

جزوه دینامیک سیستم های قدرت

مراجع

- 1 - پایداری و کنترل سیستم های قدرت ، تالیف کندور مترجمین دکتر سیفی و دکتر علی خاکی صدیق، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، 1376
- 2 - دینامیک و پایداری سیستم های قدرت تالیف، مک کوسکی ، مترجمین احد کاظمی و دکتر شایان فر، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، 1384
- 3 - دینامیک و پایداری سیستم های قدرت، تالیف سوئر و پای، مترجم دکتر قاضی و مهندس خاتمی ، شرکت برق منطقه ای خراسان ، 1383
- 4 - دینامیک و کنترل سیستم های قدرت، دکتر کراری، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، 1382
- 5 - دینامیک سیستم های قدرت مترجمین دکتر جورابیان و مهندس رییس زاده انتشارات برق منطقه ای خوزستان، 1386
- 6 - پایداری ولتاژ سیستم های قدرت، دکتر محمد اسماعیل همدانی گلشن، انتشارات آستان قدس رضوی، 1385
- 7- Electric Power system dynamics, Yu, Academic Press, New York, 1983
- 8- Power system control and stability, Anderson, Fouad, The Iowa State University Press, 1977

سرفصل

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: مدل سازی ماشین های سنکرون

فصل سوم: مدل بار و خطوط انتقال

فصل چهارم: مدل سیستم های تحریک

فصل پنجم - مدل سازی توربین و گاورنر

فصل ششم: کنترل توان اکتیو و راکتیو در سیستم های قدرت

فصل هفتم: پایداری سیستم، سیگنال کوچک

فصل هشتم: پایداری گذرا

فصل نهم: نوسان های زیر سنکرون

فصل اول: مقدمه

ساختار سیستم های قدرت

همان طور که می دانیم یک سیستم قدرت تشکیل شده است از:

1 - سیستم تولید که محل قرار گرفتن نیروگاه ها می باشد.

سیستم تولید تشکیل شده است از نیروگاه های آبی که انرژی ورودی آن انرژی پتانسیل آب ذخیره شده پشت سد ها می باشد، نیروگاه های بخاری که انرژی ورودی به آن ها انرژی بخار داغ داده شده به توربین ها می باشد. آب ورودی به سیکل نیروگاه های بخاری در بویلر ها به بخار داغ 550 درجه رسانده می شود و سپس با انتقال آن به توربین های چندگانه نیروگاه های بخاری ، امکان چرخش توربین و سپس روتور و در نتیجه تولید ولتاژ های الکتریکی و تولید انرژی الکتریکی وجود دارد.

در نیروگاه های گازی از انرژی گاز داغ استفاده می شود.

نیروگاه های هسته ای یک نوع نیروگاه بخاری می باشد که انرژی بخار داغ آن توسط عملیات هسته ای بدست می آید.

اخیرا با بحث انرژی های نو، این امکان وجود دارد که انرژی الکتریکی با استفاده از نیروگاه های خورشیدی، باد، ژئوترمال و ... در نظر گرفته شوند.

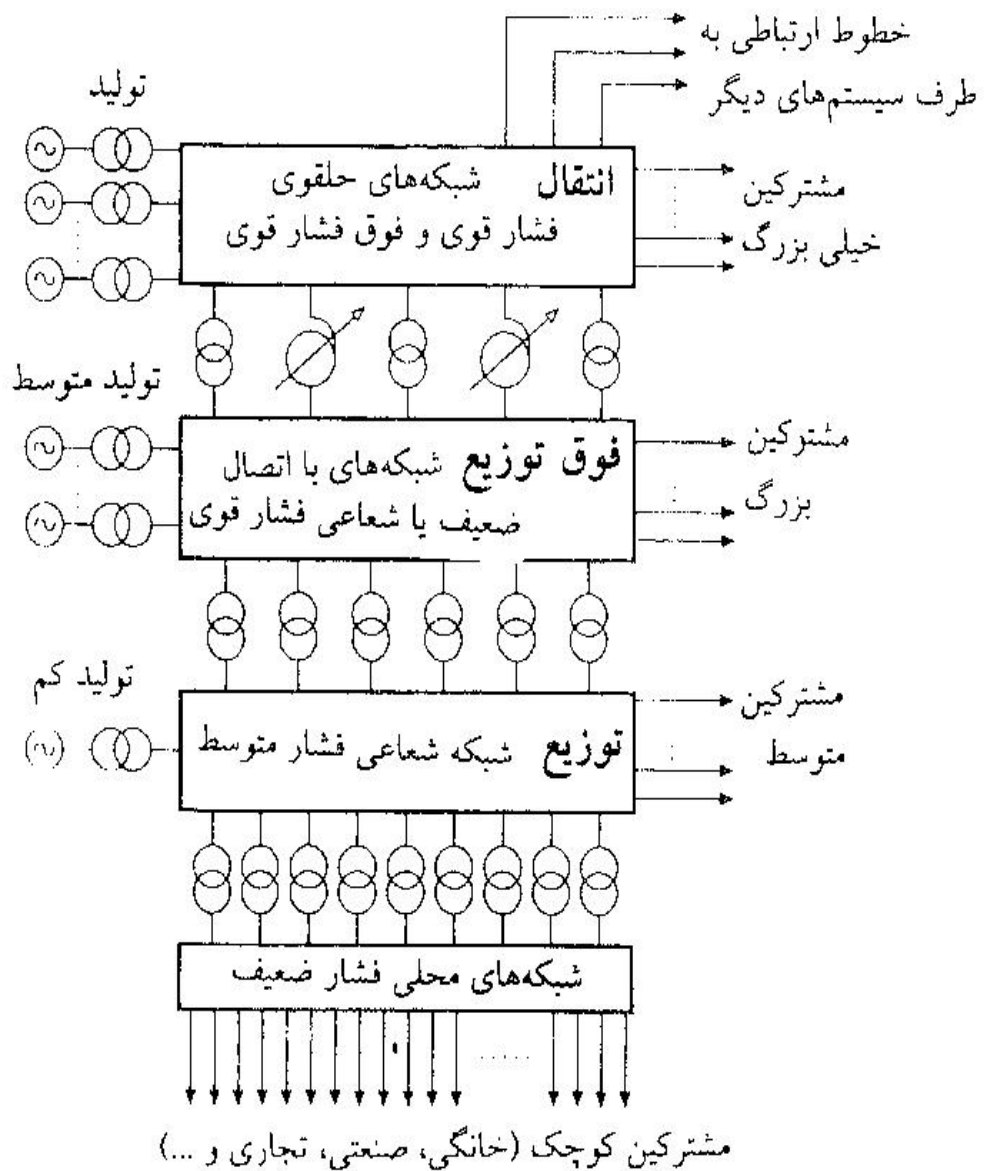
انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه ها در سطح ولتاژ 11 تا 35 کیلوولت تولید می شوند.

2 - انتقال و سیستم انتقال ثانویه (زیر انتقال) یا فوق توزیع، که تمامی نیروگاه های اصلی و مراکز عمده مصرف در سیستم را به یکدیگر وصل می کند. سطح ولتاژ در خطوط انتقال ایران 230 و 400 کیلوولت می باشد. البته در خطوط انتقال اروپا 110، 220، 400 و 750 کیلوولت، در انگلستان 132، 275 و 400 کیلوولت و در امریکا 345، 230، 115، 500 و 765 کیلوولت می باشند. در حال حاضر ، حداکثر ولتاژی که خطوط را از لحاظ اقتصادی برای آن ساخته اند، 765 کیلو ولت در کانادا و امریکا و 750 کیلو ولت در روسیه . هم اینک خطوط آزمایشی برای بهره برداری در 1100 کیلو ولت در ژاپن و 1200 کیلو ولت در روسیه ساخته شده است.

در سطح فوق توزیع ، سطح ولتاژ ، 132 و 63 کیلو ولت می باشد.

3 - سیستم توزیع که بارهای الکتریکی در آن واقع شده اند. سطح ولتاژ در سیستم های توزیع در ایران ، 11، 20 و 33 کیلو ولت می باشد و بسیاری از مصرف کنندگان غیر از مصرف کنندگان صنعتی ، ولتاژ نهایی را در سطح 400 ولت در یافت می کنند.

بسیاری از مصرف کنندگان بزرگ صنعتی، ولتاژ را در سطح ولتاژهای بالا دریافت می کنند. مثلاً یک مصرف کننده صنعتی مانند، کارخانجات فولاد، ولتاژ را در سطح ولتاژهای 230 کیلو ولت هم دریافت می دارند. بعضی از مصرف کنندگان این ولتاژ را در سطح ولتاژ 33 کیلو ولت، 20 کیلو ولت، 63 و یا 132 کیلو ولت دریافت می دارند که این بستگی به اهمیت بارهای صنعتی دارد.



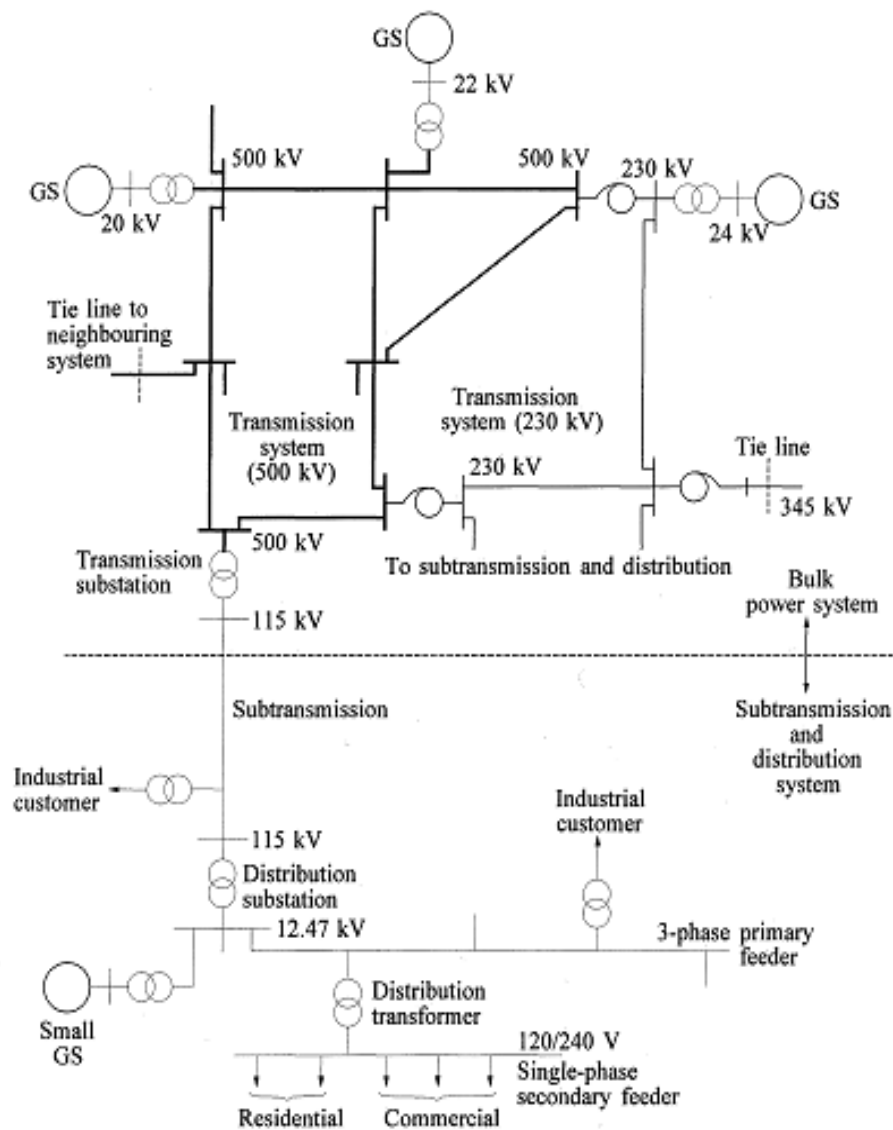
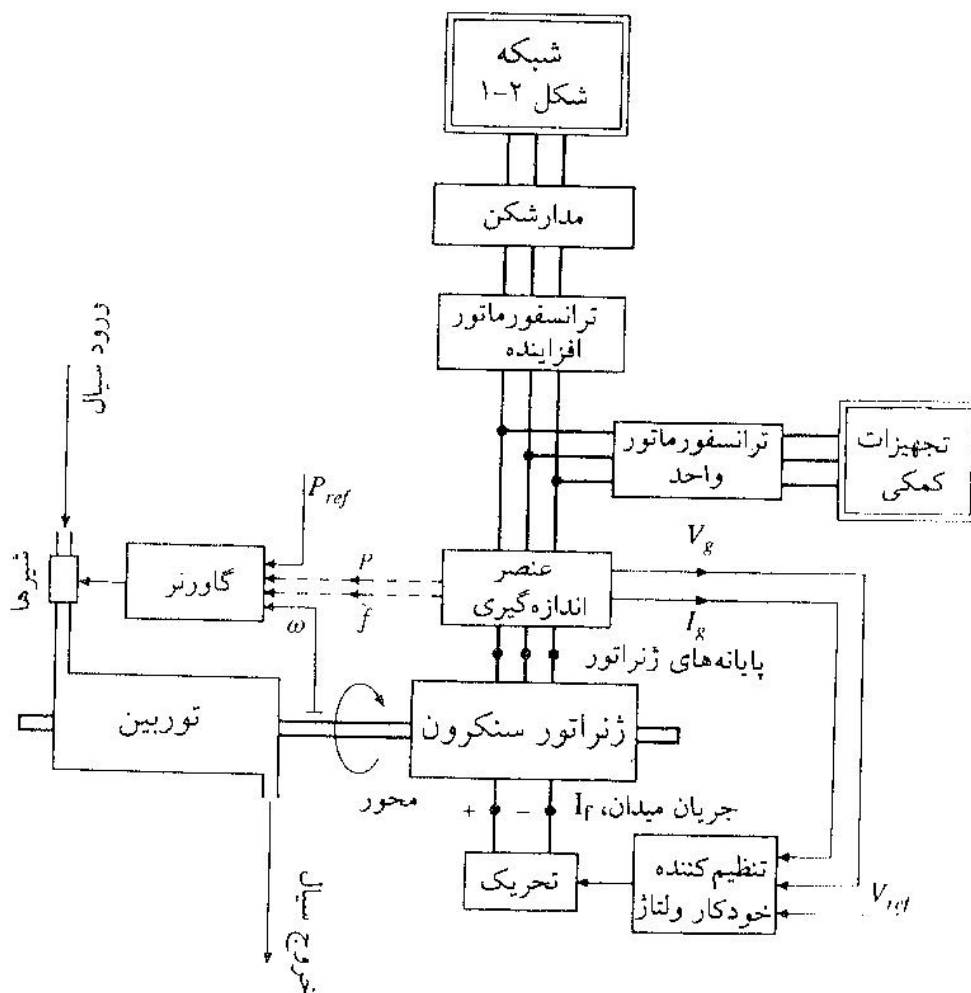


Figure 1.1 Basic elements of a power system

واحد های تولید

نمودار بلوکی یک سیستم تولید در این شکل نشان داده شده است. انرژی الکتریکی توسط یک ژنراتور که با یک محرک اولیه به گردش در می آید، تامین می شود. این محرک معمولاً توربین یا دیزل است. توربین معمولاً به یک گاورنر توربین (تنظیم کننده سرعت) مجهز است که سرعت یا قدرت خروجی را بر اساس مشخصه از قبل تنظیم شده قدرت - فرکانس کنترل می کند. توان تولید شده از طریق یک ترانسفورماتور افزایشده به شبکه انتقال منتقل می شود. جریان تحریک dc که برای تولید میدان مغناطیسی داخل ژنراتور لازم است، توسط تحریک کننده تامین می شود. جریان تحریک و متعاقب آن ولتاژ ژنراتور با یک تنظیم کننده خودکار ولتاژ (AVR) کنترل می شود.

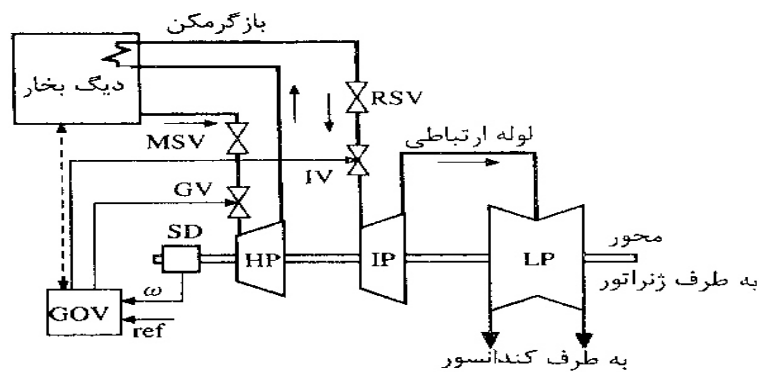


نمودار بلوکی یک واحد تولید کننده توان

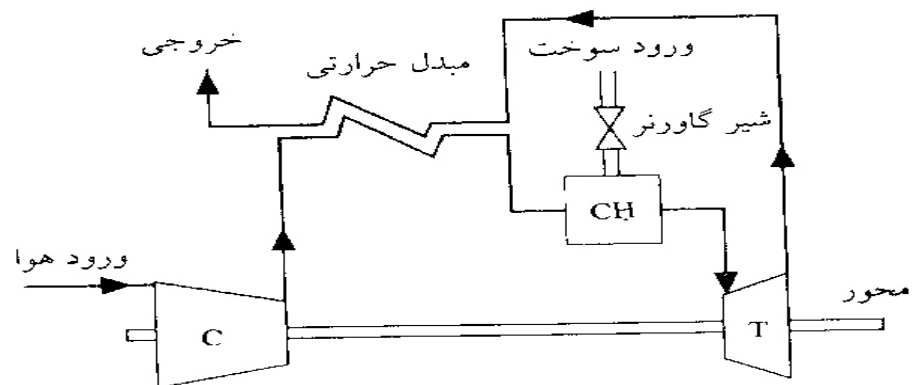
ژنراتورهای سنکرون را می توان به ژنراتورهای پرسرعت (با سرعت 1500 rpm یا 3000 rpm) با توربین های بخاری یا گازی ، با دو یا 4 قطب، به گردش در می آیند و ژنراتورهای کم سرعت (با سرعت 500rpm و یا کمتر) که با توربین های آبی با تعداد قطب های زیاد به گردش در می آیند، دسته بندی کرد.

ژنراتورهای سنکرون پیشرفته دارای توان 100 MW تا بیش از 1300MW بوده و در ولتاژهای kV 10 تا 32 kV می باشند.

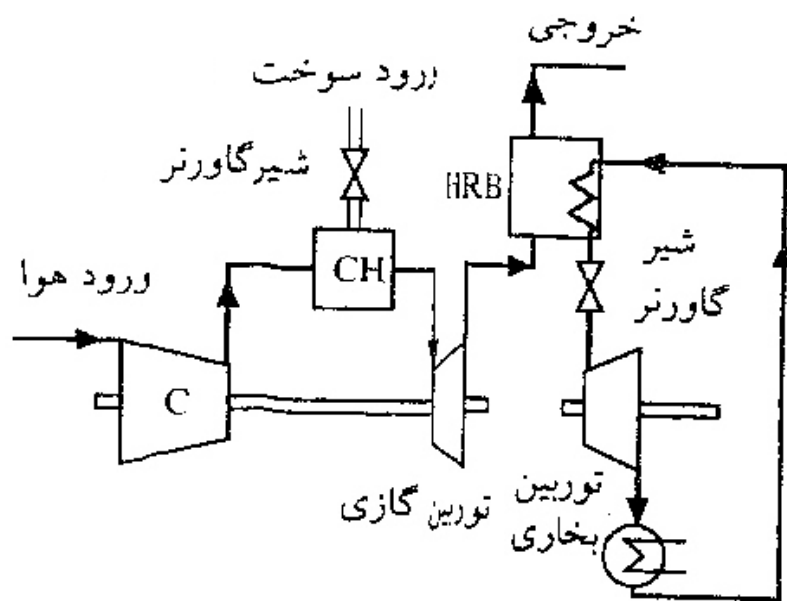
در شکل های زیر بلوک دیاگرام توربین های بخاری، گازی، سیکل ترکیبی و آبی نشان داده می شود.



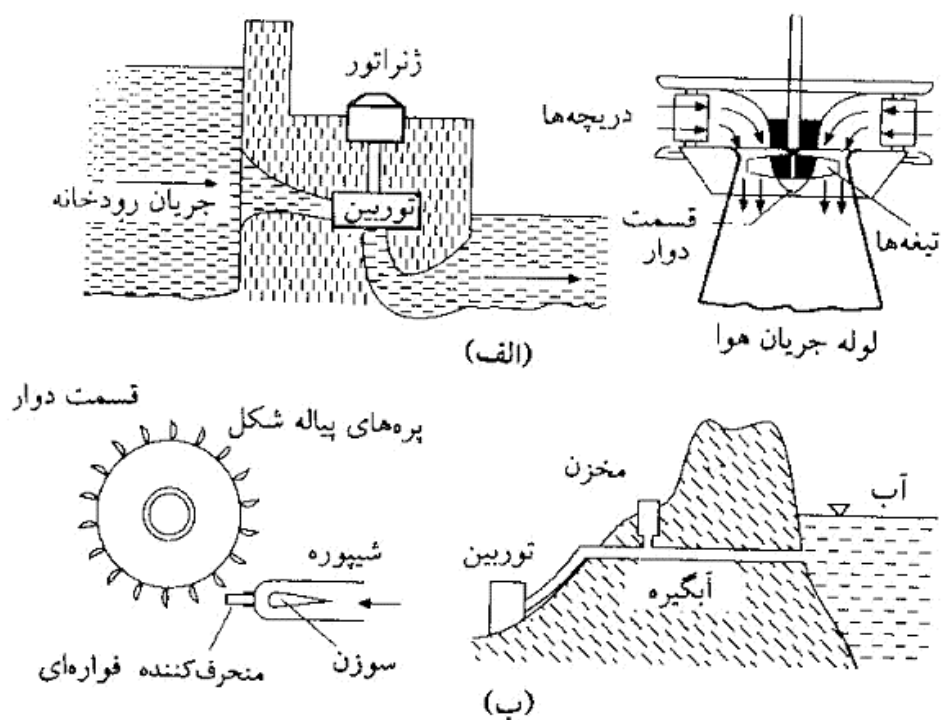
ساختار سیستم بخار یک توربین یک بار گرمایش ترکیبی متوالی



چرخه بازبایی توربین گازی



مثالی از توربین گازی سیکل ترکیبی



توربین‌های آبی: (الف) توربین عکس‌العملی فراز کم و متوسط؛ (ب) چرخ پلتون فراز بالا

کنترل سیستم قدرت

وظیفه اساسی سیستم قدرت آن است که انرژی الکتریکی را از یکی از صورت های طبیعی موجود به صورت انرژی الکتریکی در آورد و آن را به نقاط مصرف منتقل نماید. یک سیستم قدرت با طراحی و بهره برداری صحیح باید نیازهای اساسی را برآورده سازد:

- 1 - سیستم باید بتواند، تقاضای بار حقیقی و راکتیو را که مرتباً در حال تغییر می باشد را تامین نماید. برخلاف سایر انواع انرژی، انرژی الکتریکی را نمی توان به راحتی در مقادیر زیاد ذخیره نمود. از این رو همیشه باید ذخیره چرخان کافی از توان حقیقی و راکتیو را حفظ و به طور مناسب کنترل کرد.
- 2 - سیستم باید انرژی را با کمترین هزینه و حداقل تاثیر زیست محیطی تامین نماید.
- 3 - کیفیت توان عرضه شده باید با توجه به عوامل زیر دارای حداقل استانداردهای تثبیت فرکانس، تثبیت ولتاژ و سطح قابلیت اعتماد لازم باشد.

به منظور تامین نیازهای فوق، سطوح مختلف کنترل شامل مجموعه پیچیده ای از تجهیزات به کار گرفته می شود. که این سیستم های کنترلی در شکل زیر نشان داده شده است. در این ساختار کنترل کننده هایی وجود دارد که شامل کنترل سیستم سرعت ژنراتور می باشد. این سیستم وظیفه تنظیم سرعت و کنترل متغیرهای تغذیه انرژی از قبیل فشار، درجه حرارت و جریان سیال در دیگ بخار را بر عهده دارد.

وظیفه کنترل کننده سیستم تحریک، تنظیم ولتاژ ژنراتور و توران راکتیو خروجی آن است. وظیفه اساسی سیستم کنترل تولید آن است که تعادل بین کل تولید سیستم از یک طرف و بار و تلفات را از طرف دیگر تامین نماید، به طوری که فرکانس مطلوب و سطح مورد نیاز تبادل توان با سیستم های مجاور را از طریق خطوط هوایی حفظ نماید.

کنترل کننده های بخش انتقال سیستم، شامل ابزاری است که توان و ولتاژ را کنترل می کنند که از جمله می توان به جبران گر های استاتیکی توان راکتیو (SVC)، کندانسورهای سنکرون، خازن ها و راکتورهای قابل کلید زنی، ترانسفورمرهای با تپ قابل تنظیم، ترانسفورمرهای تغییر دهنده فاز (Phase shifters) و سرانجام از کنترل کننده های فشار قوی جریان مستقیم نام برد.

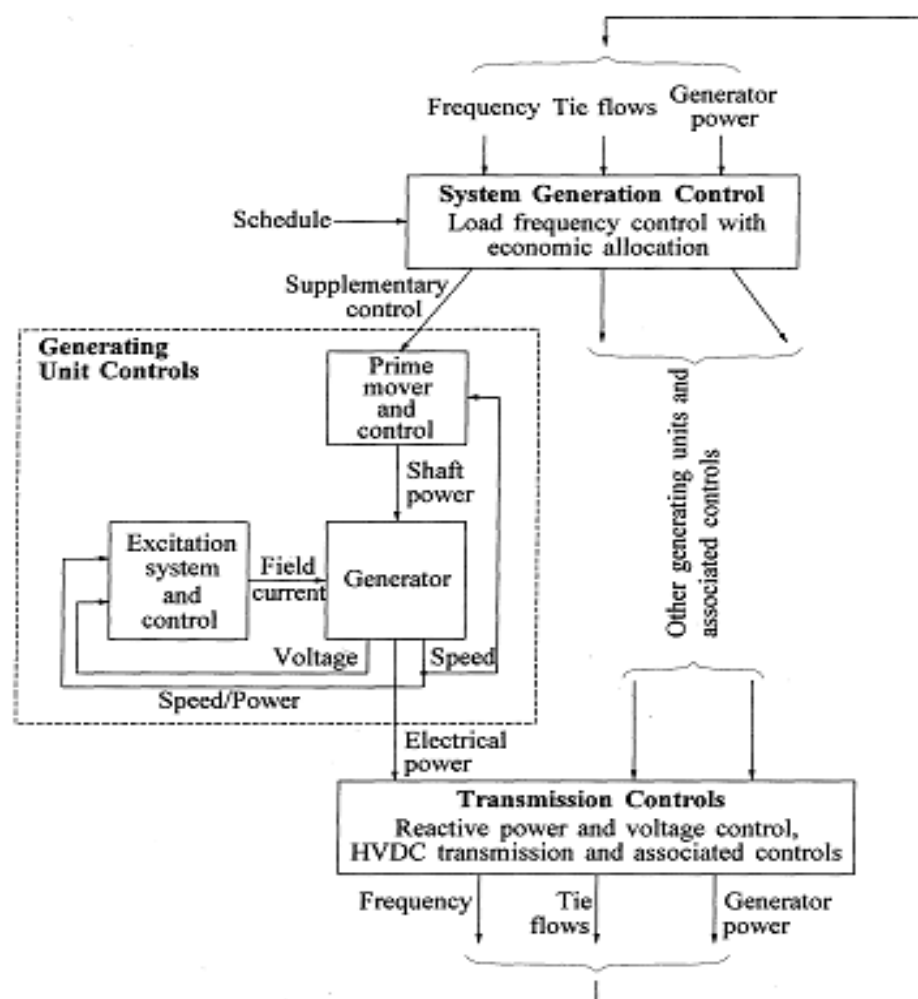


Figure 1.2 Subsystems of a power system and associated controls

حالات بهره برداری یک سیستم قدرت و روش های کنترل

به منظور بررسی قابلیت اطمینان سیستم قدرت و طراحی سیستم های کنترلی مناسب، حالات بهره برداری سیستم را می توان به پنج حالت عادی، هشدار، بحرانی، فوق بحرانی و بازیابی تقسیم کرد.

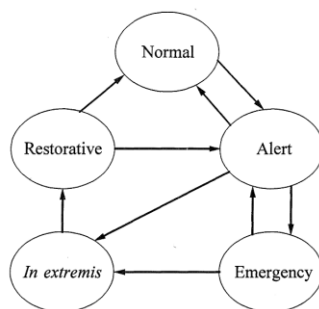


Figure 1.3 Power system operating states

1 - شرایط عادی، تمام متغیرهای سیستم در محدوده مجاز واقع شده اند و بر هیچ یک از تجهیزات، اضافه بار تحمیل نشده است. سیستم در حالتی مطمئن بهره برداری می شود. در این حالت سیستم در مقابل اغتشاش های کوچک، انحرافی از قیود نخواهد داشت.

2 - اگر قابلیت اطمینان از حد مشخص قابل قبولی کمتر شود، یا این که امکان بروز اغتشاش (نظیر شرایط بد آب و هوایی مانند طوفان های شدید) افزایش یابد، سیستم وارد مرحله هشدار می شود. در این مرحله، هم چنان متغیرهای سیستم در محدوده مجاز واقع شده اند و تمام قیود رعایت گردیده اند، با وجود این سیستم تا حدی تضعیف شده است که ممکن است، بروز اغتشاش باعث اضافه بار تجهیزات و در نتیجه وارد شدن سیستم به حالت بحرانی گردد. اگر اغتشاش بسیار شدید باشد، ممکن است سیستم، مستقیماً از وضعیت هشدار به مرحله بحرانی برسد.

در این حالت، برای بازیابی سیستم به وضع عادی، می توان از اعمالی از جمله جابجایی تولید و یا افزایش ظرفیت ذخیره سیستم به کار بست. اگر این اعمال موثر واقع نشود، سیستم هم چنان در حالت هشدار باقی خواهد ماند.

3 - اگر اغتشاش به اندازه کافی بزرگ باشد، سیستم وارد مرحله بحرانی می گردد. در این حالت، ولتاژ بسیاری از شین ها کم و یا بارگذاری تجهیزات از حد نامی اضطراری کوتاه مدت فرا تر رفته است. در این حالت هنوز سیستم حالت فعال خود را حفظ کرده است. در صورتی که بتوان با اعمال کنترلی لازم نظیر رفع خطا، کنترل سیستم تحریک، بازو بست سریع شیرهای بخار و دریچه های آب، تولیدزدایی، به کارگیری ظرفیت ذخیره، کمک گرفتن از خطوط فشار قوی جریان مستقیم و سرانجام بارزدایی به کمک آن شتافت، ممکن است که سیستم وارد مرحله هشدار منتقل شود ولی در صورتی که این اعمال اجرا نشود و یا آن که اجرای این اعمال موفقیت آمیز نباشد، سیستم وارد مرحله فوق بحرانی خواهد گردید، که نتیجه آن وقفه های متوالی و احتمالاً خاموشی بخش عمده ای از سیستم خواهد بود.

4 - در حالت فوق بحرانی ، سیستم وارد مرحله ای می شود که ممکن است باعث خروجی متوالی نیروگاه ها گردیده و در نتیجه ، می تواند باعث خاموشی بخش عمده ای از سیستم قدرت گردد.

5 - حالت بازیابی وضعی را نشان می دهد که در آن اعمال کنترلی به منظور وصل مجدد تجهیزات و بارها انجام می پذیرد و ممکن است سیستم، از این مرحله، بستگی به وضعیت به مرحله هشدار و یا عادی منتقل گردد. برای سیستمی که به آن اغتشاش وارد شده است و درجه قابلیت اطمینان آن کاهش یافته است، کنترل کننده های سیستم قدرت به اپراتور کمک می کنند تا سیستم را به وضع عادی بازگرداند. اگر اغتشاش کوچک باشد، کنترل کننده ها ممکن است خود قادر به انجام این کار باشند، در غیر این صورت ممکن است اعمالی نظیر جابجایی تولید یا کلید زنی اجزایی از سیستم ضروری باشد تا سیستم به وضع عادی بازگردد.

برای کنترل سیستم ، همه اطلاعات سیستم، به مراکز دیسپاچینگ هدایت می شوند. کنترل کننده های سیستم، خود به وسیله مرکز کنترل سیستم ائتلافی هماهنگ می شوند. سیستم های کسب اطلاعات و کنترل نظارتی (SCADA) (supervisory Control and Data Acquisition) اطلاعات مورد نیاز را برای نمایش وضعیت سیستم فراهم می آورد.

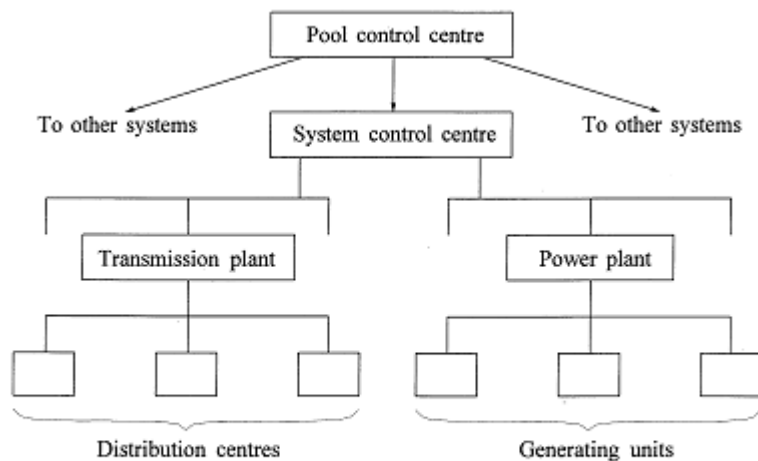


Figure 1.4 Power system control hierarchy

مقدمه ای بر پایداری سیستم های قدرت

پایداری سیستم قدرت را می توان به طور کلی به عنوان توانایی سیستم قدرت به قرار گرفتن در یک حالت قابل قبول پس از اعمال اغتشاشات کوچک و بزرگ دانست.

با توجه به این که تولید در سیستم های قدرت بر اساس ماشین های سنکرون می باشد، شرط لازم برای عملکرد قابل قبول سیستم این است که همه ماشین ها در حالت سنکرون یا هماهنگ باقی بمانند. این جنبه پایداری تحت تاثیر دینامیک روابط زاویه روتور و توان حقیقی - زاویه ژنراتور می باشد و به پایداری زاویه ای معروف است. هم چنین گاهی ممکن است سیستم بدون این که سنکرونیزم خود را از دست بدهد ولی در اثر فروپاشی ولتاژ بار، ناپایدار شود که به آن ناپایداری ولتاژ گویند و در مقابل تعریف پایداری ولتاژ:

" پایداری ولتاژ عبارت است از توانایی حفظ سیستم قدرت، برای حفظ ولتاژ ماندگار قابل قبول در تمامی شین های سیستم، در شرایط عادی عملکرد و بعد از این که تحت یک اغتشاش قرار گرفت "

اغتشاشات کوچک: از تغییرات متداول بار می توان به عنوان اغتشاشات کوچک یاد کرد. اغتشاشات بزرگ: اتصال کوتاه یک خط انتقال، از دست رفتن یک ژنراتور یا بار بزرگ و یا از دست دادن خط ارتباطی بین دو زیر سیستم.

پایداری را می توان از نظر زمانی به پایداری کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت تقسیم بندی کرد.

کوتاه مدت یا گذرا: صفر تا 10 ثانیه

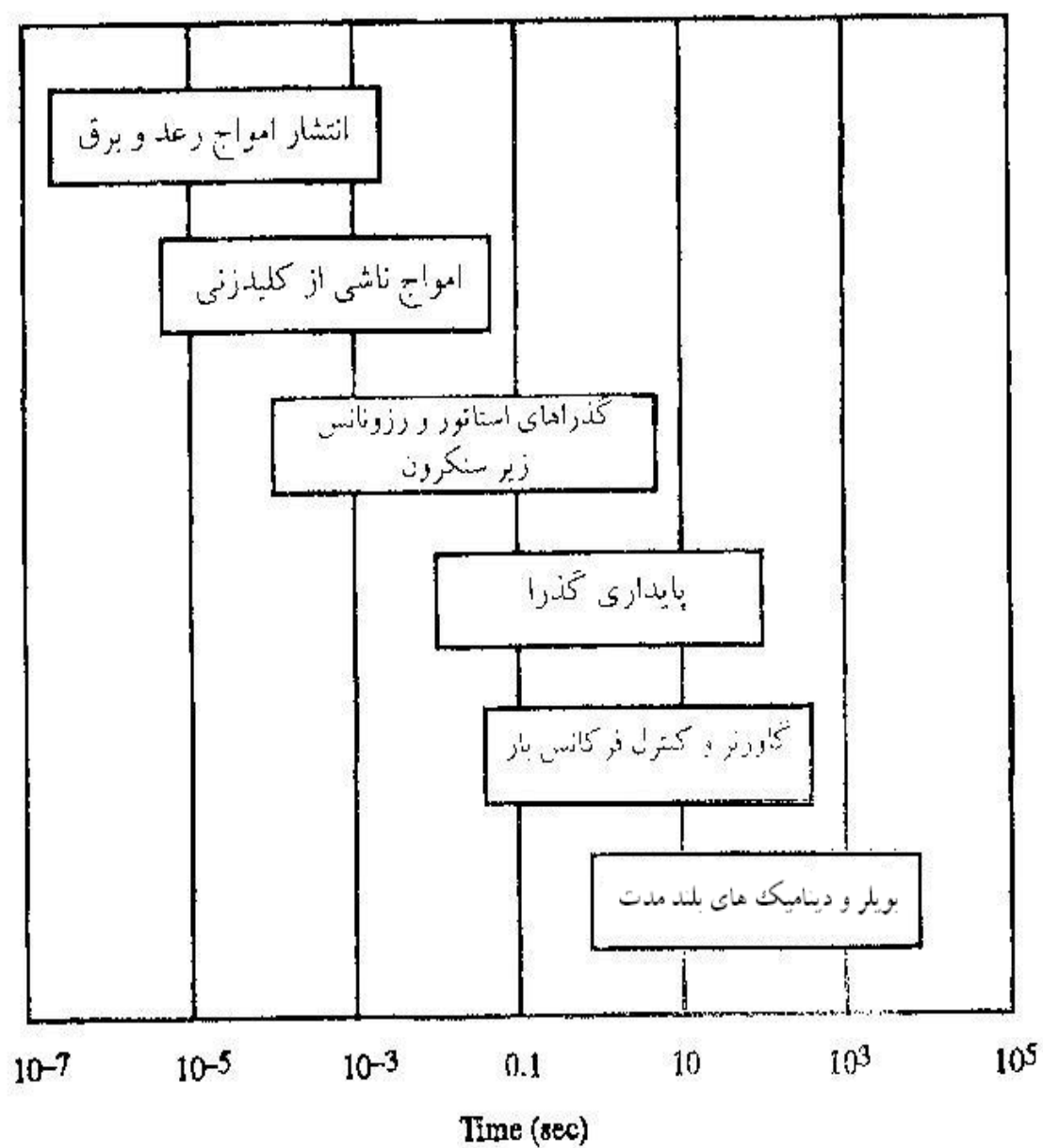
میان مدت: 10 ثانیه تا چند دقیقه

بلند مدت: چندین دقیقه تا چندین ده دقیقه

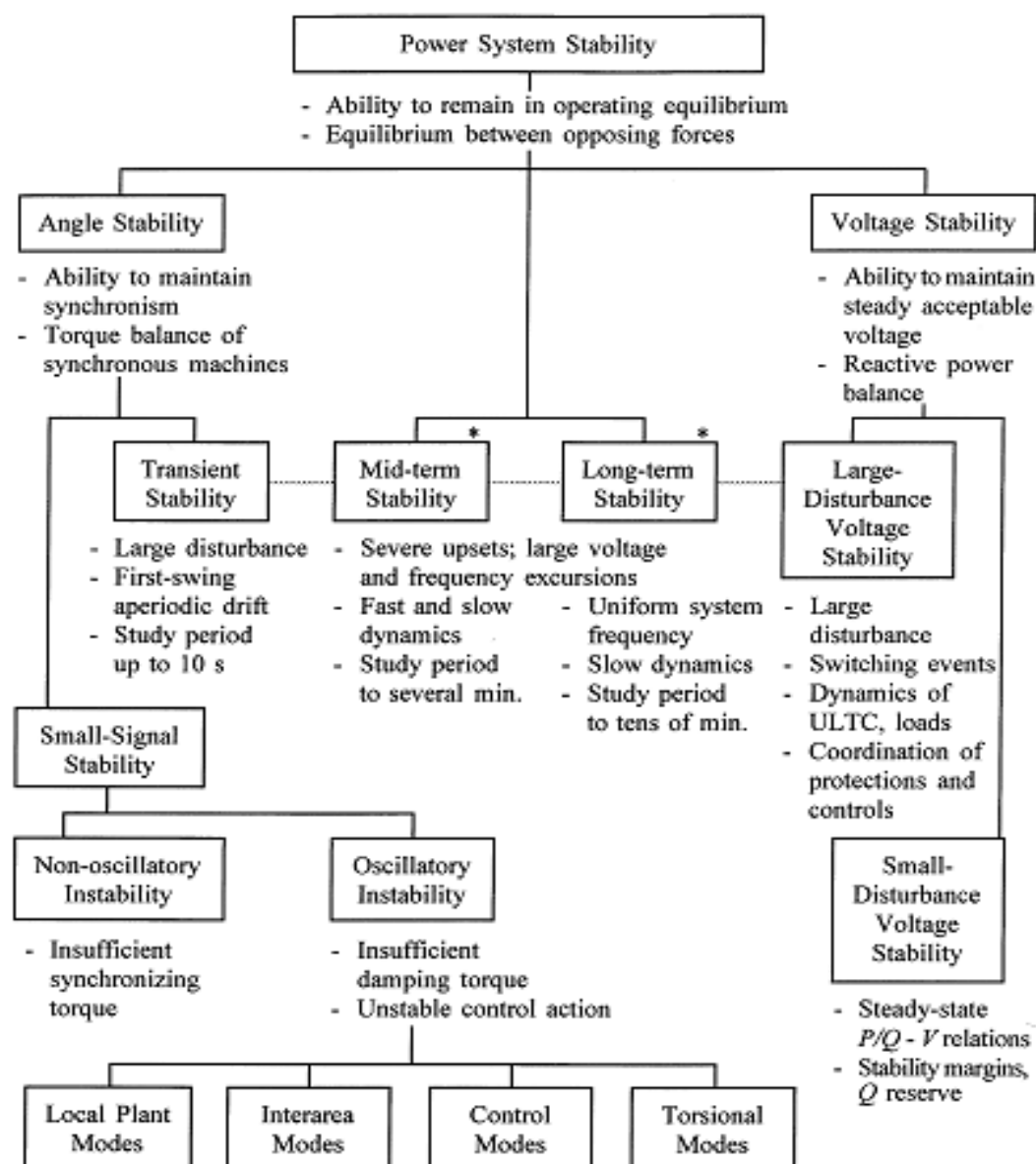
ضمناً عملکرد تجهیزاتی از قبیل کنترل کننده ها و سیستم های حفاظتی در محدوده چند ثانیه

عملکرد تجهیزاتی از قبیل تامین انرژی چرخاننده ها و تنظیم کننده های بار-ولتاژ در محدوده چند دقیقه

پدیده های کندتر و بلند مدت تر هم چون عکس العمل دینامیکی دیگ های بخار واحدهای حرارتی، عکس العمل دینامیکی آب گذر و کانال آب واحدهای آبی، کنترل خودکار تولید، کنترل کننده ها و سیستم های حفاظتی نیروگاه ها و سیستم انتقال، اشباع در ترانسفورماتور و تاثیرات فرکانس غیر اسمی بر بار و شبکه است.



شکل گستره زمانی پدیده های دینامیکی



- * With availability of improved analytical techniques providing unified approach for analysis of fast and slow dynamics, distinction between mid-term and long-term stability has become less significant.

Figure 2.9 Classification of power system stability

پایداری زاویه ای روتور

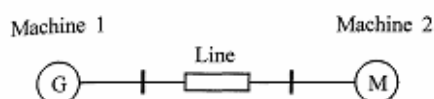
پایداری زاویه ای روتور، توانایی ماشین های به هم پیوسته سنکرون یک سیستم قدرت است که در حالت سنکرون با یکدیگر باقی بمانند. مساله پایداری در این حالت شامل مطالعه نوسان های الکترومکانیکی است که به طور ذاتی در سیستم های قدرت وجود دارد. عامل مهم در این مساله، نحوه رفتار توان های خروجی ماشین های سنکرون است در مقابل نوسان های روتور آن هاست.

ژنراتورهای الکتریکی سیستم قدرت معمولاً از ژنراتورهای سنکرون می باشند که معمولاً در یک سرعت ثابت متناسب با فرکانس شبکه می چرخند. این ژنراتورها از دو جزء تحریک و آرمیچر تشکیل می شوند. جزء تحریک بر روی روتور قرار می گیرد که توسط توربین به حرکت در می آید. تحریک توسط یک جریان مستقیم تغذیه می گردد و به این ترتیب میدان مغناطیسی روتور که با سرعت سنکرون می چرخد در فضای میان استاتور و روتور بوجود می آید. ناشی از دوران میدان مغناطیسی روتور، ولتاژهای سه فاز در سیم پیچ های سه فاز استاتور بوجود می آید. هنگامی که این ژنراتور به شبکه وصل می گردد، جریان های خروجی استاتور بوجود خواهد آمد و ناشی از آن میدان مغناطیسی استاتور بوجود می آید. ناشی از تداخل میان میدان های استاتور و روتور، یک گشتاور الکتریکی بوجود می آید که با گشتاور مکانیکی که باعث دوران روتور می گردد، مخالفت می کند. بر اساس این که بار الکتریکی ژنراتور، چیست، زاویه میان میدان مغناطیسی استاتور و روتور تولید می گردد.

در فصل بعد که مدل ماشین های سنکرون توضیح داده می شود، به تفصیل در مورد مدل های مختلف صحبت خواهیم کرد.

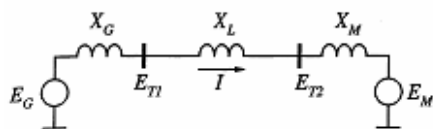
رابطه توان-زاویه

در حالت ماندگار توان انتقال یافته میان این دو ماشین الکتریکی که یکی به عنوان ژنراتور و دیگری به عنوان موتور عمل می کند به راکتانس موثر میان این ماشین های الکتریکی بستگی دارد که این راکتانس، شامل راکتانس ژنراتور، موتور و خط انتقال می باشد.



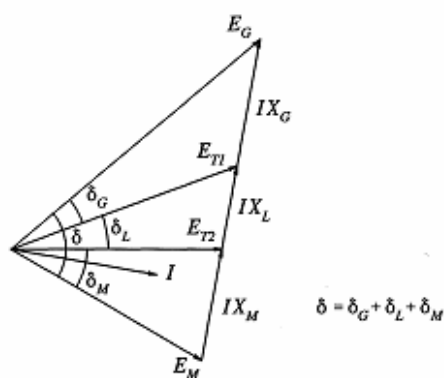
(a) Single-line diagram

$$P = \frac{E_G E_M}{X_T} \sin \delta$$



(b) Idealized model

$$X_T = X_G + X_L + X_M$$



(c) Phasor diagram

$$\delta = \delta_G + \delta_L + \delta_M$$



(d) Power-angle curve

Figure 2.1 Power transfer characteristic of a two-machine system

پدیده پایداری

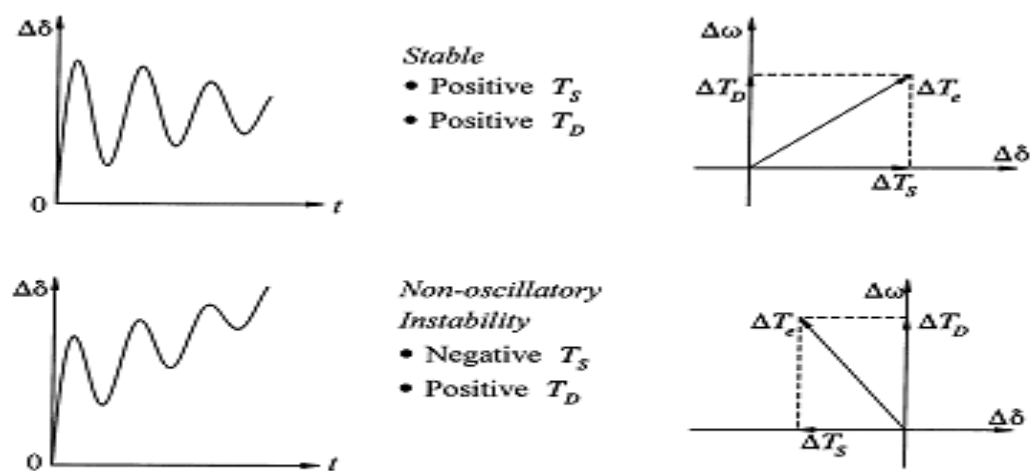
پایداری زاویه ای سیستم های قدرت، در حقیقت حفظ سنکرونیزم ماشین های سنکرون می باشد. در حالت ماندگار، تعادل میان گشتاورهای مکانیکی ورودی و گشتاور الکتریکی خروجی، وجود دارد و سرعت ثابت باقی می ماند. اگر سیستم دستخوش تغییرات گردد، این تعادل از بین می رود و در نتیجه روتور ماشین ها بر اساس قوانین حرکت اجسام دوار، شتاب مثبت یا منفی پیدا می کند. اگر به طور موقت، ژنراتوری نسبت به دیگری سریع تر بچرخد، موقعیت زاویه ای روتور آن ماشین نسبت به ماشین کندتر، جلوتر قرار می گیرد. بسته به رابطه توان - زاویه، اختلاف زاویه بین روتور دو ماشین باعث می شود تا بخشی از بار ماشین کند به ماشین تند، منتقل شود، یا به عبارت دیگر در این حالت توان بیشتری از ماشین تند به ماشین کند منتقل می گردد، و در نتیجه، اختلاف سرعت و در نتیجه اختلاف زاویه روتورها کاهش می یابد. همان طور که مشخص شده رابطه توان - زاویه یک رابطه غیرخطی است. بالاتر از حد مشخصی، افزایش در اختلاف زاویه، باعث کاهش در توان مبادله شده می شود. این موضوع سبب می شود که اختلاف زاویه باز هم بیشتر شود و منجر به ناپایداری می گردد. از دست رفتن حالت سنکرونیزم، ممکن است بین یک ماشین و بقیه سیستم یا بین گروهی از ماشین ها اتفاق افتد. در حالت دوم، ممکن است بعد از جدایی گروه ها از یکدیگر، حالت سنکرونیزم بین ماشین های هر گروه را حفظ کرد.

در سیستم های قدرت، می توان با بروز اغتشاش، تغییرات گشتاور الکتریکی یک ماشین سنکرون را به دو مولفه تجزیه کرد:

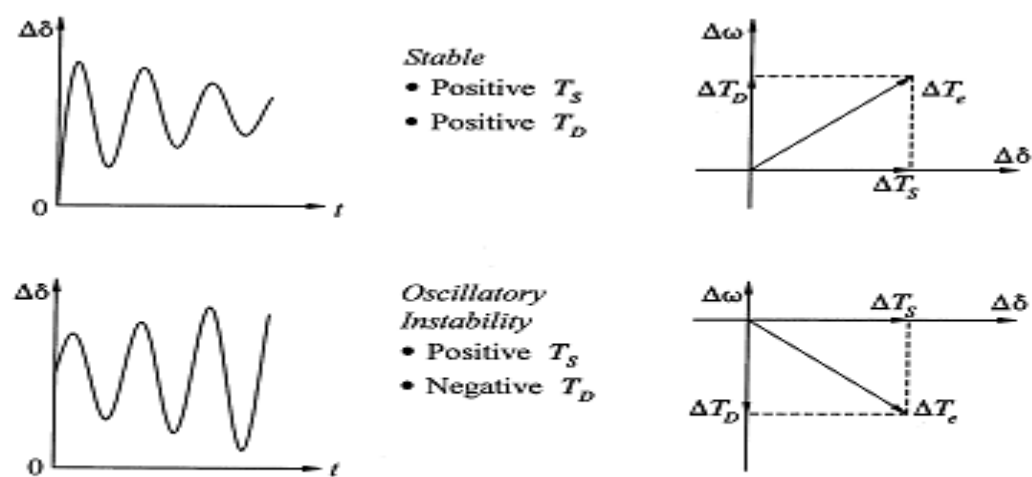
$$\Delta T_e = T_s \Delta \delta + T_D \Delta \omega$$

مولفه اول، مولفه ای از تغییرات گشتاور است که با تغییرات زاویه روتور هم فاز است. و از آن به نام مولفه گشتاور سنکرون کننده یاد می شود. T_s ضریب گشتاور سنکرون کننده است. مولفه دوم در تغییرات گشتاور الکتریکی، مولفه ای از تغییرات گشتاور است که با تغییرات سرعت، هم فاز است و از آن به نام گشتاور میرا کننده یاد می شود. T_D ضریب گشتاور میرا کننده است.

پایداری سیستم بستگی به وجود هر دو مولفه گشتاور برای هر ماشین سنکرون دارد. کمبود گشتاور سنکرون کننده، منجر به ناپایداری از طریق رانش غیر نوسانی زاویه روتور می شود. از طرف دیگر، کمبود گشتاور میرا کننده، هم منجر به ناپایداری نوسانی می شود.



(a) With constant field voltage



(b) With excitation control

Figure 2.2 Nature of small-disturbance response

الف) پایداری اغتشاش کوچک یا سیگنال کوچک

توانایی سیستم را برای حفظ حالت سنکرونیزه در اثر اغتشاش های کوچک را نشان می دهد. این اغتشاش ها به علت تغییرات کوچک بار و تولید، دائما اتفاق می افتد. در غیاب تنظیم کننده های خودکار ولتاژ (AVR)، به علت کمبود گشتاور سنکرون کننده، ناپایداری غیر نوسانی اتفاق می افتد. و در صورتی که گشتاور میرا کننده به اندازه کافی نباشد، ناپایداری به صورت نوسانی اتفاق می افتد.

در پایداری سیگنال کوچک، مد های زیر قابل توجه است. مدهای محلی: مربوط به نوسان های واحدهای یک نیروگاه نسبت به بقیه سیستم قدرت مدهای بین ناحیه ای: مربوط به نوسان های تعدادی ماشین سنکرون در یک بخش نسبت به ماشین های سنکرون سایر بخش ها مدهای کنترلی: مربوط به کنترل گر های نیروگاه (سیستم تحریک، گاورنر و جبرانگرهای استاتیکی توان راکتیو و ...)

مدهای پیچشی: مربوط به اجزای چرخان روی محور توربین-ژنراتور است.

پایداری گذرا

توانایی سیستم را به منظور حفظ حالت سنکرونیزه در اثر یروز یک اغتشاش شدید گذرا نشان می دهد. این اغتشاش می تواند شامل اتصال کوتاه فاز به زمین، فاز به فاز به زمین و سه فاز و یا وصل یا قطع بارهای بسیار بزرگ باشد. عکس العمل سیستم، شامل تغییرات بزرگ زاویه روتور ژنراتور است و از رابطه غیر خطی توان-زاویه تاثیر می پذیرد. پایداری، هم به نقطه کار اولیه سیستم و هم به شدت اغتشاش بستگی دارد. معمولا در این حالت، سیستم دست خوش تغییر می شود به گونه ای که نقطه کار حالت ماندگار بعد از اغتشاش با نقطه کار قبل از اغتشاش متفاوت است.

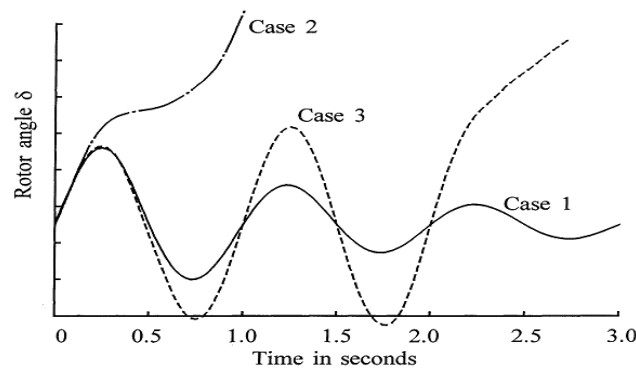


Figure 2.3 Rotor angle response to a transient disturbance

حالت یک: نوسان ها میرا شده است

حالت دو: زاویه روتور روتور به طور پیوسته و یکنوا افزایش می یابد تا این که حالت سنکرون از دست برود.
حالت سوم: سیستم ابتدا در اولین نوسان، پایدار است اما با افزایش دامنه نوسان ها، تدریجاً ناپایدار می شود. این شکل ناپایداری عموماً زمانی اتفاق می افتد که شرایط حالت ماندگار سیستم بعد از خطا، خود از دیدگاه سیگنال کوچک، ناپایدار است و لزوماً به علت اغتشاش گذرا اتفاق نمی افتد.
در مطالعات پایداری گذرا، زمان مطالعه معمولاً محدود به 3 تا 5 ثانیه بعد از اغتشاش می شود. هر چند که ممکن است برای سیستم های بسیار بزرگ با مدهای نوسانی بین ناحیه ای غالب، این مدت به 10 ثانیه هم برسد.

پایداری ولتاژ و فروپاشی ولتاژ

پایداری ولتاژ عبارت است از توانایی سیستم قدرت برای حفظ ولتاژ ماندگار قابل قبول در تمام شین های سیستم در شرایط عادی عملکرد و بعد از این که تحت یک اغتشاش قرار گرفت. دلیل اصلی ناپایداری، عدم توانایی سیستم قدرت در تامین توان راکتیو مورد تقاضاست. اصل مساله معمولاً افت ولتاژی است که به هنگام عبور توان حقیقی و توان راکتیو از راکتانس های خطوط انتقال ایجاد می گردد.

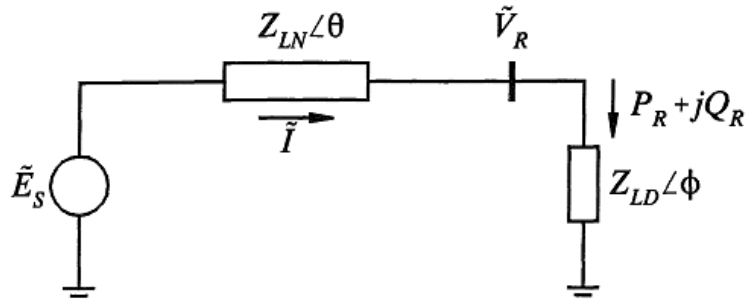


Figure 2.4 A simple radial system for illustration of voltage stability phenomenon

$$\tilde{I} = \frac{\tilde{E}_S}{\tilde{Z}_{LN} + \tilde{Z}_{LD}} \quad \tilde{Z}_{LN} = Z_{LN} \angle \theta, \quad \tilde{Z}_{LD} = Z_{LD} \angle \phi$$

$$I = \frac{E_S}{\sqrt{(Z_{LN} \cos \theta + Z_{LD} \cos \phi)^2 + (Z_{LN} \sin \theta + Z_{LD} \sin \phi)^2}}$$

$$I = \frac{1}{\sqrt{F}} \frac{E_S}{Z_{LN}} \quad F = 1 + \left(\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}} \right)^2 + 2 \left(\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}} \right) \cos(\theta - \phi)$$

$$V_R = Z_{LD} I = \frac{1}{\sqrt{F}} \frac{Z_{LD}}{Z_{LN}} E_S \quad P_R = V_R I \cos \phi = \frac{Z_{LD}}{F} \left(\frac{E_S}{Z_{LN}} \right)^2 \cos \phi$$

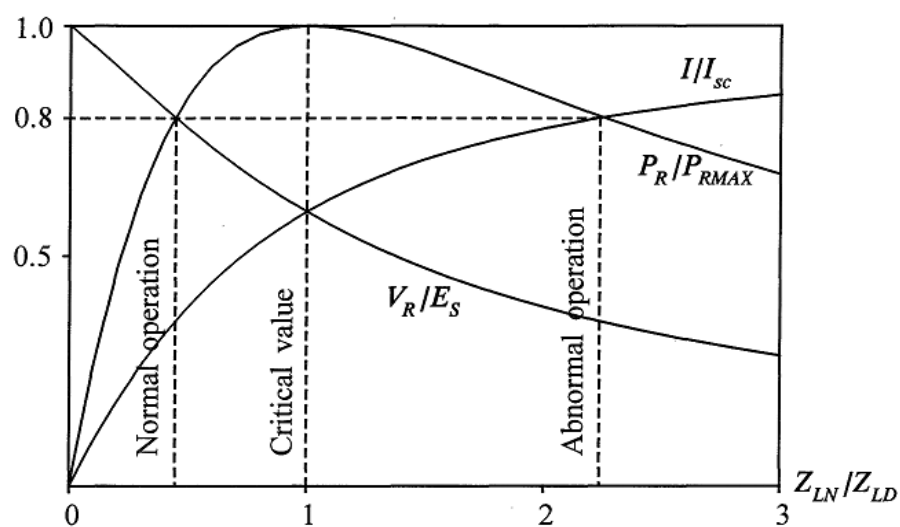


Figure 2.5 Receiving end voltage, current and power as a function of load demand for the system of Figure 2.4
 $(I_{sc} = E_S/Z_{LN}; \cos\phi = 0.95 \text{ lag}; \tan\theta = 10.0)$

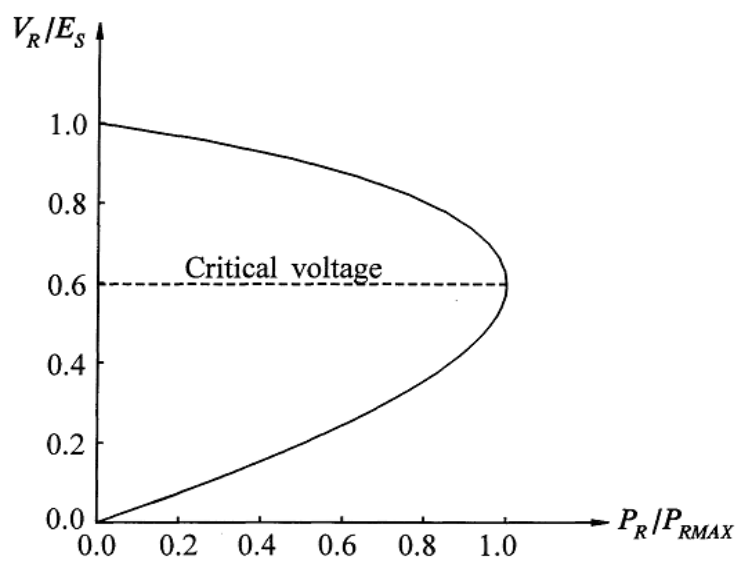


Figure 2.6 Power-voltage characteristics of the system of Figure 2.4
 $(\cos\phi = 0.95 \text{ lag}; \tan\theta = 10.0)$

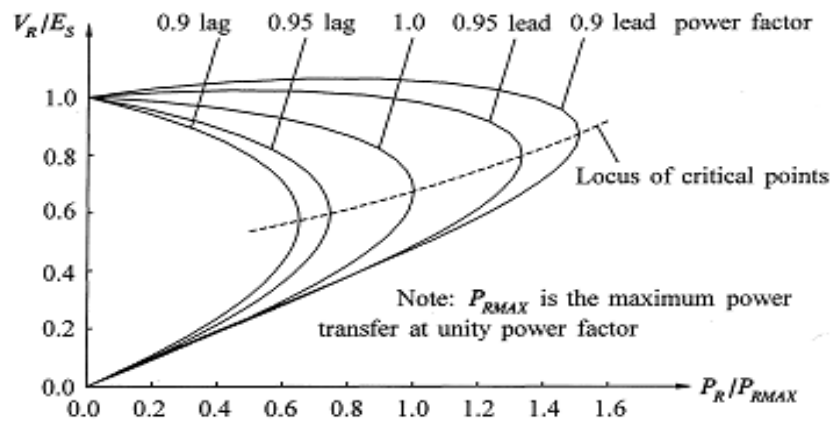


Figure 2.7 V_R - P_R characteristics of the system of Figure 2.4 with different load-power factors

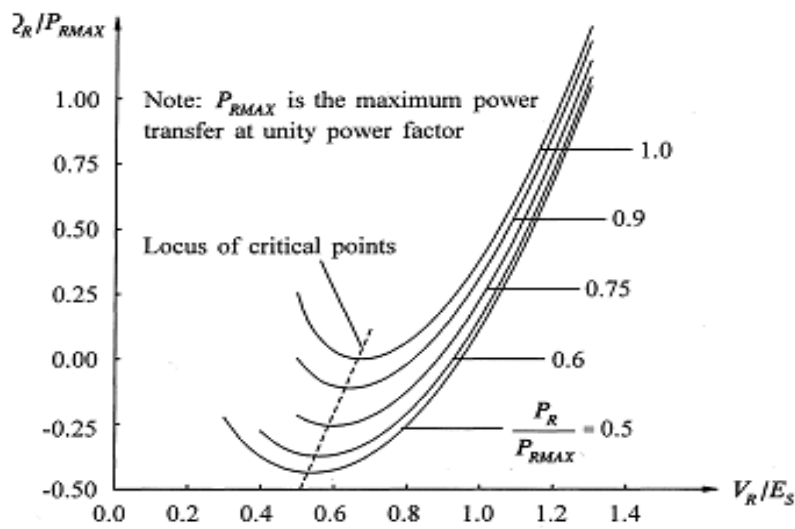


Figure 2.8 V_R - Q_R characteristics of the system of Figure 2.4 with different P_R/P_{RMAX} ratio

پایداری ولتاژ را می توان به دو نوع تقسیم بندی کرد:

الف) پایداری اغتشاش بزرگ ولتاژ

مربوط به توانایی سیستم در کنترل ولتاژ به دنبال وقوع اغتشاش های بزرگ از جمله خطاهای سیستم، از دست دادن تولید یا پیشامدهای خطوط است. این توانایی به وسیله مشخصه های بار سیستم و تاثیر متقابل سیستم های کنترلی و حفاظت پیوسته و گسسته مشخص می شود. تعیین پایداری اغتشاش بزرگ، مستلزم آن است که عملکرد غیر خطی دینامیکی سیستم در محدوده زمانی کافی که تاثیر متقابل تجهیزاتی از قبیل تغییر دهنده های تپ زیر بار (ULTC) و محدود کننده های جریان تحریک ژنراتور مشخص می شود، تعیین گردد. زمان مطالعه ممکن است از چند ثانیه تا چندین دقیقه طول بکشد.

ب) پایداری اغتشاش کوچک ولتاژ

مربوط به توانایی سیستم در کنترل ولتاژ به دنبال وقوع اغتشاش های کوچک، مثلاً تغییرات کوچک در بار سیستم است. این نوع پایداری به کمک مشخصه های بار، کنترل کننده های پیوسته و کنترل کننده های گسسته در یک لحظه زمانی مشخص، تعیین می گردد. این مفهوم مشخص می کند که در هر زمان سیستم چگونه در مقابل اغتشاش های کوچک، عکس العمل نشان می دهد.

فرآیندهای اصلی که به پایداری اغتشاش کوچک ولتاژ کمک می کنند اساساً دارای طبیعت حالت ماندگار هستند. از این رو می توان به طور موثر از بررسی استاتیکی برای تعیین حاشیه پایداری (stability Margin)، عوامل موثر بر پایداری و مطالعه تاثیر وسیعی از وضعیت های سیستم و تعداد زیادی سناریو که به دنبال پیشامدها و اغتشاشات رخ می دهد، استفاده کرد.

معیاری جهت پایداری اغتشاش کوچک ولتاژ آن است که در یک حالت کاری مشخص، دامنه ولتاژ هر سیستم، زمانی که توان راکتیو تزریقی به آن شین افزایش می یابد، زیاد شود. سیستم از نظر ولتاژ، ناپایدار است، اگر حداقل در یک شین سیستم، دامنه ولتاژ V ، زمانی که توان راکتیو تزریقی Q به آن افزایش یابد، کم شود. به عبارت دیگر، سیستم از نظر ولتاژ، پایدار است اگر حساسیت $V-Q$ برای هر شین، مثبت و ناپایدار است اگر حساسیت $V-Q$ برای هر شین، منفی باشد.

ناپایداری ولتاژ همیشه به شکل خالص اتفاق نمی افتد. اغلب، ناپایداری ولتاژ و زاویه ای با یکدیگر تداخل می کنند.