/ متناوب) متصل می‌شود.

۳ــ رتور با قطب صاف در ..... استفاده می‌شود.

۴ــ رتور ژنراتور سنکرون از نوع برجسته دارای طول نسبی ..... و قطر.....(زیاد/کم) می‌باشد.

۴ــ۴ــ کمیت‌های ژنراتور سنکرون

۱ــ۴ــ۴ــ فرکانس ژنراتور سنکرون : فرکانس ولتاژ ژنراتور سنکرون به عوامل زیر بستگی دارد :

ــ تعداد قطب‌های سیم پیچی

ــ سرعت رتور

در فصل ۳ با رابطه سرعت سنکرون ماشین‌های القایی آشنا شدید. در اینجا رابطه برحسب فرکانس نوشته شده است.

$$n_s = \frac{۱۲۰ \times f}{p} \Rightarrow \quad (۴ــ۲)$$

$$f = \frac{n_s \times p}{۱۲۰} \quad (۴ــ۳)$$

در رابطه (۴ــ۲) :

n_s سرعت گردش رتور ژنراتور سنکرون بر حسب دور در دقیقه (RPM)

P تعداد قطب‌ها

f فرکانس بر حسب (Hz)

۱ــ هیدرو ژنراتور Hydro Generator

۲ــ دیزل ژنراتورها در قدرت های کوچک و اضطراری ساخته و استفاده می‌شوند و وسیله گرداننده رتور آنها موتور دیزل است .

۴

فرض کنید رتور یک ژنراتور دو قطبی با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه بچرخد در نتیجه فرکانس ولتاژ تولید شده ۵۰ هرتز خواهد شد. یعنی :

$$f = \frac{n_s \times p}{۱۲۰} \Rightarrow$$

$$f = \frac{۳۰۰۰ \times ۲}{۱۲۰} = ۵۰ Hz$$

رابطه (۳ـ۴) همان رابطه سرعت سنکرون در ماشین‌های القایی است که در اینجا بر حسب فرکانس بیان شده است.

سوال می خواهیم فرکانس ولتاژ ژنراتوری ۵۰ هرتز باشد؛ الف) اگر رتور این ماشین چهار قطبی باشد، محور ژنراتور را باچه سرعتی بچرخانیم؟

$$n_s = \frac{۱۲۰ \times f}{p} \Rightarrow n_s = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۴} = ۱۵۰۰ RPM$$

ب) اگر سرعت رتور (محور ژنراتور) ۷۵۰ RPM باشد، از ژنراتور چند قطبی باید استفاده کرد؟

$$p = \frac{۱۲۰ \times f}{n_s} \Rightarrow n_s = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۷۵۰} = ۸$$

از ژنراتور ۸ قطبی باید استفاده شود.

۵ـ۴ـ ولتاژ ژنراتور سنکرون

ولتاژ تولید شده در سیم پیچ‌های استاتور ژنراتور سنکرون با توجه به قانون القای فارادی از رابطه (۴ـ۴) بدست می‌آید.

$$E = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (۴ـ۴)$$

نیروی محرکه القا شده در هرفاز ژنراتور سنکرون از رابطهٔ (۵ـ۴) محاسبه می‌شود[۱].

$$E = ۴/۴۴ N\varphi f \qquad (۵ـ۴)$$

بنابراین ولتاژ تولید شده ژنراتور به عوامل زیر بستگی دارد :

N تعداد دور هر فاز سیم پیچ استاتور

φ شار مغناطیسی هر قطب بر حسب وبر (Wb)

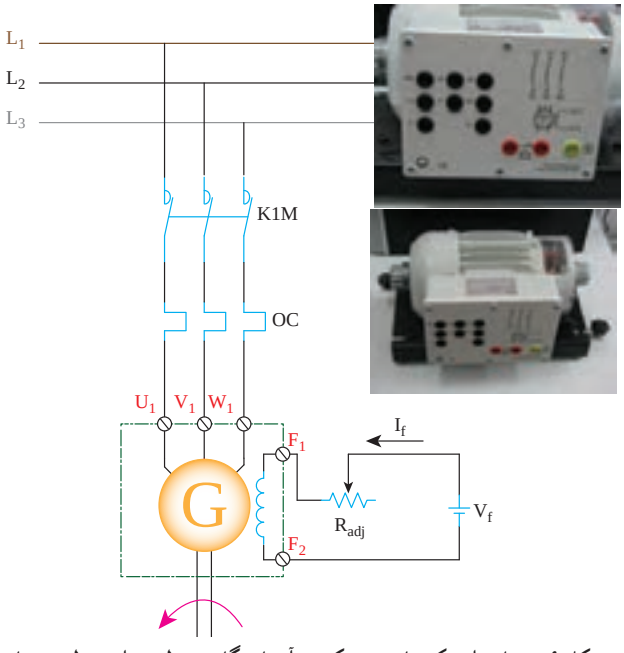
f فرکانس شبکه بر حسب هرتز (Hz)

در عمل ولتاژ ژنراتور را با تنظیم فوران قطب‌ها یا تغییر جریان تحریک تثبیت می‌کنند و فرکانس ژنراتور را با تنظیم سرعت رتور تثبیت می‌نمایند.

در عمل برای تنظیم ولتاژ خروجی ژنراتور، شار مغناطیسی قطب‌ها را تغییر می‌دهند.

نکته ۱

با تغییرات جریان تحریک رتور می توان ولتاژ خروجی ژنراتور را تغییر داد.



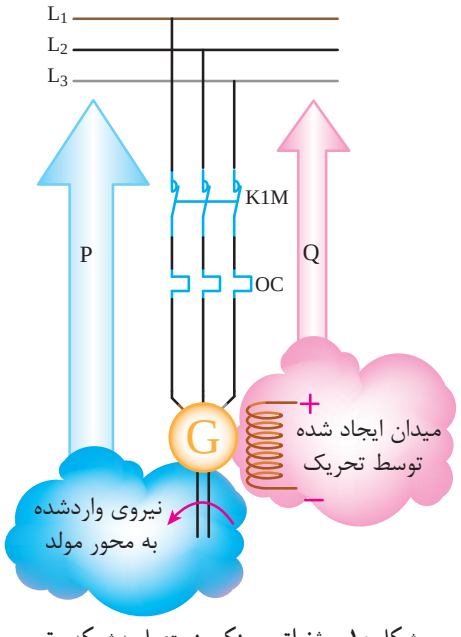
شکل ۹ــ نمایی از یک ماشین سنکرون آزمایشگاهی و طرح واره تنظیم جریان تحریک

۱ــ اثبات این رابطه در فصل یک آمده است.

برای تنظیم ولتاژ ژنراتور، مطابق شکل (۹) در مدار سیم پیچ تحریک می توان از یک رئوستا[1] استفاده نمود. این رئوستا قادر است با تغییر مقاومت مدار تحریک، جریان تحریک را کم و یا زیاد کند و در نتیجه با تنظیم جریان تحریک، فوران (شار) مغناطیسی و در نهایت ولتاژ خروجی ژنراتور قابل تنظیم خواهد بود.

نکته۲

سیم‌پیچ موتورهای الکتریکی، سلف چراغ‌های فلورسنت، میدان مغناطیسی خطوط انتقال برق و به‌طور کلی در هر کجا که اثر میدان مغناطیسی جریان متناوب وجود دارد، توان در شبکه جاری می‌کند. همان‌گونه که به‌کارگیری اثر میدان مغناطیسی نشانگر جاری شدن توان راکتیو است، تولید میدان مغناطیسی توسط سیم‌پیچ‌های تحریک در ژنراتورهای سنکرون نیز نشانگر جاری شدن توان راکتیو می‌باشد. بنابراین با تغییر جریان تحریک توان راکتیو ژنراتور سنکرون، تغییر می‌کند.



شکل ۱۰ــ ژنراتور سنکرون متصل به شبکه برق

ژنراتور سنکرون برخلاف ژنراتور آسنکرون مطابق شکل(۱۰)، علاوه بر تولید توان اکتیو، می‌تواند توان راکتیو نیز تولید نموده و به شبکه برق تحویل دهد. به سبب داشتن همین توانایی، در تولید نیروی برق اکثر نیروگاه‌های سراسر دنیا از این ژنراتور استفاده می‌شود.

نکته ۳

با افزایش توان راکتیو(Q) بار، ولتاژ ژنراتور رو به کاهش می‌گذارد که باید جهت تثبیت ولتاژ، جریان تحریک ژنراتور را افزایش داد. در واقع با زیاد شدن جریان تحریک شار مغناطیسی افزایش یافته و بدین ترتیب توان راکتیو بیشتری تولید و به شبکه برق تحویل داده می‌شود.

افزایش توان راکتیو باعث افت ولتاژ ژنراتور سنکرون می‌گردد.

نکته ۴

وقتی بار متصل به ژنراتور، توان اکتیو(P) مصرف می‌کند، سرعت ژنراتور رو به کاهش می‌گذارد و فرکانس کم می‌شود. برای جلوگیری از کاهش فرکانس باید جهت تثبیت سرعت چرخش، ژنراتور را با توان بیشتری چرخاند، به‌طوری که توان اکتیو مورد نیاز مصرف کننده تولید شود. این موضوع مانند گاز دادن بیشتر به اتومبیل در یک مسیر سربالایی است برای آنکه بتوان سرعت آن را نسبت به مسیر مسطح، ثابت نگه داشت.

مصرف توان اکتیو باعث کاهش فرکانس ژنراتور سنکرون می‌گردد.

۱ــ در ژنراتورهای واقعی تنظیم ولتاژ به‌صورت خودکار توسط AVR(**A**utomatic **V**oltage **R**egulator) انجام می‌شود.

خود را بیازمایید

۱ــ عوامل تعیین کننده فرکانس ژنراتور سنکرون را نام ببرید.

۲ــ در ژنراتور سنکرون ۱۴ قطبی با فرکانس تولیدی ۵۰ HZ، سرعت چرخش رتور چند دور بر دقیقه است ؟

۳ــ سرعت چرخش یک ژنراتور سنکرون چهار قطبی برابر با ۱۸۰۰ RPM است. فرکانس برق تولیدی آن را به‌دست آورید.

۴ــ عوامل تعیین کننده ولتاژ ژنراتور سنکرون را نام ببرید.

۵ــ برای افزایش ولتاژ ژنراتور سنکرون بایستی مقاومت (رئوستا) مدار تحریک را ..... (افزایش/کاهش) داد.

۶ــ۴ــ موازی کردن ژنراتورهای سنکرون

در نیروگاه‌ها به‌جای یک ژنراتور بزرگ از چند ژنراتور کوچک‌تر به‌صورت موازی با یکدیگر استفاده می‌شود، علت این کار :

- بالا بردن ضریب اطمینان تأمین شبکه برق
- تغییر دائم قدرت درخواستی از شبکه[1]

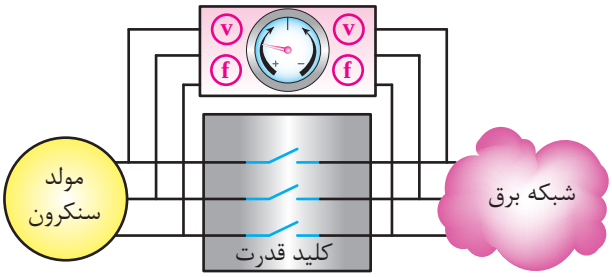
شرایط موازی کردن ژنراتور ها

- برابری ولتاژ خروجی ژنراتورها
- برابری فرکانس ژنراتورها
- رعایت توالی فاز در ژنراتورها

برای انجام عملیات موازی کردن دو ژنراتور سنکرون با هم و یا یک ژنراتور سنکرون با شبکه برق سراسری از مداری مطابق شکل(۱۱) استفاده می‌شود. مدار موازی سازی شامل دو دستگاه ولت‌متر، دو فرکانس متر و یک دستگاه سنکرونسکوپ می‌باشد.

یکی از ولت‌متر و فرکانس مترها ولتاژ و فرکانس طرف ژنراتور و دیگری ولتاژ و فرکانس طرف شبکه برق را اندازه‌گیری می‌کند. نشانگر سنکرونسکوپ زاویه فاز بین ولتاژهای شبکه و ژنراتور را جهت کنترل توالی فازها نشان می‌دهد. وجود این سه دستگاه در تابلوی فرمان نیروگاه برای عمل موازی سازی لازم است.

برای برابر شدن ولتاژ ژنراتورها جریان تحریک آنها را تغییر می‌دهند و برای تساوی شدن فرکانس آنها سرعت ژنراتورها را تنظیم می‌کنند.



شکل ۱۱ــ مدار موازی سازی ژنراتور سنکرون

سرعت چرخش عقربه سنکرونسکوپ به اختلاف فاز بین ژنراتور و شبکه برق بستگی دارد.

هنگامی که عقربه دستگاه سنکرونسکوپ در وسط و روی عدد صفر ایستاد بهترین زمان وصل کلید قدرت بوده و موازی کردن ژنراتور بلامانع است.

شکل ۱۲ــ تابلوی فرمان سه ژنراتورکه با شبکه برق سراسری موازی شده‌اند

۷ــ۴ــ تلفات و راندمان در ژنراتورهای سنکرون

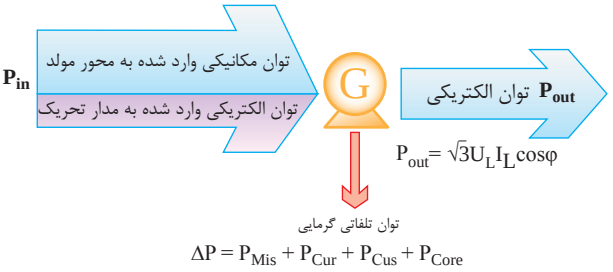
به دلیل تفاوت ساختمان ژنراتورهای سنکرون نسبت به دیگر ماشین‌ها (ژنراتورها) لازم است در محاسبه راندمان بیشتر

۱ــ اگر یک ژنراتور با توان بالا استفاده شود ممکن است به دلیل کاهش مصرف در ساعاتی از شبانه روز مجبور باشد با کسری از بار کار کند واین سبب کاهش بازده ژنراتور در طول زمان عملکرد آن می‌شود.

دقت شود. چرا که توان ورودی ژنراتور سنکرون از دو بخش تأمین می‌شود :

- بخش اول؛ توان الکتریکی (DC) مربوط به مدار تحریک (P_{dc})
- بخش دوم؛ توان مکانیکی (P_{mec}) ورودی

برای آشنایی بیشتر به دیاگرام شکل (۱۳) توجه نمایید :



شکل ۱۳ــ دیاگرام توازن توان ژنراتور سنکرون

توان ورودی : $P_{in} = P_{mec} + P_{dc}$ (۴ــ۶)

توان خروجی : $P_{out} = \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi$ (۴ــ۷)

در رابطه (۴ــ۷)

U_L ولتاژ خط برحسب ولت

I_L جریان خط بر حسب آمپر

$\cos\varphi$ ضریب قدرت شبکه می‌باشد.

با توجه به دیاگرام توان شکل (۱۳)

$\Delta P = P_{in} - P_{out}$ (۴ــ۸)

$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Delta P}$ (۴ــ۹)

ΔP یا مجموع تلفات ژنراتور سنکرون، از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$\Delta P = P_{mis} + P_{Cur} + P_{Cus} + P_{Core}$ (۴ــ۱۰)

در رابطه (۴ــ۱۰)

P_{mis} تلفات مکانیکی رتور بر حسب وات

P_{Cur} تلفات مسی رتور بر حسب وات

P_{Cus} تلفات مسی استاتور بر حسب وات

P_{Core} تلفات هسته ماشین بر حسب وات

$P_{Cur} = R_f I_f^2$ (۴ــ۱۱)

$P_{Cus} = 3R_S I_{ph}^2$ (۴ــ۱۲)

در رابطه (۴ــ۱۱و۴ــ۱۲)

R_f مقاومت تحریک بر حسب اهم

I_f جریان تحریک بر حسب آمپر

R_s مقاومت هر فاز سیم پیچ استاتور

I_{ph} جریان عبوری از هر فاز سیم پیچ استاتور

مثال یک ژنراتور سنکرون ۴۰۰ ولت با اتصال ستاره، باری با جریان ۸۰ آمپر و ضریب قدرت ۰/۷ را تأمین می‌کند . اگر از تلفات مسی رتور صرف نظر کنیم و تلفات هسته ۴۰۰ وات و تلفات مکانیکی ۶۰۰ وات و مقاومت هر فاز استاتور ۰/۰۴ اهم باشد راندمان ژنراتور را محاسبه کنید.

$P_{cur} = 0$

$P_{cus} = 3R_a I_a^2$

$P_{cus} = 3 \times 0/04 \times 80^2 = 768w$

$\Delta P = P_{mis} + P_{Cur} + P_{Cus} + P_{Core}$

$\Delta P = 400 + 600 + 768 = 1768w$

$P_{out} = \sqrt{3}U_L I_L \cos\varphi = \times \times \times =$

$\sqrt{3} \times 400 \times 80 \times 0/7 = 38755w$

$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Delta P} = \frac{38755}{38755 + 1768} = 0/95$

خود را بیازمایید

۱ــ مزایای استفاده از چند ژنراتور سنکرون به جای یک ژنراتور بسیار بزرگ را بنویسید.

۲ــ برای کنترل توالی و مقدار لحظه‌ای ولتاژ فازها از..... استفاده می‌شود.

۳ــ رابطه محاسبه تلفات کل ژنراتور سنکرون رانوشته و هر یک از کمیت‌های آن را معرفی کنید.

۸ــ۴ــ انواع نیروگاه‌های برق

نیروگاه به محلی گفته می‌شود که در آن انرژی‌های دیگری نظیر انرژی بخار آب یا هوای فشرده یا باد توسط توربین ابتدا به انرژی مکانیکی موردنیاز ژنراتور تبدیل می‌شود و سپس ژنراتور انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید. نیروگاه‌ها انواع مختلفی دارند که در این بخش به اختصار توضیح داده می‌شود.

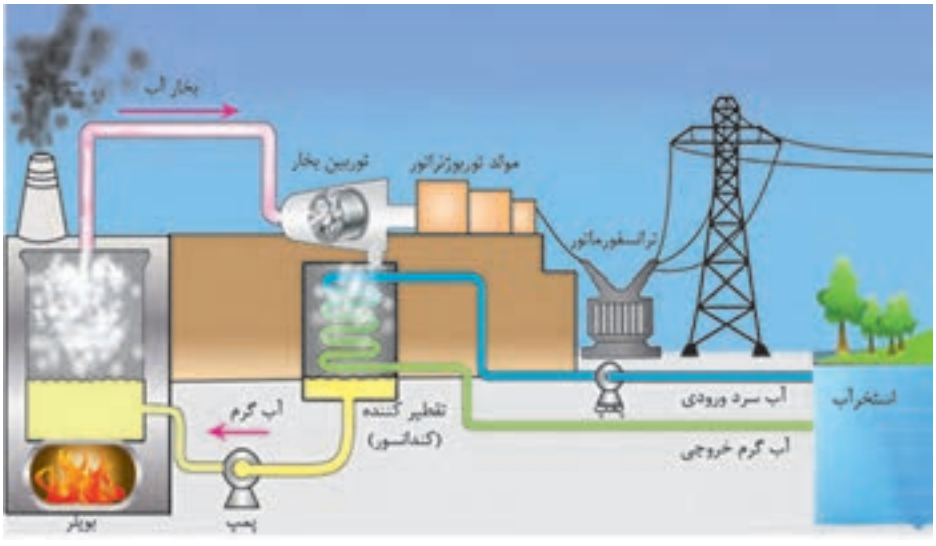
شکل ۱۴ــ نمایی از اتاق کنترل نیروگاه

۱ــ۸ــ۴ــ نیروگاه حرارتی : به نیروگاهی اصطلاحاً حرارتی گفته می‌شود که انرژی نهفته در سوخت‌های جامد، مایع، گاز و یا فعل و انفعالات شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل کند.

انواع نیروگاه‌های حرارتی شامل بخاری، گازی، سیکل ترکیبی و هسته‌ای می‌باشد.

۲ــ۸ــ۴ــ نیروگاه بخاری : در این نیروگاه با سوزاندن سوخت‌های فسیلی (گاز متان، زغال سنگ یا مازوت[1]) آب به بخار تبدیل می‌شود و انرژی بخار تولید شده برای چرخاندن توربین ژنراتور استفاده می‌شود(شکل ۱۵).

۳ــ۸ــ۴ــ نیروگاه گازی : در نیروگاه‌های گازی توسط کمپرسور، هوا را فشرده می‌سازند تا حجم آن کم شود و سپس با پاشیدن گاز متان بر این هوا عمل احتراق صورت می‌گیرد لذا سیالی با فشار زیاد و حجم زیاد به دست می‌آید که دارای انرژی



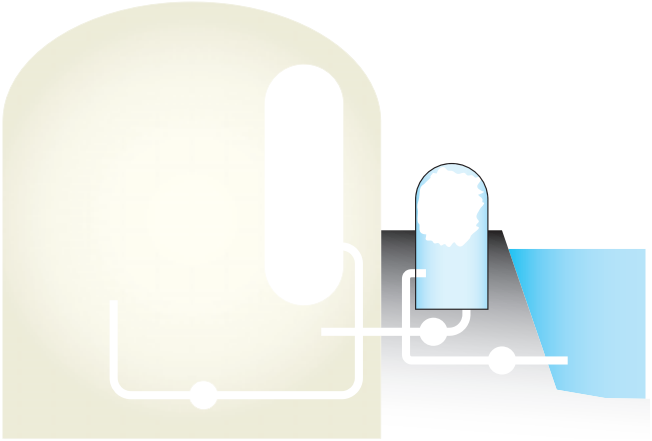
شکل۱۵ــ طرح وارهٔ تولید برق در نیروگاه بخار

۱ــ پایین‌ترین مشتق نفت خام

مناسبی جهت گرداندن توربین متصل به ژنراتور می‌باشد. به دلیل سرعت بالای توربین‌های گازی و بخاری اغلب ژنراتورهای نیروگاه‌های گازی و بخاری از نوع سنکرون با قطب صاف می‌باشند.

۴ــ۸ــ۴ــ نیروگاه هسته‌ای : در نیروگاه‌های هسته‌ای با شکست اتم‌های سنگینی همچون اورانیوم و فعل و انفعالات شیمیایی مربوطه گرمای بسیار زیاد ایجاد می‌شود که از آن برای تولید بخار آب استفاده می‌نمایند. سپس بخار ایجاد شده را از توربین بخار عبور می‌دهند تا ژنراتور را بگرداند.

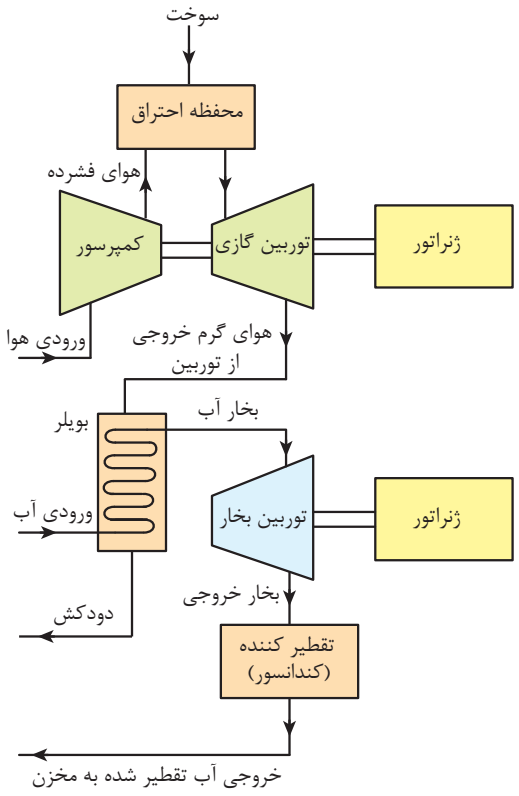
نیروگاه‌های هسته‌ای بسیار تمیز و کارآمد هستند با این وجود در صورت رعایت نکردن نکات ایمنی و بهره برداری غلط می‌توانند برای محیط زیست خطرساز باشند. این نیروگاه‌ها به دلیل استفاده از مواد رادیواکتیو در صورت نشت به محیط اطراف، فاجعه آفرین هستند.



۵ــ۸ــ۴ــ نیروگاه سیکل ترکیبی : به دلیل راندمان بسیار کم نیروگاه‌های گازی و بخاری معمولاً این دو نیروگاه را در نزدیک هم می‌سازند. به این ترتیب که انرژی (گرمای) باقیمانده در گازهای خروجی از توربین گازی را جهت گرم کردن اولیه آب به سمت دیگ بخار هدایت می کنند. در نتیجه گرمای خارج شده از اگزوز نیروگاه گازی هدر نمی رود و تلفات انرژی کاهش یافته و راندمان نیروگاه افزایش می‌یابد. به همین دلیل به این نیروگاه سیکل ترکیبی می‌گویند.

نیروگاه دماوند به عنوان بزرگ‌ترین نیروگاه سیکل ترکیبی خاورمیانه با مجموع ظرفیت ۲۸۶۸ مگاوات می‌باشد. این نیروگاه با ۵۰ درصد بازدهی، بیشترین بازدهی را در میان سایر نیروگاه‌های حرارتی دارد.

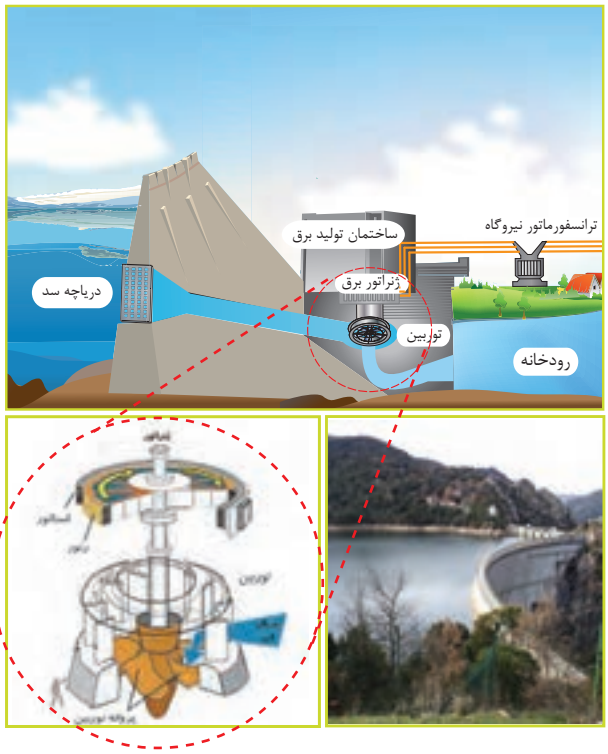
طرح وارهٔ عملکرد نیروگاه سیکل ترکیبی در شکل(۱۸) نشان داده شده است.



شکل ۱۸ــ طرح واره عملکرد نیروگاه سیکل ترکیبی

۶ــ۸ــ۴ــ نیروگاه آبی : استفاده از انرژی پتانسیل آب در پشت سد می‌تواند منبع مناسبی برای به حرکت در آوردن توربین‌های یک ژنراتور باشد. به همین دلیل در کنار هر یک از سدها آب راه مناسبی جهت خروج آب تعبیه می‌کنند که آب پشت سد را با فشار و نیروی مناسب به پره‌های توربین ژنراتور وارد می‌کند و آن را به گردش در می‌آورد.

به دلیل سرعت کم توربین‌های آبی، ژنراتور این نوع نیروگاه‌ها از نوع سنکرون با قطب برجسته می‌باشد.



شکل ۱۹ــ طرح وارهٔ تولید برق در نیروگاه های آبی

۷ــ۸ــ۴ــ نیروگاه بادی : این نوع نیروگاه با توجه به شرایط اقلیمی یک منطقه بادخیز احداث می‌شود. در این روش توربین‌هایی که دارای سه پره با طول بلند می‌باشند روی یک پایهٔ نسبتاً بلند سوار شده اند و انرژی جنبشی وزش باد را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. البته با توجه به سرعت متغیر باد در این نیروگاه‌ها از ژنراتور آسنکرون استفاده می‌شود.[۱]

شکل ۲۰ــ توربین نیروگاه بادی

۸ــ۸ــ۴ــ جمع‌بندی : در تمام کشورها معمولاً برق پایه (یا همان مصرف متوسط) از طریق نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، هسته‌ای، آبی و بخاری تأمین می‌شود و تولید برق بیشتر را در ساعات اوج مصرف با اضافه شدن نیروگاه‌های گازی و آبی جبران می‌نمایند. ضمن اینکه دیگر نیروگاه‌ها در صورت نیاز، همواره انرژی خود را به شبکه برق سراسری تحویل می‌دهند.

تحقیق کنید

چرا شبکه برق را به‌صورت سراسری استفاده می‌کنند؟

با در نظر گرفتن هزینه های ناشی از اثرات مخرب زیست‌محیطی و به پایان رسیدن ذخایر نفت و گاز در جهان، دانشمندان به‌دنبال راهی مناسب جهت حذف نیروگاه‌های حرارتی هستند و به دنبال آن مطالعه و ساخت نیروگاه‌هایی موسوم به انرژی نو همچون خورشیدی، زمین گرمایی، جزر و مد دریا و... را آغاز کرده‌اند. هرچند در حال حاضر هزینه ساخت نیروگاه‌های انرژی نو در مقایسه با نیروگاه‌های حرارتی بسیار بیشتر است و در برخی نقاط غیر ممکن می‌باشد ولی هنوز آنها را نا امید نکرده است.

در ایران نیز نیروگاه‌هایی احداث شده‌اند که در شکل (۲۱) نمونه‌هایی از آن دیده می‌شود.

خود را بیازمایید

۱ــ انواع نیروگاه‌های حرارتی را نام ببرید.

۲ــ نحوه به حرکت درآوردن توربین در نیروگاه گازی چگونه است؟

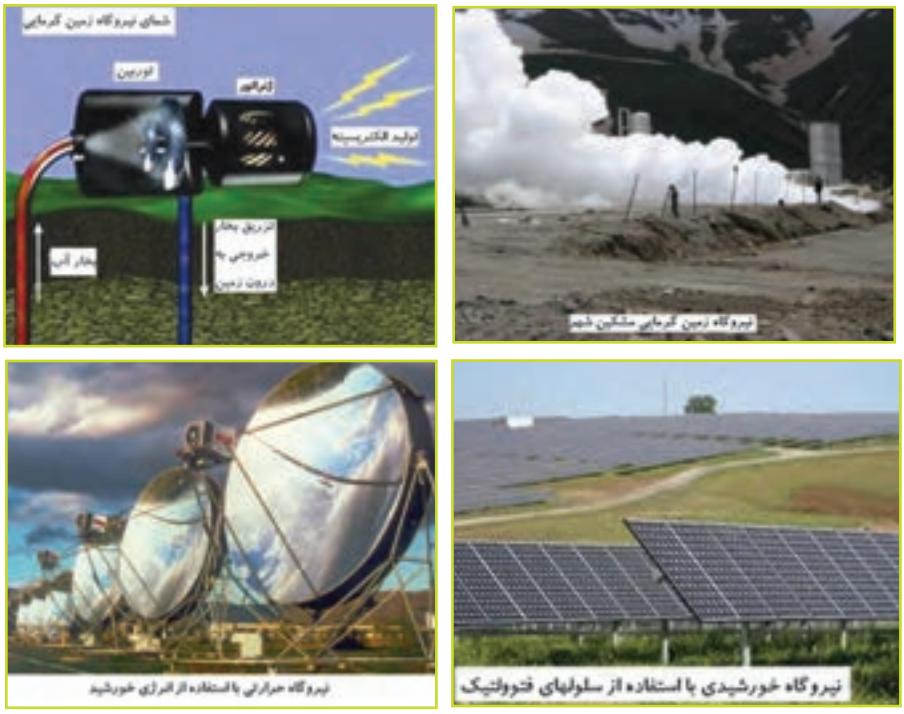
۳ــ راندمان نیروگاه‌های ..... و ..... بسیار کم بوده و ازکنار هم قراردادن این دو نیروگاه، نیروگاه ..... می‌سازند.

۴ــ ژنراتور سنکرون مورد استفاده در نیروگاه آبی از نوع رتور.....(برجسته/صاف) می‌باشد.

۵ــ نشت گازهای رادیواکتیو به بیرون از خطرات نیروگاه ..... می‌باشد.

۶ــ چند نوع نیروگاه انرژی نو را نام ببرید.

۱ــ برای توضیحات بیشتر به فصل ۳ مبحث ژنراتور آسنکرون مراجعه شود.



شکل ۲۱ــ نمایی از نیروگاه‌های موسوم به انرژی نو

۹ــ۴ــ ساختمان موتور سنکرون

ساختمان موتورهای سنکرون سه فاز مشابه ژنراتورهای سنکرون است. البته تفاوت‌های جزئی بین آنها وجود دارد. به عنوان نمونه رتور موتورهای سنکرون غالباً از نوع قطب برجسته است. در صورتی که در ژنراتورها چنین نیست. همچنین در ساختمان رتور موتورهای سنکرون از میله‌های قفس سنجابی به شکلی که در فصل ۳ گفته شد استفاده می‌شودکه در ادامه علت به‌کارگیری این میله‌ها بیان خواهد شد.

۱۰ــ۴ــ اصول کار موتور سنکرون

اگر سیم پیچ‌های سه فاز استاتور موتور سنکرون را به شبکه سه فاز متصل کنیم، مطابق آنچه که در موتورهای القایی گفته شد، میدان دواری با سرعت n_s طبق رابطه (۱۳ــ۴) در داخل موتور ایجاد می‌گردد.

$$n_s = \frac{۱۲۰ \times f}{P} \qquad (۱۳ــ۴)$$

اگر سیم پیچی رتور این موتورکه مانند رتور ژنراتورهای سنکرون است و تعداد قطب‌های آن با تعداد قطب‌های استاتور برابر می‌باشد را به منبع ولتاژ DC متصل کنیم، بر اثر عبور جریان تحریک از آن، رتور ماشین تبدیل به آهنربای دائم با تعداد قطب‌هایی متناسب با میدان گردان می‌شود. اما از آنجا که سرعت میدان دوار (مثلاً با فرکانس ۵۰ HZ) خیلی زیاد است، قطب‌های ساکن رتور، قطب‌های دوار را لحظه ای در مقابل و خیلی سریع در مخالف خود می‌بینند، بنابراین گشتاور یا نیروی راه‌اندازی به آن وارد نمی‌شود و رتور حرکت نمی‌کند. اما اگر رتور را با سرعتی نزدیک به سرعت سنکرون به حرکت در آوریم در این حالت دو قطب غیر همنام رتور و میدان دوار با یکدیگر قفل شده و با سرعت ثابت (میدان دوار) و در جهت چرخش میدان شروع به گردش می کنند.

چون گشتاور راه‌اندازی موتور سنکرون صفر است پس موتور سنکرون نیاز به راه‌انداز دارد.

۱۱ــ۴ــ روش‌های راه‌اندازی موتور سنکرون

۱ــ۱۱ــ۴ــ راه‌اندازی داخلی : برای راه‌اندازی موتورهای سنکرون به این شیوه از رتورهایی که بر روی آنها میله‌های قفس سنجابی تعبیه گردیده، استفاده می‌شود. بدین ترتیب که موتور در لحظهٔ راه‌اندازی مانند موتور القایی راه می‌افتد و بعد از آنکه سرعت رتور به ۷۵٪ سرعت میدان دوار رسید جریان تحریک سیم پیچ رتور را برقرار می‌کنند، لذا موتور به‌صورت سنکرون به کار خود ادامه خواهد داد. به این روش راه‌اندازی روش القایی نیز می‌گویند.

از دیگر ویژگی‌های میله‌های قفس سنجابی در رتور موتورهای سنکرون خنثی کردن ضربات ناشی از بار به موتور در شرایط اضافه بار می‌باشد.

۲ــ۱۱ــ۴ــ راه‌اندازی خارجی : در این روش به کمک یک محرک خارجی موتور سنکرون را راه‌اندازی می‌نمایند، سپس محرک خارجی را خاموش و از سیستم خارج می کنند.

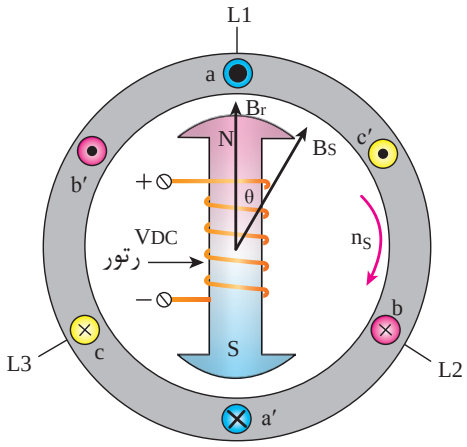
خود را بیازمایید

۱ــ چرا در موتور سنکرون با اتصال ولتاژ شبکه به استاتور و ایجاد جریان تحریک، رتور نمی‌چرخد؟

۲ــ در راه‌اندازی داخلی، موتور سنکرون به‌صورت .....راه اندازی می‌شود.

۱۲ــ۴ــ رفتار موتور سنکرون در زیر بار

هنگامی که رتور موتور سنکرون سه فاز در زیر بار است و با سرعت سنکرون می‌چرخد دو میدان حاصل از استاتور و رتور طبق آنچه که در شکل (۲۲) نشان داده شده است، در یک راستا قرار نمی‌گیرند. در واقع زاویه میدان رتور از میدان استاتور عقب می‌افتد. این عقب افتادن مانند کشیده شدن یک اتومبیل توسط یک خودروی دیگر است . یعنی اگر اتومبیل جلویی با هر سرعتی حرکت کند خودروی کشیده شده با حفظ فاصله از خودروی کشنده از همان سرعت تبعیت می‌کند.



شکل ۲۲ــ عقب افتادن میدان رتور از استاتور در زیر بار

زاویه بین میدان رتور و میدان استاتور را **زاویه گشتاور** می‌گویند. این زاویه با زیاد شدن بار افزایش می‌یابد بدون آنکه سرعت سنکرون تغییر کند. بنابراین برای کاهش زاویه گشتاور، جریان تحریک باید افزایش یابد بیشترین گشتاور موتور سنکرون زمانی ایجاد می‌شود که هر قطب رتور بین دو قطب میدان دوار قرار گیرد زیرا میدان قطب عقبی آن را به شدت رانده و میدان قطب جلویی آن را به شدت جذب می‌کند. در موتور سنکرون دوقطبی اگر با افزایش بار، زاویه گشتاور به ۹۰ درجه برسد و یا از آن تجاوز کند ممکن است دو حالت پیش بیاید :

الف) اگر اضافه بار خیلی کم و یا موقتی اعمال گردد، لغزش در موتور ایجاد می‌شود و در صورتی که در ساختمان رتور از میله های قفس سنجابی استفاده شده باشد، موتور به حالت آسنکرون در می آید و با کم شدن بار مجدداً موتور به وضعیت سنکرون برمی‌گردد.

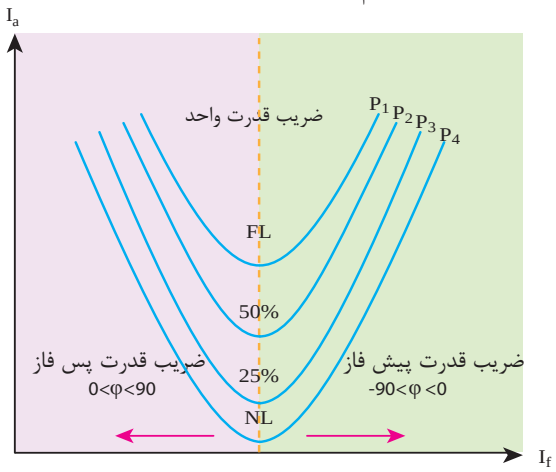
ب) اگر اضافه بار خیلی زیاد باشد ویا موقتی نباشد در صورت نداشتن میله‌های قفس سنجابی، موتور سریعاً از حالت سنکرون خارج شده و می‌ایستد، که این وضعیت برای موتور سنکرون خطرناک بوده و موجب سوختن آن می‌گردد. حتی اگر موتور میله‌های قفس سنجابی داشت، عملکرد طولانی مدت آن در حالت آسنکرون نیز برای موتور ضرر دارد. بنابراین برق موتور سنکرون باید فوراً قطع شود.

به زاویه گشتاور ۹۰ درجه در موتورهای سنکرون زاویه بحرانی می‌گویند.

۱۳ــ۴ــ حالات کاری موتور سنکرون

از آنجایی که جریان تحریک موتور سنکرون در اختیار بهره‌بردار است، لذا می‌توان پس از راه‌اندازی موتور، با تغییرات جریان تحریک، توان راکتیو دریافتی از شبکه را کنترل نمود.

این تغییرات توان راکتیو نسبت به جریان تحریک مانند حرف لاتین V (موسوم به منحنی V) می‌باشد.



P_1 =بار کامل = FL (Full Load)
P_2 =بار کامل ۵۰٪
P_3 =بار کامل ۲۵٪
P_4 =بی باری = NL (No Load)

شکل ۲۳ــ منحنی V در موتورهای سنکرون

مطابق این منحنی سه حالت کاری برای موتور سنکرون وجود دارد :

الف) حالت نرمال : در این حالت جریان تحریک، توان راکتیو مورد نیاز را به میزان مصرف داخلی خود موتور تولید می‌کند و جریان آرمیچر دارای حداقل می‌باشد لذا از دیدگاه شبکه، موتور سنکرون مانند یک عنصر اهمی خالصی عمل می‌نماید که توان راکتیو دریافتی از شبکه آن صفر است و در نتیجه ضریب قدرت موتور در این حالت ($\cos\varphi = 1$) واحد می‌باشد.

ب) حالت زیر تحریک : از آنجا که جریان تحریک در این حالت کمتر از جریان حالت نرمال است بنابراین موتور سنکرون همچون یک عنصر اهمی سلفی در شبکه، توان راکتیو(Q) جذب می‌نماید.

ج) حالت فوق تحریک : با افزایش جریان تحریک بیش از مقدار نرمال، موتور سنکرون، توان راکتیو (Q) تولید شده اضافی را به شبکه برق تحویل می‌دهد و بنابراین موتور سنکرون در شبکه رفتار خازنی نشان می‌دهد.

چون هر منحنی V موتور سنکرون به ازای بار مشخص و ثابتی به‌دست می‌آید لذا موتور در بارهای دیگر دارای یک منحنی متفاوت می‌باشد. به همین دلیل معمولاً سازندگان منحنی V، موتورهای سنکرون را حداقل در بار نامی، نصف بار نامی و بی‌باری ارائه می‌کنند.

ضریب قدرت موتورهای سنکرون قابل کنترل بوده و به جریان تحریک آنها بستگی دارد.

خود را بیازمایید

۱ــ زاویه عقب افتادن میدان رتور از میدان استاتور در موتور سنکرون را زاویه ..... می‌گویند.

۲ــ عکس العمل موتور سنکرون بدون میله قفس سنجابی در مقابل اضافه بارهای زیاد چگونه است؟

۳ــ در حالت کاری نرمال موتور سنکرون، ضریب قدرت ..... و رفتار موتور در شبکه برق همانند عنصر..... (اهمی ــ سلفی ــ خازنی) می‌باشد.

۴ــ اگر در موتور سنکرون جریان تحریک بیش از مقدار نرمال باشد، رفتار موتور در شبکه چگونه است؟

۵ــ برای افزایش ضریب قدرت شبکه برق باید موتور سنکرون را در حالت ..... استفاده کرد.

۶ــ منحنی V موتورهای سنکرون را رسم نموده و نواحی مختلف کاری در آن را تعیین کنید.

۱۴ــ۴ــ کاربرد موتور سنکرون

با توجه به جدول (۱) و مقایسه ویژگی‌های دو موتور القایی (آسنکرون) و سنکرون از موتور سنکرون می توان جهت اصلاح ضریب قدرت شبکه استفاده نمود. به همین علت به موتور سنکرون، خازن سنکرون هم می‌گویند. که شرح عملکرد آن در بخش قبلی آمده است.

از دیگر کاربردهای این موتور استفاده از آن در بارهایی می‌باشد که نیاز به سرعت ثابت دارند.

موتورهای سنکرون به دلیل پیچیدگی ساختمان در مقایسه با موتورهای القایی بسیار گران‌تر هستند ولی استفاده از موتورهای سنکرون در توان‌های خیلی زیاد به صرفه‌تر است.

موتورهای القایی (آسنکرون)	موتور سنکرون
دارای گشتاور راه‌اندازی می باشد.	گشتاور راه‌اندازی ندارد (به یک سیستم راه اندازی نیاز دارد).
سرعت آن با افزایش بار افت می کند و هرگز در سرعت سنکرون نمی چرخد.	در تمام بارهای ممکن با سرعت سنکرون می چرخد.
به تحریک DC نیاز ندارد.	به تحریک DC نیاز دارد.
ضریب قدرت این موتور همواره پس فاز است.	می تواند در ضریب قدرت‌های متفاوت پس فاز یا پیش فاز و یا واحد کار کند.
برای گردش بارهای مکانیکی به کار گرفته می شود.	هم برای گردش بارهای مکانیکی و هم به عنوان اصلاح‌گر ضریب قدرت در شبکه می‌تواند استفاده شود.

جدول ۱ــ مقایسه موتورهای سنکرون و آسنکرون

پرسش‌های پایان فصل(۴)

۱ــ انواع روش‌های تولید برق، توسط ژنراتور سنکرون را بیان نمایید.

۲ــ چرا با آنکه رتور ژنراتور سنکرون مانند آهنربای دائم عمل می‌کند، هسته آن را ورقه ورقه می‌سازند؟

۳ــ شکل فیزیکی یک رتور دو قطبی با قطب صاف و رتور با قطب برجسته را ترسیم کنید.

۴ــ چگونه می‌توان ولتاژ خروجی ژنراتور سنکرون را کنترل نمود؟

۵ــ چگونه می‌توان فرکانس خروجی ژنراتور سنکرون را کنترل نمود؟

۶ــ شرایط موازی کردن ژنراتورهای سنکرون را بنویسید.

۷ــ معمولاً از نیروگاه‌های آبی و گازی در چه مواقعی استفاده می‌شود؟

۸ــ ساختمان ژنراتور و موتور سنکرون چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند؟

۹ــ استفاده از روش راه‌اندازی القایی موتور سنکرون نسبت به روش خارجی چه مزایایی دارد؟

۱۰ــ چرا به موتور سنکرون، خازن سنکرون می‌گویند؟

۱۱ــ چهار مورد از تفاوت‌های موتور سنکرون و موتور آسنکرون را بیان کنید.

مسائل پایان فصل(۴)

۱ــ استاتور یک ژنراتور سنکرون که با اتصال ستاره به بار خروجی متصل است، دارای جریان خط ۱۷۳A بوده و مقاومت هر فاز آن ۰/۰۲۵Ω می‌باشد. چنانچه مقاومت مدار تحریک ۵۰Ω و ولتاژ تحریک رتور ۱۲۵V باشد، تلفات مسی رتور و استاتور را به‌دست آورید.

۲ــ یک ژنراتور سنکرون، توان اکتیو ۳۵۴/۶۵ KW را با ولتاژ خط ۲ KV و جریان ۱۲۵A به بار مصرفی می‌رساند چنانچه راندمان ماشین ۹۳/۰ باشد، به‌دست آورید :

الف) ضریب قدرت ژنراتور

ب)توان دریافتی ژنراتور

ج) تلفات کل ژنراتور

د) اگر توان ورودی ۱۳۴۴W،DC باشد، توان مکانیکی ورودی چقدر است؟