تحلیل سیستم های انرژی الکتریکی ۱

فصل اول و دوم

بهروز آدینه

زمستان ۹۴

۱ مقدمه .....

۲ سیستم قدرت.....

۱.۲ تولید انرژی الکتریکی .....

۱.۱.۲ نیروگاه آبی .....

۲.۱.۲ نیروگاه حرارتی .....

۱.۲.۱.۲ منابع حرارتی برای تبدیل آب به بخار.

۳.۱.۲ نیروگاه های گازی.....

٤.۱.۲ نیروگاه تلمبه ای ذخیره ای.....

٥.۱.۲ نیروگاه خورشیدی.....

٦.۱.۲ نیروگاه بادی .....

۷.۱.۲ نیروگاه اتمی یا هسته ای .....

۲.۲ انتقال و فوق توزیع .....

۳.۲ توزیع.....

٤.۲ بار

۱ مقدمه

اولین شبکه برق ایالات متحده در سال ۱۸۸۲ در نیروگاه پرل استریت (سیستم توزیع شبکه بـرق[۵]) در شهر نیویورک توسط توماس ادیسون تاسیس گردید. این نیروگاه برای روشنایی منطقـه جنـوبی منهـتن، قدرت dc تحویل می‌داد. این قدرت توسط ژنراتورهای dc تولید و بوسیله کابل‌هـای زیرزمینـی توزیـع می‌گردید. در همان سال اولین ژنراتور آبی در اپلتون،ویسکانسین نصب شد. در طی چند سال شـرکت-های زیادی تاسیس گردیدند که همگی تحت امتیاز ادیسون، برای روشنایی انرژی تولید مـی‌کردنـد. بـه دلیل تلفات بیش از حد RI^2 در ولتاژ پایین، شرکت‌های ادیسون می‌توانستند فقط در فاصله کوتـاهی از نیروگاه‌های خود انرژی را تحویل دهند[۱].

با اختراع ترانسفورماتور (ویلیام استانلی–۱۸۸۵) برای افزایش سطح ولتاژ ac در انتقال و توزیع و ابداع موتور القایی (نیکلا تسلا–۱۸۸۸) برای جایگزینی موتورهای dc، مزایای سیستم ac مشخص شد و موجب گستردگی هرچه بیشتر سیستم ac گردید. مزیت دیگر سیستم ac این است که به دلیل عدم وجود کموتاتورها در ژنراتورهای ac می‌توان قدرت بیشتری را در ولتاژ بالاتر به آسانی بدست آورد[۱].

در آغاز، شرکت‌های برق آمریکایی در فرکانس‌های متفاوتی کار می‌کردند که هر یک از آنها فرکانسی از ۲۵Hz تا ۱۳۳ Hz داشت. اما همانگونه که نیاز به اتصال شبکه به شرکت‌های دیگر و عملکرد موازی آشکار می‌گشت، در سرتاسر ایالات متحده و کانادا فرکانس استاندارد ۶۰Hz اختیار گردید. اکثر کشورهای اروپایی سیستم ۵۰Hz را انتخاب کردند. از آن زمان به طور دائمی و مستمر ولتاژ انتقال افزایش یافته است و در ایالات متحده برای اولین بار در سال ۱۹۶۹ ولتاژ فوق فشار قوی (EHV[۱]) ۷۶۵kV به صورت تجاری مورد بهره‌برداری قرار گرفت[۱].

در یک سیستم بهم‌پیوسته به ژنراتورهای کمتری به عنوان ذخیره اوج[۲] و ذخیره چرخان[۳] نیاز خواهد بود. همچنین، بهم‌پیوستگی شبکه موجب اقتصادی‌تر شدن تولید و انتقال انرژی شده و قابلیت اطمینان را نیز افزایش می‌دهد، چون می‌توان به آسانی قدرت را از یک منطقه به مناطق دیگر انتقال داد. گاهی اوقات، برای شرکت‌های برق ارزان‌تر است که به جای تولید بوسیله نیروگاه‌های قدیمی خود، برق را به صورت عمده از شرکت‌های مجاور خریداری کنند[۱].

سیستم‌های قدرت را در حالت دائم در نظر می‌گیریم. در اینجا ولتاژ و جریان ac است و سیستم قدرت سه فاز است. انتقال سه فاز است. البته به مصرف‌کننده که می‌رسد می‌تواند سه فاز یا تک فاز باشد[۲].

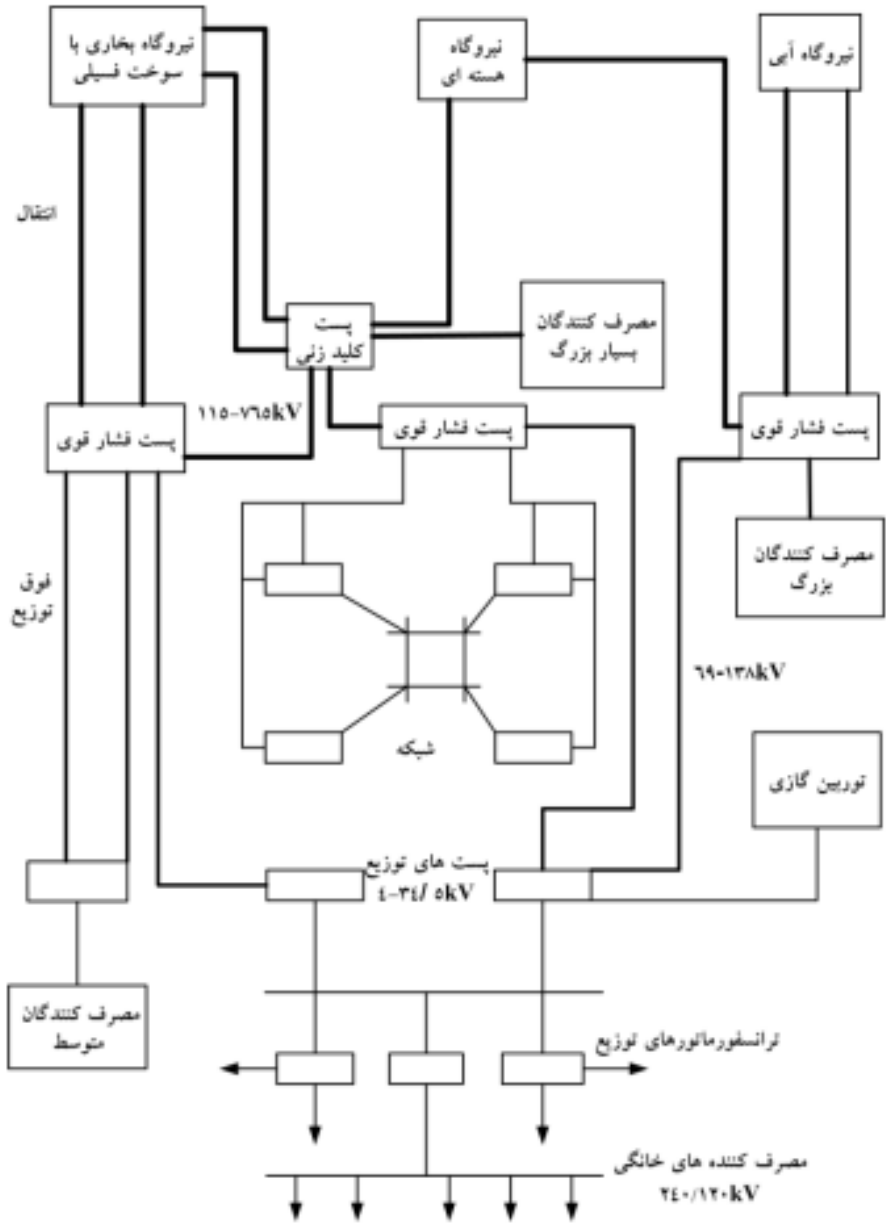
۲ سیستم قدرت

سیستم قدرت امروزی، شبکه‌ای است بهم‌پیوسته و پیچیده که در شکل ۱.۲ نشان داده شده است.

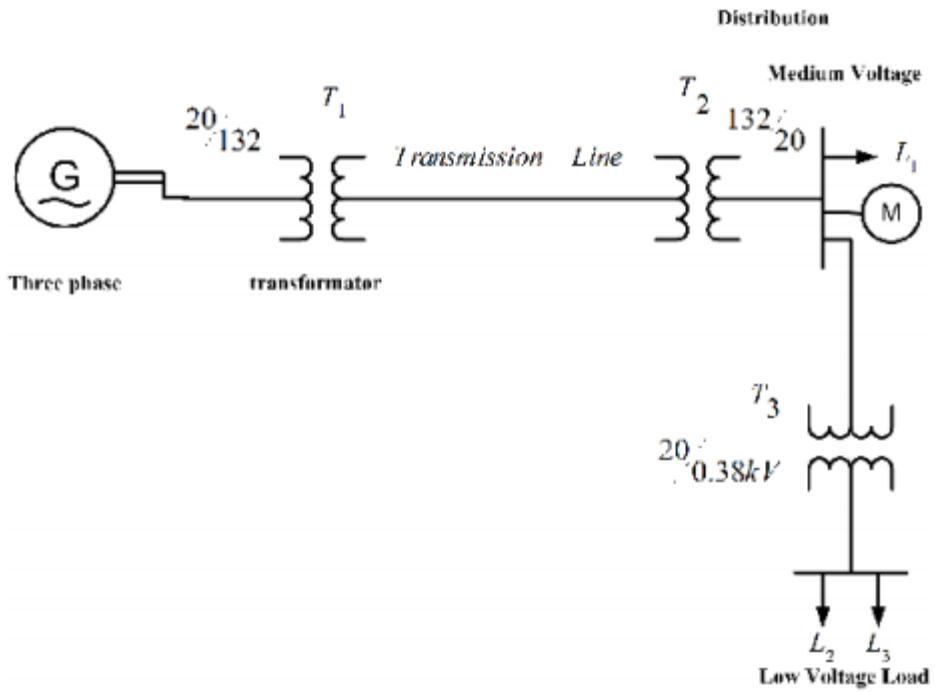
سیستم قدرت را می‌توان به چهار بخش اصلی تقسیم نمود[۱]:

- تولید[۱]
- انتقال و فوق توزیع (زیرانتقال)[۲]
- توزیع[۳]
- بار[۴]

۱) تعریف سیستم قدرت الکتریکی: مجموعه ابزاری که برق را تولید می‌کند، انتقال می‌دهد و به مصرف‌کننده می‌رساند. تمام اشکال سه فاز هستند و تنها با یک خط نمایش داده می‌شوند[۲].



شکل ۱.۲ سیستم قدرت.



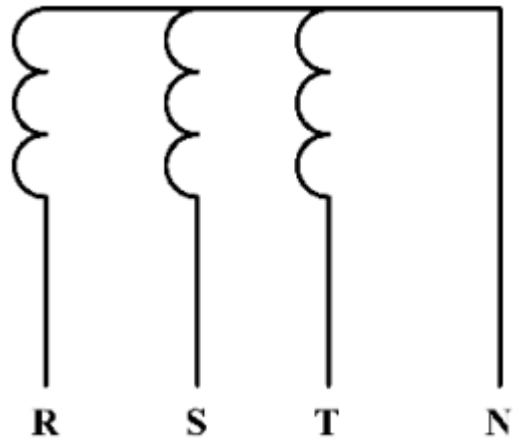
شکل ۲.۲ دیاگرام تک خطی.

مثال) یک سیستم قدرت ساده عبارتست از:

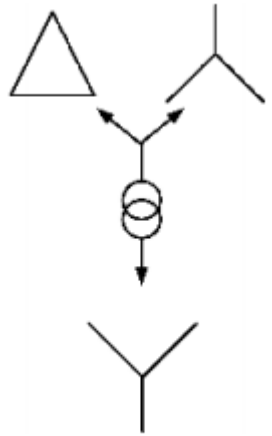
ولتاژی که ژنراتور تولید می‌کند بین ۲۰-۲٤kV بین دو فاز (خطی، نه بین فاز و نول) تولید می‌کند.

T_1 ولتاژ را افزایش می‌دهد، بعد در سیستم انتقال T_2 و T_3 ولتاژ را کاهش می‌دهند.

در ترانس T_3 اولیه فرقی نمی‌کند که ستاره یا مثلث باشد ولی ثانویه آن حتما باید ستاره باشد.



شکل ٤.۲ ترانس T_3.



شکل ۳.۲ ترانس T_3.

اگر از قسمت ۲۰kV به مصرف‌کننده برسانیم. فشار متوسط و از ۳۸۰ ولتاژ برسانیم فشار ضعیف گفته می‌شود.

سوال: چرا ابتدا ولتاژ را بالا می‌برند و در مقصد ولتاژ را پایین می‌آورند؟

۱) در توان ژنراتور اگر ولتاژ را بالا ببریم، جریان کم می‌شود بنابراین تلفات کم می‌شود. (برای کاهش تلفات)

۲) افت ولتاژ کمتر می‌شود (به دلیل خاصیت سلفی در مسیر انتقال)

۳) وقتی ولتاژ را افزایش می‌دهیم توان انتقالی از خط افزایش می‌یابد و مجذوری هم افزایش می‌یابد.

به این سه دلیل خطوط انتقال ولتاژ بالا طراحی می‌کنند.

طراحی ژنراتوری با ولتاژ بالا اقتصادی نیست. چون این کار را با ترانس به راحتی می‌توان انجام داد.

بنابراین سیستم فوق را به صورت زیر می‌توان تقسیم‌بندی نمود.

۱) تولید-نیروگاه: ۲۰-۲٤kV

۲) انتقال: HV,EHV[۱],UHV[۲] (٤۰۰-۳۲۰-۱۳۲) خطوط هوایی

۳) زیر انتقال-فوق توزیع: ٦۳kV

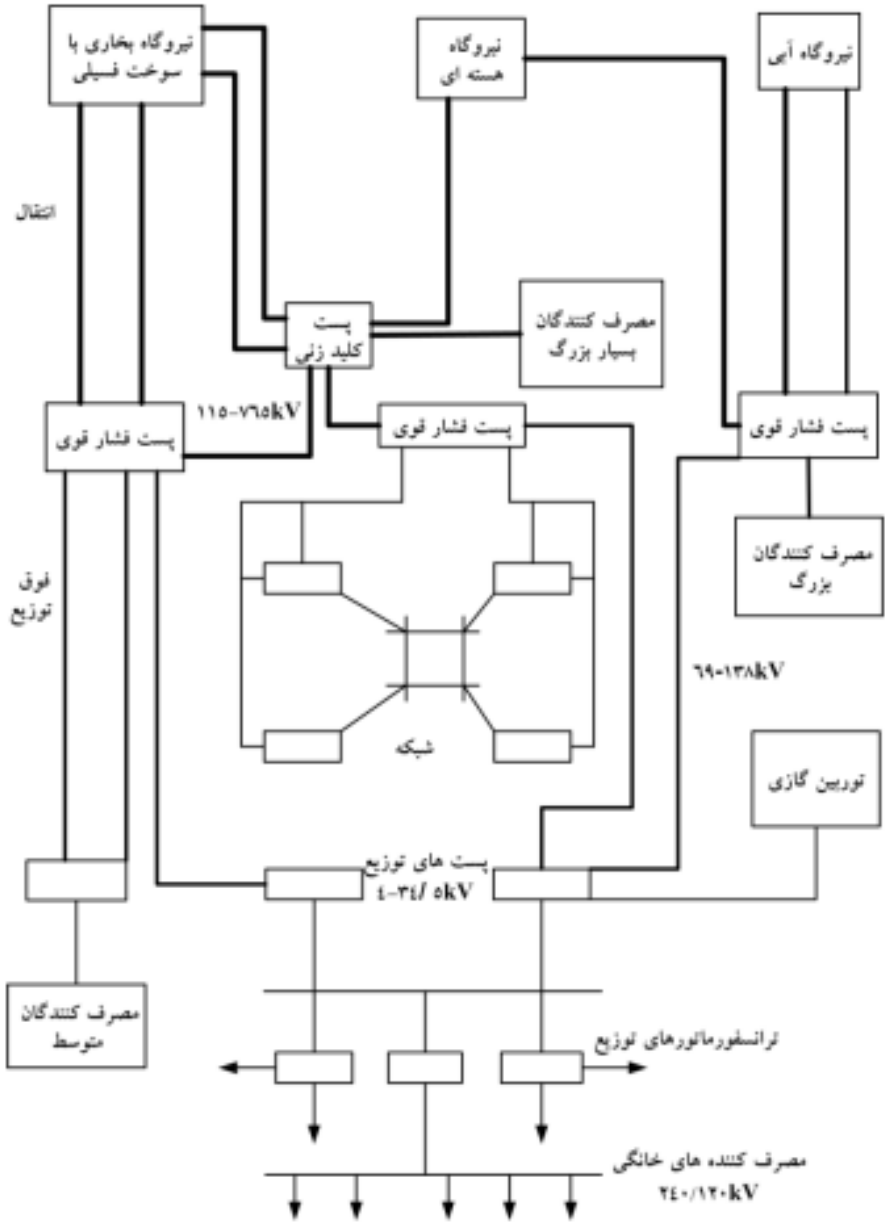
٤) ۱- فشار متوسط: ۲۰kV-کابل ۲- فشار ضعیف: ۰.۲۲kV -۰.۳۸kV

۵) مصرف‌کننده

منظور از تحلیل سیستم‌های قدرت بدست آوردن یک سری کمیات است مثل: ولتاژ، جریان، تلفات، توان و ....

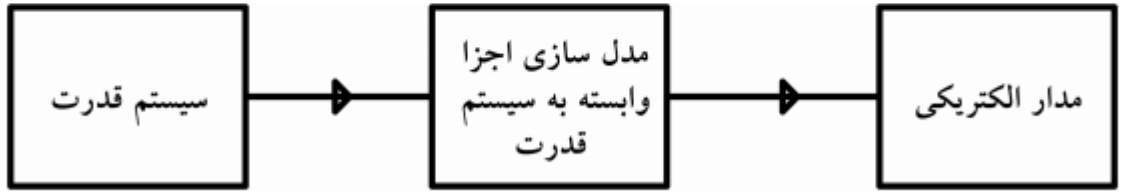
هدف از بررسی سیستم‌های قدرت: بدست آوردن اطلاع از وضعیت شبکه یعنی بدست آوردن ولتاژ، جریان و ... تا ببینیم سیستم در شرایط نرمال کاری خود هست یا نه. یعنی خطوط اضافه بار نشده و ...

برای رسیدن به این هدف باید کمیت‌های الکتریکی را محاسبه کنیم که مهمترین آنها ولتاژ در باس‌ها و جریان در خطوط هستند.



شکل ۱.۲ سیستم قدرت.

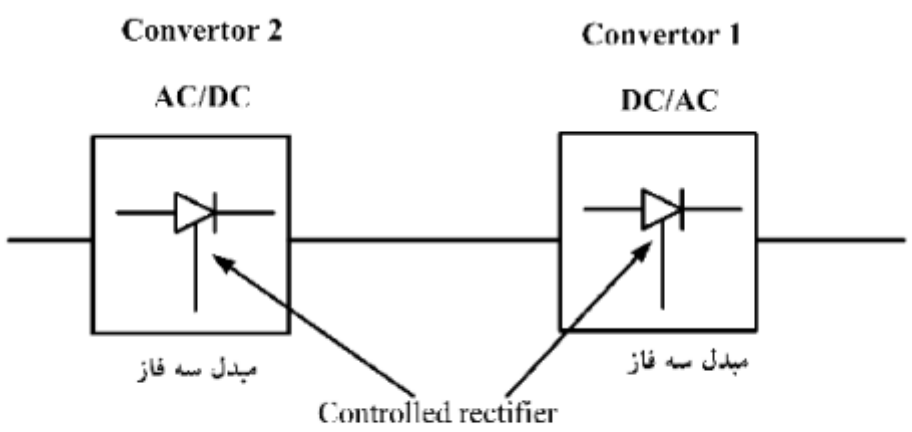
نحوه محاسبه کمیت‌ها: برای محاسبه کمیت‌ها با توجه به دیاگرام تک خطی و اطلاعاتی که در اختیار ما قرار داده‌اند سیستم‌های قدرت الکتریکی را به مدار الکتریکی تبدیل می‌کنیم. به دو روش مش و گره که در این درس بیشتر از روش گره استفاده می‌شود.



شکل ۵.۲ تحلیل سیستم قدرت.

اجزا اصلی سیستم قدرت:

- ژنراتور سنکرون
- ترانسفورماتور قدرت
- خطوط انتقال- توزیع
- بارهای مصرفی



شکل ٦.٢ سیستم HVDC.

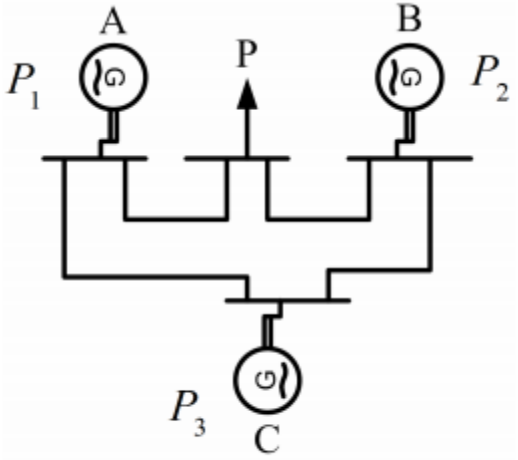
رشد سیستم قدرت:

- رشد شبکه‌ها یعنی زیاد شدن تعداد نیروگاه‌ها و مصرف‌کننده‌ها
- با بزرگتر شدن شبکه، سطوح ولتاژ هم بالا رفته است.

قبلا نیروگاه‌ها به هم ارتباطی نداشتند اما امروزه تمام نیروگاه‌های یک کشور و شبکه سراسری برق بهم متصل هستند. پس امروزه شبکه‌های بهم پیوسته (Interconnected System) بوجود آمده است.

مزایا:

افزایش قابلیت اطمینان[1] سیستم: یعنی مصرف‌کننده می‌تواند از چند مسیر تغذیه شود. پس اگر یک نیروگاه قطع شود از نیروگاه دیگر تغذیه می‌شود.



شکل ٧.٢ شبکه های بهم پیوسته.

هر نیروگاه غیر از تولید برق پایه باید مقداری هم رزرو برای لحظات پیک بار داشته باشد.

اگر نیروگاه‌ها بهم وصل باشند می‌توانند از هم کمک بگیرند و سطح رزرو پایین می‌آید. (امکان تبادل انرژی و کاهش رزرو)

تبادل انرژی بین مناطق مختلف کشور

همزمان با رشد سیستم‌های قدرت خطوط HVDC پیدا شد. برای فواصل کم یا برای ارتباط برق بین دو کشور که دارای فرکانس متفاوت هستند.

نیروگاه‌ها همه‌شان در مرحله انتقال هستند. یا به عبارتی دیگر یک رینگ HV وجود دارد که تمام نیروگاه‌ها به این وصل می‌شوند.

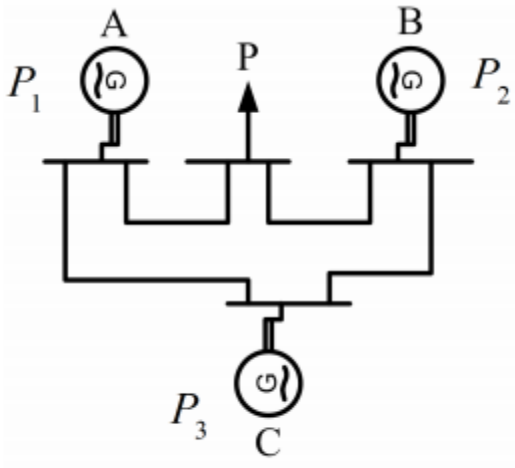
امروزه نیروگاه‌های کوچک پراکنده به وجود آمده‌اند. (تولید پراکنده[1])

نیروگاه‌هایی که کوچک‌اند و در محل توزیع نصب می‌شوند پس دیگر تلفات انتقال را ندارند.

نکته: کارخانجات توان راکتیو را از بارهای خازنی تامین می‌کنند و توان اکتیو خود را از نیروگاه‌ها تامین می‌کنند.

در سیستم قدرت جریان متناوب و فرکانس ۵۰Hz است.

در شکل ۷.۲ اگر مشکلی برای هر یک از نیروگاه‌ها بوجود آید، سایر نیروگاه‌ها می‌توانند به طور موقت از خاموشی مصرف‌کننده‌های آن نیروگاه جلوگیری کنند.



شکل ۷.۲ شبکه های بهم پیوسته.

۱.۲ تولید انرژی الکتریکی

تولید انرژی در نیروگاه‌ها توسط ژنراتور سنکرون سه فاز صورت می‌گیرد. هر نوع از این ژنراتورها با دو کمیت مشخص می شوند.

مثلا: 150 MVA – 24 KV

در ادامه توضیح مختصری در مورد انواع نیروگاه‌ها داده می‌شود.

۱.۱.۲ نیروگاه آبی[۱]

تحت تاثیر آب و هوا – تعیین‌کننده محل آن جغرافیا – آلودگی ایجاد نمی‌کنند– هزینه سوخت ندارند. نیروگاه‌های آبی سریع وارد مدار می‌شوند و زمان لازم ندارند . برخلاف نیروگاه‌های حرارتی که برای بخار کردن آب زمان لازم دارند. هزینه احداث بیشتری دارند و زمان بیشتری برای احداث نیاز دارند.

۲.۱.۲ نیروگاه حرارتی[۲]

وابسته به شرایط جغرافیایی نیستند و اگر سوخت آنها تامین شود به هر میزان می‌توانند تولید داشته باشند سوخت هزینه داشته و آلودگی محیط زیست ایجاد می‌کند. سوخت آنها فسیلی است و رو به اتمام است. دیرتر وارد مدار میشوند. ورود دوباره آنها به مدار همراه با هزینه است. سهم عمده ای در تولید برق دارند.

۱.۲.۱.۲ منابع حرارتی برای تبدیل آب به بخار

- زغال سنگ: آلودگی محیط زیست در تمام مراحل استخراج تا مصرف دارند .
- نفت و گاز طبیعی: بهتر می‌سوزند و آلودگی کمتری دارند اما چون در صنایع دیگری میتوان از آن استفاده‌ی بهتری کرد، کمتر از آن جهت تولید حرارت استفاده می‌شود .
- فعل و انفعالات شیمیایی: استفاده از اورانیوم جهت انجام شکافت هسته‌ای : Fissian
- ترکیب ایزوتوپ‌های هیدروژن- ترکیب هسته‌ای Fissian

این نوع انرژی دیگر قابل کنترل نیست و این باعث می‌شود نتوان از آن در نیروگاه استفاده کرد.

- حرارت داخل زمین: در برخی مناطق اگر در عمق زمین برویم به سنگ‌های گداخته می‌رسیم و می‌توان آب سرد را تزریق کرد و از طرف دیگر آب گرم را دریافت نمود.
- گاز ناشی از فاضلاب و سوزاندن زباله
- انرژی خورشید: استفاده در نیروگاه‌های غیر خورشیدی

۳.۱.۲ نیروگاه های گازی[۱]

برق تولیدی آن گران است. سریع وارد مدار می‌شوند. سهم اندکی از تولید برق را بر عهده دارند.

٤.۱.۲ نیروگاه تلمبه ای ذخیره ای[۲]

این نیروگاه‌ها از نوع پیک می‌باشند. از ساعت ۱۰ الی ٦ صبح که مصرف برق حداقل است، مخزن آب را توسط پمپاژ آب از سد پر می‌کنند و آب ذخیره می‌شود. بعد از ساعت ۸ شب که مصرف برق زیاد بوده و در اوج پیک بار[۳] است از آب مخزن برای تولید برق استفاده می‌شود.

۵.۱.۲ نیروگاه خورشیدی[۱]

این نیروگاه‌ها بدون مصرف سوخت و با استفاده از حرارت مستقیم خورشید کار می‌کنند. این نیروگاه‌ها دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند:

ساخت سلول‌های فتوسل گران است

تولید الکتریسیته (روش مستقیم) به صورت ولتاژ DC است.

تولید بخار آب (روش غیرمستقیم) روشی دیگر است.

روش دیگر تمرکز خورشید است.

کوشش‌های زیادی برای بالابردن بهره و کاهش قیمت مولدهای خورشیدی به عمل آمده است. در حالیکه دسترسی به منابع خورشیدی از نظر زمانی تناوبی نبوده و از ضعف‌های عمده این نیروگاه‌ها به شمار می‌رود. از طرف دیگر دسترسی به منابع خورشیدی تابع شرایط جوی است.

٦.١.٢ نیروگاه بادی[۲]

این نیروگاه‌ها دارای محدودیت جغرافیای هستند.

٧.١.٢ نیروگاه اتمی یا هسته ای[۳]

از نظر ساختار شبیه نیروگاه‌های بخار هستند و تنها تفاوت در نوع سوخت آن‌ها است. ازاورانیوم غنی شده به عنوان سوخت استفاده می‌شود. آلودگی محیط زیست و مخالفت‌های عمومی باعث طراحی نیروگاه‌های جدید با ترکیب هسته‌ای شده است.

۲.۲ انتقال و فوق توزیع

هدف شبکه انتقال هوایی این است که انرژی الکتریکی را از واحدهای تولید در نواحی مختلف به سیستم توزیع که در نهایت بار را تامین می‌کند، انتقال دهد. خطوط انتقال[۱]، شرکت‌های برق مجاور را نیز به یکدیگر متصل می‌کنند که این اتصال نه تنها موجب توزیع اقتصادی قدرت در نواحی طی شرایط عادی می‌شود بلکه در شرایط اضطراری نیز انتقال قدرت میان نواحی را میسر می‌سازد[۱].

بخشی از سیستم انتقال که پست‌های فشار قوی را از طریق ترانسفورماتورهای کاهنده به پست‌های توزیع وصل می‌کند، شبکه فوق توزیع نامیده می‌شود. مرز مشخص و واضحی برای جداسازی سطوح ولتاژ انتقال و فوق توزیع وجود ندارد. برای مثال، سطح ولتاژ فوق توزیع در محدوده ۶۹kV الی ۱۳۸kV قرار دارد[۱].

۳.۲ توزیع

سیستم توزیع بخشی از سیستم قدرت است که پست‌های توزیع را به تجهیزات برق در محل مصـرف-کننده متصل می‌کند. معمولا خطوط توزیع اولیه در محدوده ٤kV تا ٣٤/٥kV بار را در مناطق جغرافیایی کاملا تعریف شده تامین می‌کنند[۱].

ولتاژهای سیستم توزیع ثانویه که اکثر مصرف‌کنندگان را تغذیه می‌کنند عبارتند از: ٢٤٠/١٢٠V یکفاز بـا سه سیم؛ ٢٠٨/١٢٠V سه فاز ستاره با چهار سـیم؛ ٤٨٠/٢٧٧V. قـدرت مـورد نیـاز مصـارف مسـکونی بوسیله ترانسفورماتورهای کاهنده ٢٠٨/١٢٠V با استفاده از خط سه فاز از طریق تغذیه کننده اولیه تامین می‌گردد[۱].

٤.٢ بار

بارهای سیستم قدرت به بارهای صنعتی، تجاری و خانگی تقسیم می‌شوند. بارهای خیلی بزرگ صنعتی بوسیله سیستم انتقال تغذیه می‌شوند. بارهای بزرگ صنعتی توسط شبکه فوق توزیع تغذیه می‌گردند و بارهای کوچک صنعتی توسط شبکه توزیع اولیه تغذیه می‌گردند. بارهای صنعتی از چند نوع بار تشکیل شده‌اند و موتورهای القایی بخش بزرگی از آن را تشکیل می‌دهند. این بارهای ترکیبی[1] تابعی از ولتاژ و فرکانس هستند و بخش عظیمی از بار سیستم را تشکیل می‌دهند. بارهای خانگی و تجاری شامل بخش-های روشنایی، گرمایی و خنک‌کنندگی هستند. این بارها از فرکانس و ولتاژ مستقل هستند و توان راکتیو بسیار کمی مصرف می‌کنند[۳].

توان واقعی بارها را برحسب کیلووات یا مگاوات بیان می‌کنند. اندازه بار در طول روز تغییر می‌کند و توان باید برای تقاضای مصرف‌کننده‌ها مهیا باشد.

منحنی بار روزانه برق متشکل از تقاضاهایی است که توسط مصرف‌کننده‌های مختلف ایجاد می‌گردد. بزرگترین مقدار بار در ۲٤ ساعت را تقاضای ماکزیمم یا پیک[۲] می‌گویند. برای بدست آوردن مفید بودن نیروگاه تولید ضریب بار[۳] تعریف می‌گردد. ضریب بار نسبت میانگین کل بار در یک مدت مشخص برروی پیک بار در آن مدت می‌باشد. ضریب بار ممکن است برای یک روز، یک ماه و یا یک سال تعریف شود. ضریب بار سالانه یکی از مفیدترین ضریب بارهاست[۳].

ضریب بار روزانه:

$$Daily\ \ L.F. = \frac{average\ \ Load}{Peak\ \ Load} \qquad (۱.۲)$$

با ضرب صورت و مخرج در ۲٤ ساعت داریم:

$$Daily\ L.F. = \frac{average\ \ Load \times 24hr}{Peak\ \ Load \times 24hr} = \frac{energy\ consumed\ during\ 24hr}{Peak\ \ Load \times 24hr} \qquad (۲.۲)$$

ضریب بار سالانه:

$$Annual\ L.F. = \frac{total\ \ annual\ \ energy}{Peak\ \ Load \times 8760hr} \qquad (۳.۲)$$

به طور کلی بین بارهای مختلف پیک بار متفاوت خواهد بود که ضریب بار کل را بهبود می‌بخشد. برای اینکه یک نیروگاه به صورت اقتصادی عمل کند، سیستم باید ضریب بار بالایی داشته باشد. امروزه ضریب بارهای نمونه بین ۵۵ تا ۷۰ درصد هستند.

ضریب‌های دیگری نیز توسط شرکت‌های برق استفاده می‌شود. ضریب تولید نسبت تقاضای ماکزیمم به ظرفیت نصب شده و ضریب نیروگاه، نسبت تولید انرژی سالیانه به ظرفیت نیروگاه ضرب‌در ۸۷۶۰ ساعت می‌باشد. این ضرایب نشان می‌دهند که چقدر خوب ظرفیت سیستم نصب شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد[۳].