دانشگاه فنی و حرفه ای

دانشگاه فنی و حرفه ای خراسان شمالی

آموزشکده فنی و حرفه ای پسران شیروان

تولید و نیروگاه

برنامه درسی جلسه سوم:

موضوع: شرایط عرضه انرژی الکتریکی

گردآورنده: مهندس سعادتمند

برنامه درسی جلسه چهارم

موضوع ساختار سیستم های قدرت الکتریکی

گردآورنده: مهندس سعادتمند

برنامه درسی جلسه پنجم

موضوع واحد های تولید کننده توان

گردآورنده: مهندس سعادتمند

اسفند ۱۳۹۸

اجزای سیستم قدرت

جامعه پیشرفته امروز برای مصارف صنعتی، تجاری، کشاورزی، حمل و نقل، ارتباطات، خانگی و غیره به انرژی زیادی نیازمند است. کل انرژی مورد نیاز در یک سال به *تقاضای انرژی سالانه*[1] موسوم بوده و با استفاده از منابع انرژی اولیه طبیعی، اساساً سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت، گاز طبیعی و اورانیم تأمین می‌شود. از دید انرژی در جهان امروز، این سوخت‌های فسیلی سوخت‌های اصلی هستند که برای تولید انرژی الکتریکی به کار می‌روند. همراه با این سوخت‌های اصلی، منابع انرژی تجدیدپذیر مانند آبی، بیوگاز، خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، موج و انرژی جزر و مد به میزان کمتری استفاده می‌شوند. در آینده ممکن است سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در بازار انرژی افزایش یابد، زیرا مسایل زیست محیطی نقش مهم‌تری را در مناسبات سیاسی ایفا می‌کنند.

شاید مهم‌ترین و تنها ویژگی سیستم قدرت الکتریکی این است که انرژی الکتریکی را نمی‌توان به آسانی و سهولت با مقادیر زیاد ذخیره نمود. یعنی در هر لحظه از زمان تقاضای انرژی با تولید مربوط به آن باید تأمین شود. خوشبختانه الگوی کل بار یک سیستم قدرت معمولاً با یک رفتار قابل پیش‌بینی تغییر می‌کند، گرچه بار هر یک از مصرف‌کنندگان ممکن است خیلی سریع و به طور غیر قابل پیش‌بینی تغییر نماید. این الگوی تقاضای قابل پیش‌بینی سیستم، مجهز به برنامه‌ریزی و کنترل زمان‌بندی تولید روزانه از پیش تعیین شده می‌گردد.

یک شرکت برق برای تحویل انرژی الکتریکی قابل قبول به مصرف‌کنندگان خود، باید شرایط زیر را مد نظر قرار دهد:

[1]- Annual energy demand

۱. قابلیت اطمینان عرضه: قابلیت اطمینان عرضه[1] بالا از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا هر وقفه عمده در عرضه، که حداقل باعث نارضایتی مصرف‌کنندگان خواهد شد، می‌تواند به وضعیت تهدیدآمیز زندگی منجر شود و ممکن است مشکلات فنی و تولیدی شدیدی برای مصارف صنعتی ایجاد نماید. همواره در چنین شرایطی عرضه‌کننده برق با کاهش شدید درآمد مالی مواجه می‌شود. با رعایت موارد زیر می‌توان حصول قابلیت اطمینان عرضه زیاد را تضمین نمود:

- کیفیت بالای عناصر نصب شده
- مهیا نمودن تولید ذخیره
- ایجاد سیستم‌های قدرت بزرگ به هم پیوسته که توانایی تأمین هر مصرف‌کننده را از مسیرهای مختلف داشته باشند
- درجه امنیت بالای سیستم

۲. عرضه انرژی الکتریکی با کیفیت مناسب

انرژی الکتریکی با کیفیت مناسب با در نظر گرفتن موارد زیر فراهم می‌شود:

- سطوح ولتاژ تعریف شده و تنظیم شده با نوسانات کم
- فرکانس تعریف شده و تنظیم شده با نوسانات کم
- مقادیر کم هارمونیک

برای تضمین کیفیت بالای انرژی الکتریکی می‌توان از دو روش استفاده کرد:

- استفاده مناسب از روش‌های کنترل خودکار ولتاژ و فرکانس
- ایجاد سیستم‌های قدرت بزرگ به هم پیوسته که با توجه به طبیعت آنها حساسیت کمتری به تغییرات بار و اختلالات دیگر دارند

۳. تولید و انتقال اقتصادی

قسمت اعظم الکتریسیته در وهله اول با تبدیل انرژی حرارتی ذخیره شده در سوخت‌های فسیلی به انرژی مکانیکی و سپس با تبدیل این انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی برای انتقال به مصرف‌کنندگان از طریق سیستم قدرت تولید می‌شود. متأسفانه بازده این فرآیند، به ویژه مرحله اول تبدیل انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی، نسبتاً پایین است. بنابراین بهینه‌سازی

---

[1]- Reliability of supply

کل سیستم با حداقل کردن هزینه‌های تولید و انتقال امری حیاتی است. افزون بر آن صرفه جویی بیشتری با اتصال و بهره‌برداری یک سیستم به هم پیوسته به جای تعداد زیادی سیستم‌های کوچک‌تر امکان‌پذیر است.

مسایل زیست محیطی

جامعه پیشرفته به برنامه‌ریزی دقیق تولید و انتقال نیازمند است تا همراه با تضمین کم‌ترین تأثیرگذاری بر مسایل طبیعی زیست محیطی، انتظارات عرضه ایمن برق را تأمین نماید. در نتیجه آلودگی‌های هوا و آب ناشی از نیروگاه‌ها به کمیت‌های مشخصی محدود می‌شوند، در حالی که مسیرهای خطوط انتقال طوری طراحی می‌گردند که موجب حداقل اختلالات برای محیط زیست شوند. افزون بر آن، طرح‌های جدید نیروگاه‌ها و خطوط انتقال در معرض بررسی دقیق افکار عمومی می‌باشد.

در حال حاضر مسایل زیست محیطی نقش عمده‌ای را در مسایل سیاسی و بنابراین در برنامه ریزی توسعه سیستم ایفا می‌کنند. به عنوان یکی از پی‌آمدهای آن، شرکت‌های برق باید به طور مستمر در جستجوی راه‌های بهتر استفاده از سیستم موجود خود باشند، زیرا گرفتن مجوز برنامه‌ریزی ایجاد خطوط انتقال و مراکز تولید جدید روز به روز مشکل‌تر می‌شود.

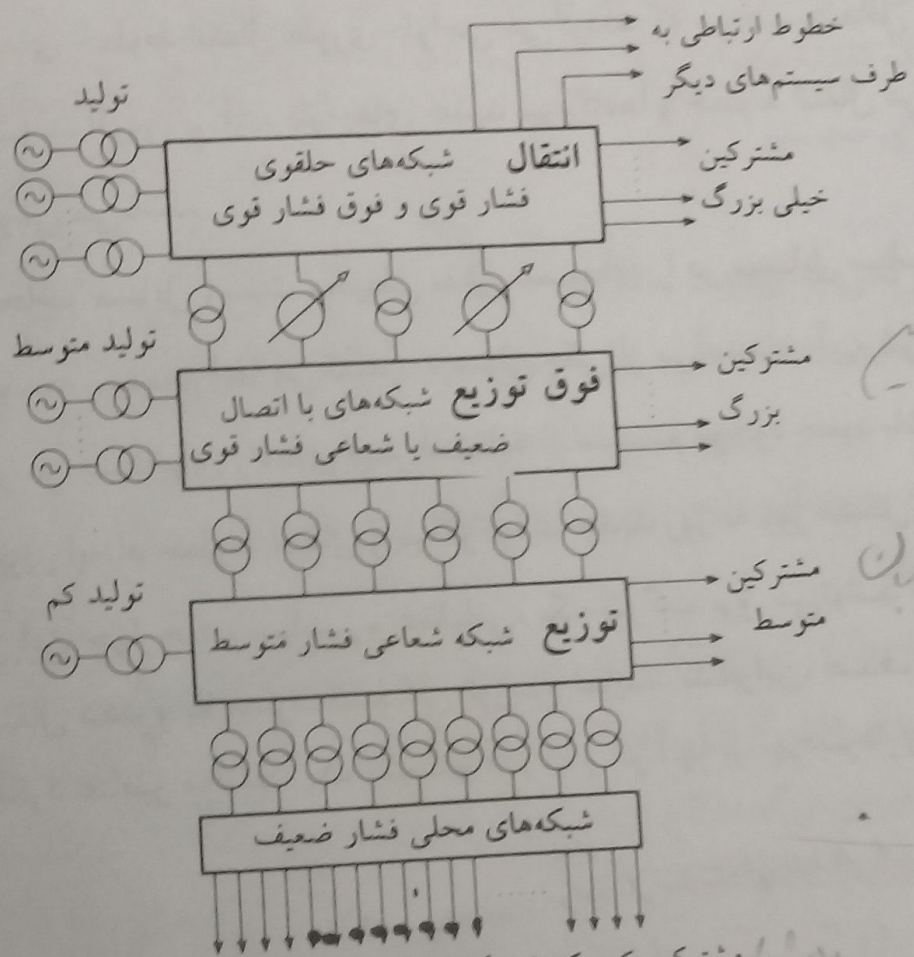
براساس این چهارچوب سیاسی و عملیاتی، یک شرکت برق می‌تواند انرژی الکتریکی را تولید کند، انتقال دهد و به مصرف‌کنندگان توزیع نماید. بنابراین، هدف این فصل تشریح چگونگی عملکرد عناصر مختلف یک سیستم قدرت و اثر آنها بر بهره‌برداری و کنترل سیستم قدرت است.

۲-۱ ساختار سیستم قدرت الکتریکی

نمودار ساختار اصلی یک سیستم قدرت الکتریکی امروزی در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. سیستم قدرت به سه قسمت تقسیم می‌شود: تولید، انتقال و توزیع. تاریخچه سیستم‌های قدرت نشان می‌دهد که روند تغییر ساختار طوری است که این سیستم‌ها از لحاظ سطوح ولتاژ به صورت یکپارچه درمی‌آیند (عمودی) که در آنها هر شرکت برق مسئول تولید، انتقال و توزیع در منطقه سرویس‌دهی خود می‌باشد. اخیراً بعضی از کشورها (مانند انگلستان، ولز و شیلی)

سیستم‌های خود را به صورت افقی تقسیم کرده‌اند که در آنها هر شرکت مسئول بخش مربوط به خود (تولید، انتقال یا توزیع) است.

قسمت‌های مختلف سیستم قدرت با ولتاژهای متفاوتی بهره‌برداری می‌شوند. به طور کلی ولتاژها به *فشار ضعیف*[1] یعنی کمتر از ۱kV، *فشار متوسط*[2] یعنی بین ۱ kV و ۱۰۰ kV که در سیستم‌های توزیع به کار می‌روند، *فشار قوی*[3] یعنی بین ۱۰۰ kV و ۳۰۰ kV که در شبکه‌های فوق توزیع به کار می‌روند و *فوق فشار قوی*[4] یعنی بیش از ۳۰۰ kV که در شبکه‌های انتقال به کار می‌روند، تقسیم می‌شوند. این دسته‌بندی به هیچ وجه قطعی نبوده و قابل تغییر است.



شکل ۲-۱ ساختار یک سیستم قدرت الکتریکی

---

[1]-Low voltage

[2]-Medium voltage

[3]-High voltage

[4]-Extra high voltage

تولید

برای تولید الکتریسیته از تبدیل انرژی مکانیکی پدید آمده در محور خروجی یک موتور، یا در حالت معمول‌تر یک توربین، به انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. در بیشتر سیستم‌های قدرت امروزی انرژی مکانیکی از انرژی حرارتی یا مستقیماً از جریان آب (تولید آبی) به دست می‌آید. منابع اصلی انرژی حرارتی که به صورت تجاری مصرف می‌شوند زغال سنگ، گاز طبیعی، سوخت هسته‌ای و نفت می‌باشند. استفاده از سوخت‌های غیر فسیلی مانند باد، جزر و مد، زمین‌گرمایی و بیوگاز در تولید الکتریسیته رو به افزایش است. منبع اصلی غیر حرارتی انرژی مکانیکی، آب با قدرت آبی است.

تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی اغلب با استفاده از ژنراتور سنکرون انجام می‌شود. گرچه بعضی از سیستم‌های تولید بادی ممکن است از ژنراتورهای القایی استفاده نمایند. ژنراتور سنکرون توان الکتریکی خود را از طریق یک ترانسفورماتور افزاینده (شکل ۲-۱) برای افزایش ولتاژ از سطح تولید(۲۰kV-۱۰) به سطح انتقال (صدها کیلو ولت) به سیستم انتقال تحویل می‌دهد.

انتقال

یک مزیت مهم انرژی الکتریکی آن است که می‌توان آن را در نزدیکی منبع اولیه انرژی یا منابع آب تولید نمود و سپس در یک مسافت طولانی آن را به مراکز بار منتقل کرد. از آنجایی که تلفات انرژی در خط انتقال با توان دوم جریان متناسب است از خطوط انتقال با ولتاژهای زیاد یا خیلی زیاد استفاده می‌شود. شبکه الکتریکی همه نیروگاه‌ها را به یک سیستم وصل نموده، توان الکتریکی آنها را انتقال داده و به صورت بهینه به مراکز بار توزیع می‌کند. معمولاً شبکه انتقال به صورت ساختار حلقه‌ای متصل شده است تا مسیرهای زیادی را برای عبور توان الکتریکی از ژنراتورها به مصارف الکتریکی امکان‌پذیر نموده و در نتیجه انعطاف و قابلیت اطمینان سیستم را بهبود بخشد.

با نزدیک شدن انرژی الکتریکی به مرکز بار، انرژی از شبکه انتقال به شبکه فوق توزیع هدایت می‌شود. هنگامی که یک سیستم قدرت با اضافه کردن خطوط انتقال جدید فشار قوی توسعه می‌یابد، بعضی از خطوط قدیمی‌تر با ولتاژ پایین‌تر به عنوان بخشی از شبکه فوق توزیع محسوب خواهند شد. تقسیم‌بندی مطلقی برای مرزبندی بین شبکه‌های انتقال و فوق توزیع وجود ندارد و نیروگاه‌های کوچک‌تر ممکن است به طور مستقیم شبکه فوق توزیع را تغذیه

نمایند، در حالی که مصرف‌کنندگان عمده ممکن است به طور مستقیم از شبکه انتقال یا فوق توزیع (شکل ۲-۱) تغذیه شوند.

توزیع

بیشتر انرژی الکتریکی از شبکه انتقال یا فوق توزیع به شبکه‌های توزیع فشار قوی و فشار متوسط انتقال می‌یابد تا آن را به طور مستقیم به مصرف‌کنندگان برساند. شبکه توزیع برخلاف شبکه های انتقال که دارای ساختار حلقه‌ای بودند عموماً دارای ساختار شعاعی هستند. مصرف‌کنندگان بزرگ را می‌توان از طریق یک شبکه حلقه‌ای با هم‌بندی ضعیف (یا انتقال توان کم در محل اتصال) یا دو تغذیه‌کننده[۱] شعاعی با امکان کلیدزنی خودکار بین تغذیه‌کننده‌ها (در صورت قطع توان) تأمین نمود. بعضی مصارف صنعتی ممکن است دارای تولید محلی به عنوان ذخیره یا محصول جانبی فرایند تولید خود (برای مثال تولید بخاری) باشند. در نهایت توان به سمت فشار ضعیف منتقل شده و به طور مستقیم به مصرف‌کنندگان تحویل می‌شود.

حدود ۸ درصد انرژی الکتریکی تولید شده در پایانه‌های ژنراتورها در مسیر خود به سمت مصرف‌کنندگان در سطح انتقال و توزیع تلف می‌شود.

تقاضا

تقاضای توان الکتریکی هرگز ثابت نبوده و به طور پیوسته در سراسر ساعات روز و شب تغییر می‌کند. تغییرات تقاضا در مصارف انفرادی ممکن است سریع و مداوم باشد، ولی با فرارفتن از مصارف انفرادی از سطوح توزیع به سطوح انتقال (شکل ۲-۱) تغییرات تقاضا کوچک‌تر می‌شود. در نتیجه تقاضای کل توان در سطح انتقال کم و بیش قابل پیش‌بینی بوده و به فصل، شرایط هوا، روش زندگی یک جامعه بخصوص و غیره بستگی دارد. تغییرات سریع و جامع تقاضای توان در سطح تولید معمولاً کوچک بوده و به نوسانات بار[۲] موسوم است.

۲-۲ واحدهای تولید

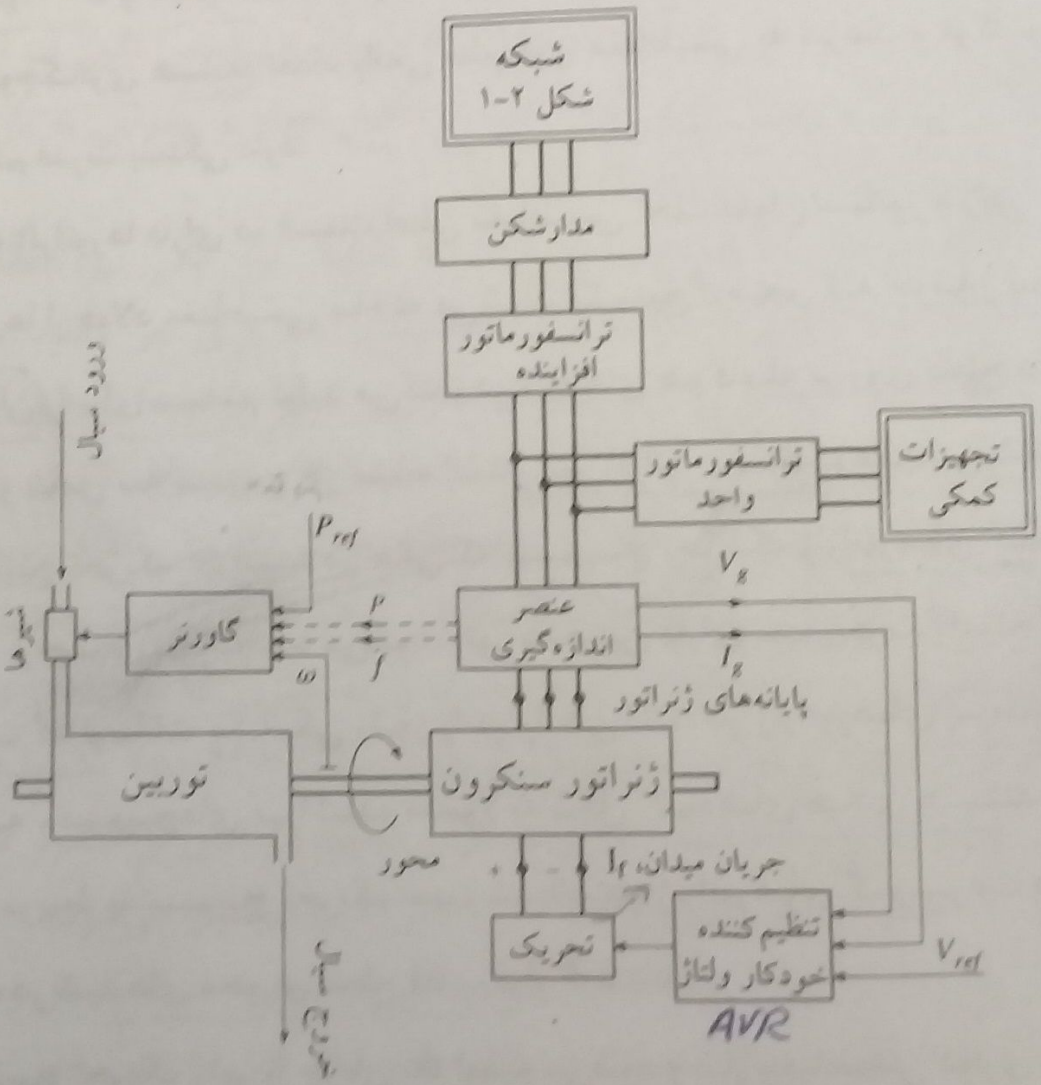
نمودار بلوکی یک واحد تولید در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. انرژی الکتریکی توسط یک ژنراتور سنکرون که با یک محرک اولیه به گردش درمی‌آید تأمین می‌شود. این محرک معمولاً

---

[۱]-Feeder

[۲]-Load flactuation

توربین یا موتور دیزل است. توربین معمولاً به یک *گاورنر توربین* (تنظیم‌کننده سرعت توربین)[1] مجهز است که سرعت یا قدرت خروجی را براساس مشخصه از قبل تنظیم شده قدرت – فرکانس کنترل می‌کند. توان تولید شده از طریق یک ترانسفورماتور افزاینده به شبکه انتقال تغذیه می‌شود. جریان تحریک (یا میدان) dc که برای تولید میدان مغناطیسی داخل ژنراتور لازم است، توسط *تحریک‌کننده*[2] تأمین می‌شود. جریان تحریک و متعاقب آن ولتاژ ترمینال‌های ژنراتور با یک *تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ*[3] (AVR) کنترل می‌شود. در واحدهای جدید تولید یک *ترانسفورماتور واحد*[4] اضافی ممکن است به شین بین ژنراتور و ترانسفورماتور افزاینده وصل شود تا تجهیزات کمکی نیروگاه نظیر موتورها، پمپ‌ها، تحریک‌کننده و غیره را تأمین نماید.



شکل ۲-۲ نمودار بلوکی یک واحد تولیدکننده توان

---

[1]-Turbine governor

[2]-Exciter

[3]-Automatic voltage regulator

[4]-Unit transformer

۲-۲-۱ ژنراتورهای سنکرون

ژنراتورهای سنکرون را می‌توان به ژنراتورهای پرسرعت که با توربین‌های بخاری یا گازی به گردش درمی‌آیند (و معمولاً به آنها توربوژنراتور[۱] گفته می‌شود) و ژنراتورهای کم‌سرعت که با توربین‌های آبی به گردش در می‌آیند دسته‌بندی کرد. برای کاهش نیروهای گریز از مرکز، توربوژنراتورهای پرسرعت دارای قطر نسبتاً کم ولی طول محوری زیادی بوده و به طور افقی نصب می‌شوند.این ژنراتورها معمولاً ۲ یا ۴ قطب دارند تا در فرکانس ۵۰ Hz به ترتیب دارای سرعت ۳۰۰۰ rpm یا ۱۵۰۰ rpm باشند. برعکس، ژنراتورهای کم‌سرعت که معمولاً دارای سرعت ۵۰۰ rpm و کمتر هستند، دارای تعداد قطب‌های الکتریکی زیاد، قطر بزرگ و طول محوری کوچک‌تری هستند. تعداد واقعی قطب‌های مغناطیسی به سرعت و فرکانس نامی مورد نیاز سیستم قدرت بستگی دارد.

همه ژنراتورها دارای دو قسمت اصلی مغناطیسی تحت عنوان *استاتور* و *رتور* می‌باشند که هر دو این‌ها از فولاد مغناطیسی ساخته می‌شوند. سیم‌پیچ *آرمیچر* که جریان بار از آن عبور کرده و توان را برای سیستم تولید می‌کند، در شیارهای هم فاصله بر روی سطح داخلی استاتور قرار دارد و شامل سه سیم‌پیچ فاز مشابه است. رتور ژنراتور پرسرعت همچنین شامل شیارهایی برای سیم‌پیچ تحریک dc است، در حالی که سیم‌پیچ تحریک ژنراتورهای کم سرعت روی قطب‌های برجسته رتور پیچیده می‌شود. رتور همچنین دارای سیم‌پیچ *میراکننده* اتصال کوتاه شده[۲] است که نوسانات مکانیکی رتور را میرا می‌کند. در ژنراتورهای پرسرعت با قطب غیربرجسته[۳]، سیم‌پیچ‌های میراکننده معمولاً به شکل گوه‌های هادی هستند که در همان شیارهای مربوط به سیم‌پیچ تحریک نصب شده‌اند. در ژنراتورهای کم‌سرعت سیم‌پیچ‌های میراکننده در شیارهای محوری سطح قطب قرار گرفته‌اند.

⇐ سیم‌پیچ تحریک رتور با جریان dc تغذیه می‌شود و شار مغناطیسی دواری تولید می نماید که مقدار آن با جریان تحریک متناسب است. این شار مغناطیسی دوار یک نیروی محرکه الکتریکی (emf) در هر فاز از سه فاز سیم‌پیچ آرمیچر استاتور القا می‌کند. این نیروی محرکه

---

[۱]-Turbogenerator

[۲]-Short- circuited damper winding (amortisseur)

[۳]-Non- salient

الکتریکی باعث عبور جریان ac به طرف سیستم قدرت می‌شود. اثر ترکیبی این جریان‌های آرمیچر، شار مغناطیسی *عکس‌العمل آرمیچر*[1] آن‌ها است که دارای اندازه ثابت بوده ولی با همان سرعت رتور می‌چرخد. شار تحریک و شار عکس‌العمل آرمیچر تولید شار منتجه را می‌نمایند که نسبت به رتور ثابت بوده ولی نسبت به استاتور با سرعت سنکرون می‌چرخد چون شار منتجه نسبت به استاتور می‌چرخد لازم است هسته آهنی استاتور را به صورت محوری با جهت محور ماشین ورقه ورقه نمود تا تلفات آهنی ناشی از جریان‌های گردابی را محدودکند. به هر حال چون شار مغناطیسی نسبت به رتور ثابت است، رتور در شرایط عادی از فولاد آهنگری توپر (صلب) ساخته می‌شود.

اگر به دلیلی سرعت رتور از سرعت سنکرون منحرف شود، این شار نسبت به رتور ثابت نبوده و موجب القای جریان در سیم‌پیچ‌های میراکننده می‌شود. براساس قانون لنز این جریان‌ها با تغییر شاری که آن‌ها را به وجود آورده است مخالفت نموده و بنابراین به بازیابی سرعت سنکرون و میرایی نوسانات رتور کمک می‌نمایند.

تجربه نشان می‌دهد که به مرور زمان تمایل به افزایش توان نامی نیروگاه‌ها و ژنراتورها وجود دارد زیرا هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری (به ازای هر مگاوات) با افزایش مگاوات نامی کاهش می‌یابد. این دید اقتصادی به جرم کمتر ژنراتورها به ازای هر مگاوات، ساختمان کوچک‌تر، سطح اشغال شده کمتر برای نیروگاه‌ها، تجهیزات کمکی و هزینه‌های انسانی کمتری منجر می‌شود. به هر حال در کشورهایی مانند انگلستان که دسترسی به منابع ارزان گاز طبیعی وجود دارد، این موضوع به ساختن ژنراتورهایی منجر شده است که باعث افزایش صرفه‌جویی انرژی در سال‌های اخیر شده است به طوری که واحدهای توربین گازی سیکل ترکیبی با استفاده از ژنراتورهای خنک شونده با هوا تا ۲۵۰ MW یک ظرفیت معمول شده‌اند. در نتیجه ژنراتورهای سنکرون پیشرفته دارای محدوده نامی از حدود ۱۰۰ MW تا بیش از ۱۳۰۰ MW بوده و در ولتاژهای ۱۰ kV تا ۳۲ kV بهره‌برداری می‌شوند.

معمولاً ژنراتور سنکرون از طریق یک ترانسفورماتور افزاینده به شبکه انتقال وصل می‌شود. در مورد یک واحد کوچک، ژنراتور و ترانسفورماتور به وسیله کابل به هم متصل می‌شوند، در حالی که یک ژنراتور بزرگ پرقدرت ممکن است به وسیله تعدادی شین‌های تک فاز جداسازی شده به ترانسفورماتور آن وصل شود. ترانسفورماتورهای ژنراتور معمولاً در محیط خارجی نصب

---

[1]-Armature reaction

شده و از نوع مخزنی[1] هستند. توان خروجی ترانسفورماتور از طریق کابل‌های فشار قوی یا خطوط هوایی کوتاه به شین‌های پست تغذیه می‌شود.

با سلام

انتظار میرود دانشجویان عزیز پس از مطالعه بخش اول درس تولید نیروگاه اجزای کامل سیستم قدرت چه در بخش تولید و چه در بخش انتقال و چه در بخش توزیع را بخوبی فرا گیرند

بعنوان تمرین تحقیقات زیر را انجام داده و برای بنده تلگرام نمایند

1-میزان تولید هر یک از واحد های نیروگاهی در کشور به تفکیک استان و نحوه تولید (بعنوان مثال خراسان رضوی میزان کل تولید انرژی نیروگاهی ..... که شامل نیروگاه های حرارتی به شرح زیر ..... و هر یک با توان .....و نیروگاه های بادی به شرح زیر ..... و هر یک با ظرفیت .....و نیروگاه فتوولتاییک به شرح زیر ..... و هر یک به توان ..... و ....

2-ساختار سیستم قدرت در ایران و سایر کشور های جهان را بررسی کرده و نتیجه را در غالب فایل PDFارسال کنید

با آرزوی داشتن سالی بدور از دغدغه برای همه شما ...