

فصل اول

مقدمه ای بر سیستم های قدرت

۱-۱ تاریخچه توسعه صنعت برق جهان

- قبل از قرن نوزدهم وسایلی مانند شمع و چربیها منابع تامین روشنایی بودند.
- در اواسط قرن نوزدهم استفاده از چراغ گازی بسیار رایج بود ولی ایمنی زیادی نداشت.
- تحولات در زمینه تولید الکتریسیته توسط فاراده و هائری و تحولات در زمینه استفاده از الکتریسیته بصورت لامپهای التهابی توسط ادیسون انجام شد.
- سال ۱۸۸۰ شرکت روشنایی پرل استریت Pearl Street Illumination Company در منهاتان نیویورک توسط ادیسون تاسیس شد و تولید برق الکتریکی جریان مستقیم (DC) با استفاده از دیناموترهای DC و موتورهای بخار انتقال با کابلهای زیرزمینی مصرف روشنایی بارهای اطراف را تامین نمود که در طی ۸ سال بهره برداری فقط ۳ ساعت خاموشی داشت.
- سیستم پرل استریت ادیسون با برق DC کار می کرد .
- بعد از پروژه آبشار نیاگارا صنعت برق منحصراً از برق AC استفاده می کند .
- پس از آن رشد سریع شرکتهای روشنایی محلی در اروپا و امریکا بوقوع پیوست.
- اختراع موتور القایی جریان متناوب (AC) در اواخر قرن نوزدهم انجام شد.
- سال ۱۸۸۵ اولین سیستم توزیع جریان متناوب برای بار مصرفی ۱۵۰ لامپ توسط جرج وستینگهاوس اجرا گردید.
- سال ۱۸۹۰ اولین خط انتقال AC تکفاز بطول ۲۱ کیلومتر مورد بهره برداری قرار گرفت.
- ایده های تئوری و عملی برای جایگزین شدن جریان متناوب سه فاز AC بجای سیستم تولید DC طرح گردید.
- سال ۱۸۹۶ طرح سیستم الکتریکی AC سه فاز ۲۵ هرتز برای انجام پروژه تولید و انتقال برق از آبشار نیاگارا به بوفالو نیویورک برنده شد.

- تولید توربین های بخار با سرعت زیاد لزوم افزایش فرکانس و استاندارد کردن فرکانس سیستم های قدرت را مطرح کرد (۶۰-۵۰ هرتز).
- با استاندارد کردن فرکانس، قابلیت وصل سیستمهای قدرت کوچک تر به همدیگر و بوجود آمدن سیستم های قدرت پیوسته و بزرگ تر شد.
- اجزای تشکیل دهنده سیستم های قدرت نظیر ژنراتورها و ترانسفورماتورها و افزایش قدرت نامی و ولتاژ آنها سیر تکاملی خود را می پیمود.
- در سال ۱۸۹۰ (در آمریکا) ولتاژ خطوط انتقال 3.3 KV بود که تا سال ۱۹۶۹ ولتاژ خطوط انتقال 765 KV افزایش یافت.
- در سال ۱۹۸۲ ظرفیت کل نصب شده (در آمریکا) 600 GW بود که بطور متوسط متوسط 2.5 KW برای هر نفر تقسیم می شود. هر شخص قوی بنیه تقریباً یکصد وات توان ماهیچه ای دارد، پس برای هر نفر قدرت ۲۵ کارگر در خانه فراهم می شد.
- تا سال ۱۹۱۷ بهره برداری از سیستم های قدرت بصورت واحدهای مستقل و جدا از هم انجام می شد. وجود تقاضای مصرف زیاد انرژی الکتریکی و نیاز به داشتن قابلیت اطمینان زیاد باعث بهم پیوستن سیستم های قدرت الکتریکی مجاور و توسعه سیستم ها گردید.
- ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ سیستمهای فشار قوی جریان مستقیم HVDC در نقاط مختلف دنیا ساخته شدند که در خطوط خیلی بلند مزایای زیادی دارند.
- جمعیت در حال افزایش ← افزایش استفاده از کابلهای زیر زمینی ← گران هستند و جریان نشتی خازنی بالادر جریانهای AC برای مسافتهای طولانی دارند.
- سیستم DC معایب بالا را ندارد و انتخاب خوبی برای کابلهای زیرزمینی است ← استفاده از آن در انتقال زیر آبی نروژ-دانمارک
- سیستم های قدرت الکتریکی بهم پیوسته دارای مزایائی از قبیل مقرون به صرفه بودن از لحاظ اقتصادی هستند، زیرا ماشین های کمتری بعنوان رزرو برای ساعات پیک لازم می باشد.
- وقوع اتصال کوتاه و خطاهای دیگر که باعث بروز اختلال در سیستم می شوند جزو معایب این سیستم ها است که با استقرار رله ها و کلیدهای مناسب در محل اتصال ها می توان آنها را برطرف نمود.

۲-۱ تاریخچه صنعت برق ایران

- اولین مبدل برق (دیزل ژنراتور) در سال ۱۲۸۳ هجری شمسی با قدرت 600 KW توسط حاج امین الضرب در خیابان چراغ برق تهران مورد بهره برداری قرار گرفت. پس از آن تا سال ۱۳۳۸ چند نیروگاه دیگر به ظرفیت های 1MW، 2MW، 6MW و 8MW اجرا گردید.

در ۱۳۳۸ برق آلتوم (نیروگاه طرشت) ساخته شد که به عنوان اساسی ترین منبع تولید برق در ایران مجموعاً 50MW برق تولید می کرد. این نیروگاه يك نیروگاه بخاري است که از ۴ ژنراتور 12.5 MW در آن استفاده می شود.

۳-۱ تاریخچه صنعت برق آذربایجان

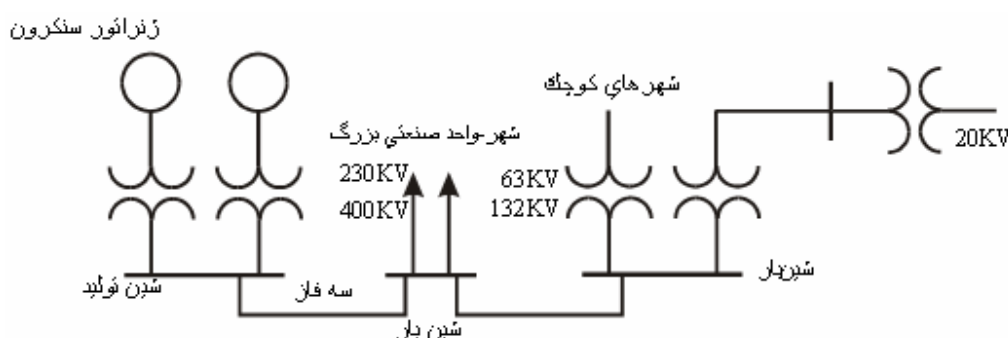
- ۱۲۸۱ هجری شمسی امتیاز تأسیس کارخانه برق تبریز از دولت توسط قاسم خان والی
- ۱۲۸۱ دایر نمودن اولین نیروگاه در تبریز
- ۱۲۸۵ تعطیل شدن نیروگاه بعلت شروع جنگ جهانی اول
- ۱۲۸۹ شروع بکار مجدد نیروگاه پس از خاتمه جنگ جهانی اول
- ۱۳۰۶ الی ۱۳۱۵ تغییرات مهمی در وضعیت تولید برق انجام نشد
- ۱۳۱۵ تأسیس شرکت سهامی روشنایی با ایجاد نیروگاهی به قدرت 810 KW
- تأسیس مؤسسات دیگر در گوشه و کنار شهر تبریز و مؤسسات مشابه دیگر در سایر شهرهای استان آذربایجان شرقی (مراغه) و آذربایجان غربی (ارومیه)
- ۱۳۴۵ تأسیس شرکت برق منطقه ای آذربایجان و اقدام به اداره مؤسسات فوق و بازسازی و نوسازی و مسئولیت تأمین برق شهرهای آذربایجان
- ساختار جدید شرکت برق منطقه ای آذربایجان عبارت است از:
 - شرکت توزیع نیروی برق استان آذربایجان شرقی
 - شرکت توزیع نیروی برق استان آذربایجان غربی
 - شرکت توزیع نیروی برق استان اردبیل
 - شرکت توزیع نیروی برق تبریز (و سایر شهرها)
 - شرکت مهندسی مشاور نیروی آذربایجان (منا)
 - شرکت مشاورین انفورماتیک نیرو (مانیر)
 - شرکت رفاه و پشتیبانی برق آذربایجان
 - شرکت مهندسی سازه های نیروی آذربایجان
- مجموعه تولید برق در آذربایجان در سال ۱۳۷۵ به حدود 5 GWH رسید که شامل تولید در نیروگاههای زیر بود:

نیروگاه تبریز (واحد بخار)	نیروگاه آبی سد ارس	نیروگاه دیزلی اردبیل
نیروگاه تبریز (واحد گازی)	نیروگاه آبی سد مهاباد	نیروگاه دیزلی پارس آباد
نیروگاه گازی صوفیان	نیروگاه آبی مغان	نیروگاه دیزلی سردشت
نیروگاه گازی ارومیه	نیروگاه بخاري بناب	نیروگاه سیکل ترکیبی خوی

- فروش انرژی الکتریکی به کشورهای همسایه (جمهوری آذربایجان و نخجوان ترکیه-ارمنستان)
- شبکه انتقال در آذربایجان شامل ولتاژهای 400 KV (دو خط) و 230 KV (۱۴ خط) می باشد.
- شبکه توزیع در آذربایجان شامل ولتاژهای 132 KV (۵۲ خط) و 63 KV (۲۷ خط) می باشد.
- پستهای موجود 400 KV (۱ عدد)، 230 KV (۱۰ عدد)، 132 KV (۴۰ عدد) و 63 KV (۲۳ عدد) می باشد.

۴-۱ بخش های مختلف شبکه های قدرت

- ۱- تولید (Generation)
 - ۲- انتقال (Transmission)
 - ۳- توزیع (Distribution)
 - ۴- بار مصرفی (Load)
- منابع تولید ← سیستمها و شبکه های انتقال ← مراکز بار



شکل ۱-۱-۱ دیگرام کلی تک خطی سیستم های قدرت

۱-۴-۱ تولید

- ولتاژ تولید شده ژنراتورها برابر ۱۳/۸، ۲۴ و ۳۰ کیلوولت بوده و استاندارد مشخصی ندارند. حداکثر ولتاژ تولید شده ژنراتورها در ایران تا ۲۱ کیلوولت می باشد.
- ولتاژ ژنراتورها ← ترانسفورماتورهای افزایشنده ← تبدیل به ولتاژ بالا (به دلیل کم کردن جریان انتقالی کاهش تلفات سیستم انتقال و افزایش بهره انتقال قدرت)
- ولتاژهای استاندارد انتقال آمریکا:
- در ولتاژهای بالا (HV) ۱۱۵، ۱۳۸ و ۲۳۰ کیلوولت
- در ولتاژهای بسیار بالا (EHV) ۳۴۵، ۵۰۰، ۷۶۵، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوولت
- ولتاژهای استاندارد انتقال ایران ۶۳، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت هستند.

تجهيزات تولید انرژی:

ژنراتور سنکرون با حداکثر تولید برابر 1000 MW یا 1 GW

تنها عامل محدود کننده ژنراتورها چگالی جریان مجاز در هادیهای روتور و استاتور است.

فعالیت در جهت ماشینهای سنکرون همراه با ابر رساناها (ماشینهایی با درجه حرارت سیم بندیها در صفر

مطلق) ← افزایش قدرت ژنراتورها تا 5-6 GW

تولید برق توسط نیروگاه های مختلفی انجام می شود که عبارتند از:

۱- نیروگاه آبی (Hydraulic Power Plant)

در ایران دو نیروگاه آبی زیر مهم می باشند:

- نیروگاه کارون (سد شهید عباسپور) با ظرفیت تولید 1000MW

- نیروگاه دز (سد دز) با ظرفیت 500MW

یکی از مزایای نیروگاه های آبی این است که از هیچ سوختی جهت تولید برق استفاده نمی کنند. در نتیجه

هیچ نوع آلودگی محیط زیست ایجاد نمی کنند. یکی از علل خاموشی های مربوط به نیروگاه های آبی عوامل

جوی و کمبود بارندگی می باشد. در ایران نیروگاه سد دز بعنوان شین مرجع (Reference Bus) جهت

محاسبات برق سراسری ایران در نظر گرفته می شود.

۲- نیروگاه بخار (عمده ترین و بیشترین نیروگاه های ایران) (Steam Power Plant)

نیروگاه های بخار به عنوان نیروگاه های پایه بوده و در آن از انرژی فسیلی مانند مازوت، نفت، گازوئیل

و گاز به عنوان سوخت استفاده می شود. عمده سوخت فسیلی که در شبکه برق ایران مصرف می شود گاز و

مازوت است. در نیروگاه بخار آب در دیگ بخار توسط سوخت آنقدر حرارت داده می شود تا به فاز بخار

تبدیل شود. پس از آن بخار وارد توربین شده و با حرکت ژنراتور متصل به آن انرژی الکتریکی تولید می

شود. یکی از علل خاموشی نیروگاههای بخار نرسیدن سوخت است.

نیروگاه بخار نکا ۴ عدد ژنراتور 440 MW دارد و مجموعاً $4 * 440 = 1760$ MW برق تولید می کند. از

بزرگترین نیروگاه های کشور نیروگاه های رامین اهواز و شهید رجایی قزوین هستند. نیروگاه تبریز نیز

دارای حداکثر ظرفیت $2 * 380 = 760$ MW است.

هرگاه نیروگاه تبریز با ظرفیت تولید تنظیم شده برابر با 700 MW در طول ماه باندازه ۳۰ روز تولید

داشته باشد و برای هر کیلووات ساعت ۰/۲۶ لیتر مازوت مصرف شود، این نیروگاه در طول ماه

چقدر مازوت مصرف می کند؟

انرژی که در عرض يك ماه توسط نیروگاه تولید می شود برابر است با

$$30 * 24 = 720 \text{ hour/month}$$

$$700 \text{ MW} * 720 = 504000 \text{ MWhour/month}$$

در اینصورت کل مازوت مصرفی در یکماه برابر است با

$$504000 * 1000 * 0.26 = 131040000 \text{ liter/month}$$

اگر فرض کنیم که ماشین های نفت کش قدرت حمل ۲۰۰۰۰ لیتر مازوت را داشته باشند خواهیم داشت

$$131040000 / 20000 = 6552 \text{ tankers/month}$$

$$6552 / 30 \approx 220 \text{ tankers/day}$$

یعنی ۶۵۵۲ تانکر ۲۰۰۰۰ لیتری در یک ماه یا روزی ۲۲۰ تانکر باید به نیروگاه برسد.

۳- نیروگاه گازی (Gas Power Plant)

سوخت مربوط به نیروگاه های گازی نیز همان مازوت است و از طریق عمل احتراق توربین را به حرکت در می آورد. تولید برق با نیروگاه های گازی مقرون به صرفه نیست و برای ۴ تا ۵ ساعت در روز استفاده می شود. ساخت آن حداکثر تا یک سال طول می کشد و حجم آنها نسبت به سایر نیروگاههای پایه کوچک تر است. نیروگاههای گازی جهت مصرف پیک برق مورد استفاده قرار می گیرد و به آنها نیروگاههای پیک نیز می گویند که وقتی مصرف برق به حداکثر می رسد وارد مدار می شوند. نیروگاههای پایه مانند نیروگاه آبی، بخار و هسته ای به نیروگاههایی گفته می شود که در ۲۴ ساعت فعال باشند.

۴- نیروگاه اتمی یا هسته ای (Nuclear Power Plant)

نیروگاههای اتمی از نظر ساختار مثل نیروگاه های بخار هستند و تنها تفاوت در نوع سوخت آنها می باشد. در این نیروگاهها از اورانیم غنی شده به عنوان سوخت استفاده می شود. آلودگی محیط زیست و مخالفت های عمومی مردم باعث طراحی نیروگاههای جدید با ترکیب هسته ای شده است.

۵- نیروگاه تلمبه ذخیره ای (Pomp Storage Power Plant)

نیروگاه های تلمبه ذخیره ای هم از نوع نیروگاههای پیک می باشند. از ساعت ۱۰-۱۱ تا ۶ صبح مصرف برق حداقل است. بنابراین در این زمان مخزن آب را توسط پمپاژ از آب سد پر می کنند و آب ذخیره می شود. بعد از ساعت ۸ شب که مصرف برق زیاد بوده و در اوج پیک بار است از آب مخزن برای تولید برق در نیروگاه استفاده می شود. این نیروگاهها تا 1000MW برق تولید می کنند.

۶- نیروگاه جزر و مدی (Tidal Power Plant)

در نیروگاههای جزر و مدی توربین توسط تلمبه هایی که بوسیله جزر و مد و موج اقیانوسها تغییر می کنند حرکت می کند. این نیروگاهها دارای محدودیتهای جغرافیایی بوده و ژنراتورهای مربوط به آنها دارای طرح پیچیده و گران هستند.

۷- نیروگاه خورشیدی (Solar Power Plant)

نیروگاههای خورشیدی بدون مصرف سوخت و با استفاده از حرارت مستقیم خورشید کار می کنند. این نیروگاهها دارای ویژگیهای زیر می باشند:

- ساخت سلولهای فتوسل گران می باشد

- تولید الکتریسیته (روش مستقیم) بصورت ولتاژ DC می باشد

- تولید بخار آب (روش غیر مستقیم) و توربینی روش دیگر می باشد

- از روشهای دیگر تمرکز خورشید است

کوشش های زیادی برای بالا بردن بهره و کاهش قیمت مولدهای خورشیدی بعمل آمده است. در حالیکه دسترسی به منابع خورشیدی از نظر زمانی تناوبی نبوده و از ضعفهای عمده این نیروگاهها بشمار می رود. از طرف دیگر دسترسی به منابع خورشیدی تابع شرایط جوی است.

۸- نیروگاه بادی (Wind Power Plant)

این نیروگاهها دارای محدودیتهای جغرافیایی می باشند

۹- نیروگاه زمین حرارتی (Geothermal Power Plant)

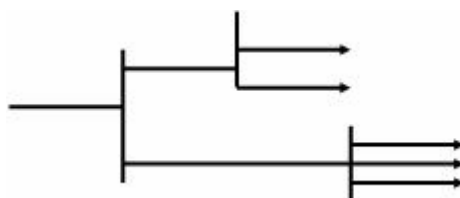
این نیروگاهها دارای محدودیتهای جغرافیایی می باشند

۱-۴-۲ انتقال

شبهه های انتقال انرژی از مسیرهای مختلف و با ترکیب های متقارن تشکیل یافته و دارای ساختار حلقوی می باشند. در ایران انتقال قدرت با ولتاژهای ۲۳۰ کیلوولت و ۴۰۰ کیلوولت انجام می گیرد. یکی از مسائل حائز اهمیت در ولتاژهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت وجود شارژ خازنی خط انتقال است. شارژ خازنی باعث افزایش ولتاژ می شود که باید این افزایش ولتاژ را مهار نمود.

۳-۴-۱ توزیع و فوق توزیع

این شبکه ها دارای ساختار شعاعی می باشند و انتقال انرژی در آنها در جهت مشخصی می باشد. ولتاژ انتقال در مجاورت بارها و توسط ترانسفورماتورهای کاهنده کاسته می شود و پس از آن به سمت شبکه های فوق توزیع و توزیع می رود. شبکه های توزیع در ایران در سطح ۶۳ کیلوولت و ۲۰ کیلوولت اجرا می شود. معمولاً شارژ خازنی در این دو سطح آنقدر کم است که حائز اهمیت نمی باشد.



شکل ۲-۱ شبکه های توزیع با ساختار شعاعی

۴-۴-۱ بار مصرفی

بارهای مصرفی به انواع خانگی/شهری، صنعتی، کشاورزی، روستایی و تجاری تقسیم می شوند.

۳۸۰ ولت سه فاز

۲۲۰ ولت تکفاز

۵-۱ ذخیره سازی انرژی

باتریهای DC با قدرت کم – تکنولوژی نتوانسته است وسیله ای برای ذخیره انرژی در قدرتهای بالا فراهم آورد. تأسیسات آبی با سیستم پمپاژ – از جمله تجهیزات الکتریکی-مکانیکی دو حالت ذخیره انرژی هستند.

$$W_{mf} \uparrow = \frac{1}{2} Li^2 \uparrow$$

سلفهای مغناطیسی ابر رسانا راه حل مناسب و ممکن برای ذخیره انرژی الکتریکی خالص هستند.

۶-۱ صرفه جویی در انرژی

تأکید بر حذف مصارف بیهوده روشنایی و موتورها – استفاده از سیستمهای گرمایش خانگی خورشیدی- آموزش مناسب مصرف کنندگان – اعمال روشهای مدیریت بار (سوق دادن تقاضای انرژی به ساعاتی غیر از ساعات حداکثر بار) – کاهش ظرفیت تولیدی شرکتهای برق