www.powerjam.ir

فصل اول

کلیات

پیشرفت صنعتی و در نتیجه بالا رفتن استاندارد زندگی بشر با توسعه منابع انرژی[1] و استفاده از آنها امکان پذیر می گردد. با افزایش مصرف انرژی، منابع انرژی نیز از لحاظ تنوع و میزان تولید افزایش یافته است. از میان انواع انرژیهای مورد استفاده، انرژی الکتریکی به لحاظ اینکه باعث آلودگی محیط زیست نمی شود، در زمان نیاز قابل تولید است، به آسانی به صورت های دیگر انرژی قابل تبدیل بوده و همچنین قابل انتقال و کنترل می باشد بیش از انواع دیگر انرژیها مورد توجه بشر قرار گرفته است. امروزه سیستم های انرژی الکتریکی نقش اساسی را در تبدیل و انتقال انرژی در زندگی انسان بازی می کنند.

در دید کلی یک سیستم قدرت الکتریکی[2] شامل سه قسمت اصلی است: نیروگاههای تولید قدرت[3]، خطوط انتقال[4] و سیستم های توزیع انرژی[5]. به این ترتیب قدرت های تولید شده در نیروگاهها از طریق خطوط انتقال به محل های مصرف می رسند.

---

1. Energy Sources
2. Electric Power System
3. Generating Stations
4. Transmission Lines
5. Distribution Systems

www.powerjam.ir

۱-۱ رشد سیستم های قدرت الکتریکی

قبل از قرن نوزدهم میلادی وسائلی مانند شمع و بعضی از انواع چربیها تنها منابع تامین روشنائی و در اواسط قرن نوزدهم چراغ های گازی[1] عموماً عملی ترین و سالم ترین وسائلی روشنائی بشمار می رفتند. گرچه تا آن زمان تحقیقات ارزنده ای توسط بعضی از دانشمندان درباره الکتریسیته و اصول آن انجام شده بود، اما تحولات اساسی از یک طرف توسط فاراده و هانری در زمینه تولید الکتریسیته و از طرف دیگر توسط بعضی دانشمندان و بخصوص ادیسون در زمینه استفاده از الکتریسیته در ملتهب نمودن بعضی مواد و بالاخره تکامل لامپ های ملتهب و ساخت آنها بوجود آمد.

اولین سیستم های قدت تحت عنوان «شرکت های روشنائی»[2] در حدود سال ۱۸۸۰ میلادی بوجود آمدند و معروفترین آنها شرکت روشنائی پرل استریت[3] در نیویورک بود که توسط ادیسون تاسیس شده بود. قدرت الکتریکی این سیستم توسط ژنراتور DC تامین می شد و توسط کابل های زیرزمینی[4] توزیع می گردید. بارهای این سیستم نیز فقط لامپ های ملتهب بودند. بعد از آن شرکت های روشنائی محلی به سرعت در اروپا و آمریکا رشد کردند. در اواخر قرن نوزدهم موتور القائی جریان متناوب AC اختراع شد و مصرف انرژی الکتریکی تنوع بیشتری یافت.

در سال ۱۸۸۵ جرج وستینگهاوس اولین سیستم توزیع جریان متناوب را که ۱۵۰ لامپ را تامین می کرد نصب کرد و در سال ۱۸۹۰ اولین خط انتقال AC بطول ۲۱ کیلومتر مورد بهره برداری قرار گرفت. اولین خطوط انتقال، تک فاز[5] بودند، و انرژی الکتریکی فقط توسط لامپهای روشنائی مصرف می شد. موتورهای اولیه نیز تک فاز بودند. انتقال قدرت توسط جریان متناوب[6]، بخصوص جریان متناوب سه فاز، بتدریج جایگزین سیستم های DC شد. دلیل عمده جایگزینی سیستم های AC ترانسفورماتورها بودند که انتقال انرژی الکتریکی در ولتاژی بالاتر از ولتاژ ژنراتور یا بار را امکان پذیر می کردند، ضمن اینکه قابلیت انتقال قدرت بیشتری را نیز داشتند.

---

1. Gaslights
2. Illuminating Companies
3. Pearl Street Illuminating Company
4. Underground Cables
5. Single Phase
6. Alternating Current

www.powerjam.ir

در سیستم های انتقال DC قدرت تولید شده توسط ژنراتورهای AC از طریق ترانسفورماتور و یکسو کننده الکترونیکی [1] به خط انتقال DC داده می شود. یک اینورتر الکترونیکی [2]، جریان مستقیم را در انتهای خط به جریان متناوب تبدیل می کند تا بتوان ولتاژ آنرا با یک ترانسفورماتور جهت مصرف کننده ها کاهش داد. مطالعات اقتصادی اغلب نشان داده است که برای خطوط کوتاه تر از حدود ۵۶۰ کیلومتر استفاده از خطوط انتقال هوائی DC مقرون بصرفه نیست.

بعد از اینکه طرح توربین های بخار [3] توسط پارسون [4] ارائه شد قدرتهای تولید شده با این توربین ها بیشترین محبوبیت را برای طراحان سیستم ها بهمراه آورد. فرکانس ولتاژ های تولید شده توسط توربین های بخار و آب اولیه اغلب ۲۵ هرتز بود. با معرفی توربین های بخار با سرعت زیاد [5] لزوم افزایش فرکانس و استاندارد کردن فرکانس یک سیستم مطرح شد. با استاندارد کردن فرکانس، امکان اتصال سیستم ها بیکدیگر نیز بوجود می آمد. امروزه عموماً فرکانس های ۵۰ و ۶۰ هرتز در سیستم های قدرت مورد استفاده می باشند. امکان اتصال سیستم های قدرت کوچکتر و بوجود آمدن سیستم های بهم پیوسته باعث رشد و بزرگ شدن سیستم های قدرت گردید.

همزمان با بزرگ شدن سیستم های قدرت و رشد مصرف، عناصر سیستم های قدرت نظیر ژنراتورها [6] و ترانسفورماتورها [7] تکامل بیشتری یافتند و قدرت های نامی آنها و همچنین ولتاژ خطوط انتقال بتدریج افزایش یافت بطوریکه در کشور ایالات متحده آمریکا ولتاژ خطوط انتقال از سال ۱۸۹۰ که معادل ۳/۳KV بوده است، به میزان ۷۶۵KV در سال ۱۹۶۹ رسید. ظرفیت کل نصب شده در سال ۱۹۸۲ در کشور مذکور نزدیک به ۶۰۰۰۰۰MW بوده است که متوسط ۲/۵KW را برای هر نفر نشان می دهد.

تا سال ۱۹۱۷ سیستم های قدرت بصورت واحد های مستقل استفاده می شدند.

1. Electronic Rectifier
2. Electronic Inverter
3. Steam Turbines
4. Parson
5. High - Speed Steam Turbines
6. Generators
7. Transformers

www.powerjam.ir

تقاضای مصارف زیاد انرژی الکتریکی و نیاز به قابلیت اطمینان[1] زیاد موضوع بهم پیوستن[2] سیستم های مجاور را پیش آورد. بهم پیوستن سیستم ها از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است، زیرا ماشینهای کمتری بعنوان رزرو برای شرایط بهره برداری ساعات پیک مورد نیاز می باشند. البته بهم پیوستن سیستم ها در شرایط وقوع اتصال کوتاه و خطاهای دیگر موجب ایجاد اختلال در کل سیستم بهم پیوسته خواهد بود و لذا باید رله ها و کلیدهای مناسبی در محل اتصال سیستم ها نصب نمود.

بطورکلی طراحی برای بهره برداری از یک سیستم قدرت، بهبود بخشیدن به شرایط کار سیستم و توسعه سیستم برای آینده نیاز به مطالعه بار، محاسبات خطاها، طرح وسائل حفاظتی و مطالعه پایداری سیستم دارد. همچنین استفاده از کامپیوتر در انجام محاسبات فوق الذکر از اهمیت خاصی برخوردار است.

۲-۱ تاریخچه صنعت برق در ایران

در سال ۱۲۸۳ هجری شمسی با نصب یک ژنراتور ۴۰۰KW توسط حاج امین الضرب در خیابان چراغ برق تهران استفاده از انرژی الکتریکی بصورت یک سیستم در ایران آغاز شد. تا سال ۱۳۳۸ تنها چند نیروگاه دیگر به ظرفیت های ۶MW، ۸MW، ۲MW و ۱MW مورد بهره برداری قرار گرفتند. در سال ۱۳۳۸ نیروگاه طرشت با چهار واحد توربین بخار و تولید جمعاً ۵۰MW بعنوان اساسی ترین منبع تولید قدرت در ایران بشمار می رفت.

با تشکیل وزارت آب و برق در سال ۱۳۴۳ که بعداً به وزارت نیرو تغییر نام داد، وظائف شرکتهای برق پراکنده به این وزارتخانه محول شد. در پایان سال ۱۳۶۰ ظرفیت نصب شده در کل کشور به بیش از ۱۱۸۰۰MW رسید که نشان دهنده حدود ۳۰۵W برای هر نفر بود. در این سال نیروگاههای آبی تقریباً ۲۷/۵ درصد تولید نیروگاههای کشور را تشکیل می دادند.

۳-۱ تولید انرژی الکتریکی

نیروگاههای حرارتی که با توربین های بخار کار می کنند در حال حاضر بیشتر قدرت الکتریکی مورد نیاز را تولید می نمایند. نیروگاههای آبی کمتر از ۲۵ درصد کل قدرت نصب

1. Reliability
2. Interconnection

شده در دنیا را تشکیل می دهند و میزان این درصد بتدریج رو به کاهش است. توربین های گازی نیز بعنوان تولید کننده های فرعی معمولاً در شرایط بار پیک مورد بهره برداری قرار می گیرند.

در نیروگاههای حرارتی با ایجاد بخار و هدایت آن بر روی توربین، قدرت تولید می شود. برای ایجاد بخار از سوخت های مختلفی می توان استفاده نمود. زغال سنگ بیش از سوخت های دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. سوخت های نفتی (نفت - گازوئیل - مازوت و . . .) و گاز طبیعی نیز در کشورهائی که قیمت این سوخت ها ارزان تمام می شود اهمیت زیادی دارند، لیکن بخاطر منابع محدود نفت در جهان بهتر است در مصرف این سوخت ها صرفه جوئی شود. با وجوداینکه نیروگاههای هسته ای[1] امیدواری زیادی را برای تولید قدرت در سالهای آینده جهان ایجاد کرده اند، لیکن تاثیر این نیروگاهها در آلودگی محیط زیست مسائل عمده ای از جمله مخالفت های عمومی مردم را بر علیه بهره برداری از آنها پدید آورده است.

با انرژی خورشیدی[3] بدون مصرف سوخت می توان بصورت یک حرارت مستقیم بخار آب ایجاد کرد. کوشش زیادی برای بالا بردن بهره و کاهش قیمت مولد های خورشیدی بعمل آمده است و پیشرفت نسبتاً زیادی نیز حاصل شده است، لیکن هنوز راه بسیار زیادی برای پیمودن در این زمینه باقی مانده است.

۴-۱ انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

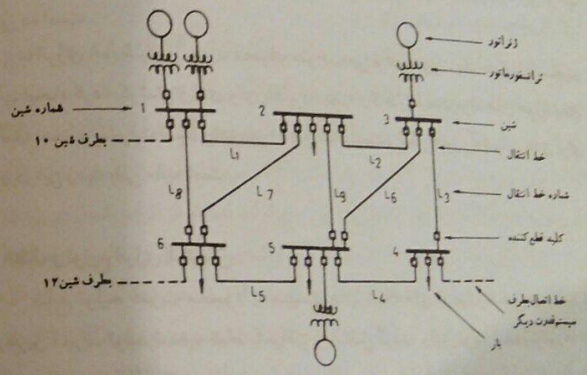
منابع تولید قدرت معمولاً به سیستم ها یا شبکه های انتقال متصل می باشند تا بدین طریق قدرت تولید شده به نقاط یا مراکز بار منتقل گردد. ولتاژ تولید شده ژنراتورها در حال حاضر از ۳۰KV تجاوز نمی نماید. اغلب نیروگاههای بزرگ دارای ولتاژ حدود ۱۳/۸KV تا ۲۴KV هستند. در کشور ایران نیز از ژنراتورهای با حداکثر ولتاژ ۲۱KV در بعضی نیروگاهها استفاده می شود. هنوز استاندارد مشخصی برای ولتاژ ژنراتورها پذیرفته نشده است.

1. Nuclear Plants
2. Nuclear Fusion
3. Solar Energy

www.powerjam.ir

ولتاژ ژنراتورها با ترانسفورماتورهای افزاینده[1] به سطوح بالاتری جهت انتقال تبدیل می شود. دلیل عمده استفاده از ولتاژ های بالا برای انتقال، کم کردن جریان انتقالی و در نتیجه کاهش تلفات در سیستم و بهتر کردن بهره انتقال قدرت می باشد. ولتاژ های استاندارد فشار قوی[2] (H.V.) برای انتقال در کشور ایالات متحده آمریکا ۱۱۵KV، ۱۳۸KV و ۲۳۰KV بوده و ولتاژ های فوق فشار قوی[3] (E.H.V.) ۳۴۵KV، ۵۰۰KV و ۷۶۵KV می باشند و تحقیقات نیز در جهت بکار بردن خطوط با ولتاژهای ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلو ولت در حال انجام است.

ولتاژ های استاندارد سیستم انتقال در ایران ۶۳KV، ۱۳۲KV، ۲۳۰KV و ۴۰۰KV می باشند. در شکل (۱-۱) قسمت کوچکی از یک سیستم قدرت نشان داده شده است. آنچه که نشان داده شده، بعنوان دیاگرام تک خطی[4] سیستم معروف است. محل



شکل ۱-۱ دیاگرام تک خطی یک سیستم قدرت

1. Step - UP Transformers
2. High Voltage
3. Extra - High Voltage
4. One - Line Diagram

اتصالات (نقاط گره) که به شین[1] ها معروف هستند همراه ژنراتورها، ترانسفورماتورها، خطوط انتقال، کلیدها و بارها در شکل مشخص شده اند.

آنچه که در شکل (۱-۱) بعنوان بار[2] مشخص شده است جایگزین سیستم توزیع[3] یک منطقه، یک شهر یا یک واحد صنعتی بزرگ و نظائر اینها می باشد. در چنین سیستم توزیعی سطوح مختلف ولتاژ بکار می رود. بعضی از واحد های صنعتی مستقیماً ولتاژهای بالا (از ۲۰KV تا ۶۳KV) را دریافت می نمایند و بعداً این ولتاژها در نقاط مختلف آن واحد صنعتی با ترانسفورماتورها کاهش می یابند. واحد های صنعتی کوچکتر ولتاژ های پائین تری را قبول می کنند و مصارف خانگی و عمومی نیز از ولتاژ های پائین ۳۸۰/۲۲۰V استفاده می نمایند.

گر چه سیستم انتقال و توزیع[4] یک سیستم بهم پیوسته است، لیکن برای سهولت بیشتر، سیستم انتقال را مطابق آنچه که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است از کل سیستم مجزا می نمایند. دیاگرام مشابهی برای هر سیستم توزیع می توان رسم نمود و بارهای سطوح پائین تر را روی آن مشخص کرد. بنابراین بحث و بررسی سیستم های قدرت در سطح سیستم های انتقال انجام می شود و بیشتر روش های بکار برده شده مستقیماً در مورد سیستم های توزیع نیز بکار می رود.

۱-۵ آینده صنعت برق

مهمترین زمینه در بررسی آینده صنعت برق دسترسی به منابع اولیه انرژی است. نفت و گاز طبیعی در آینده قطعاً کاهش خواهد یافت. احتمال افزایش نسبی نیروگاههای آبی در جهان نیز کم است. بنابراین می توان گفت که میزان استفاده از زغال سنگ و منابع هسته ای در آینده افزایش خواهد یافت.

تحقیقات آینده بطرف چندین نوع از انواع منابع اولیه انرژی هدایت شده است. مولدهای خورشیدی که از دو طریق مستقیم و غیر مستقیم قدرت تولید می کنند، می توانند بعنوان مولدهائی مطرح باشند که نیاز به سوخت ندارند. در نوع تبدیل مستقیم، تابش خورشید

1. Bus
2. Load
3. Distribution System
4. Transmission - Distribution System

www.powerjam.ir

مستقیماً به قدرت الکتریکی با ولتاژ DC تبدیل می شود، و در نوع غیر مستقیم تابش خورشید ابتدا بخار تولید می کند که جهت گرداندن توربین ها بکار می رود. استفاده از انرژی های باد، موج، حرارت زمین و . . . گرچه آزمایش شده است، لیکن تحقیقات روی آنها جهت حصول به نتایج کافی و مناسب ادامه دارد. ترکیب هسته ای مربوط به ترکیب ذرات سبک و تشکیل ذرات سنگین تری می باشد که باقیمانده جرم حاصل به انرژی تبدیل می شود. به پیش بینی کارشناسان، این روش تولید انرژی بعد از سال ۲۰۰۰ وارد صنعت برق خواهد شد. حسن تولید قدرت از روش ترکیب هسته ای نسبت به تولید قدرت در نیروگاههای هسته ای در عدم آلوده کردن محیط زیست است.

زمینه دیگر در بررسی آینده صنعت برق، تجهیزات تولید است. در حال حاضر تمام انرژی الکتریکی مورد نیاز توسط ژنراتورهای سنکرون گردان تولید می شود. بنظر می رسد که انتخاب بهتری وجود نداشته باشد. بنابراین به احتمال زیاد کوشش بشر در بهبود شرایط کار این ماشینها متمرکز خواهد شد. قدرت تولیدی ژنراتورهای موجود از ۱۰۰۰MW تجاوز نمی نماید و این محدودیت بخاطر جگالی جریان مجاز سیم بندی های رتور و استاتور است. تحقیقات زیادی در حال انجام است تا بتوان ماشینهائی ساخت که در آنها درجه حرارت سیم بندیها را در نزدیکی صفر مطلق نگهداری نمود. بدین طریق جگالی جریان و چگالی فلوی مغناطیسی بسیار زیادی قابل دسترسی بوده و قدرت هائی در حدود ۵۰۰۰MW قابل تولید خواهد بود.

بررسی نحوه انتقال از دیگر مواردی است که در بهبود آینده سیستم ها موثر می باشد. اولین سیستم قدرت که مربوط به ادیسون بود (سیستم پرل استریت) از جریان DC استفاده می کرد. از سال ۱۸۹۰ صنعت برق به انتقال AC روی آورد. در سال های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ سیستم های انتقال DC زیادی در دنیا نصب گردید. در خطوط خیلی بلند عملاً سیستم های انتقال DC موثرتر هستند. از طرفی با افزایش جمعیت احتمال دارد در آینده بشر به طرف سیستم های انتقال زیر زمینی [1] روی آورد. کابل های فعلی خیلی گران بوده و جریان های کاپاسیتیو زیادی دارند که مانع استفاده از آنها در خطوط بلند می گردد. سیستم انتقال DC این محدودیت را ندارد و می تواند بعنوان یک انتخاب خوب برای انتقال زیر زمینی در خطوط بلند مورد استفاده قرار گیرد. یکی از خطوط انتقال DC که اخیراً نصب شده است خط انتقال زیر

1. Underground Transmission

آب تخت ولتاژ ±۲۵۰KV است که وظیفه انتقال قدرت بین نروژ و دانمارک را بطول ۱۵۰Km بعهده دارد. احتمالاً خطوط انتقال AC نیز در سال های آتی عملاً تا ۱۲۰۰KV مورد بهره برداری قرار خواهند گرفت.

یکی دیگر از زمینه های تحقیقات آینده، جستجو برای یافتن وسائلی جهت ذخیره کردن انرژی الکتریکی است. تکنولوژی حال حاضر هنوز نتوانسته است ساخت وسائل ذخیره قدرت های زیاد را امکان پذیر نماید. ژنراتورها در بسیاری از ساعات روز با تمام تجهیزات جانبی بکار می افتند و فقط قسمتی از ظرفیت تولیدی خود را ارائه می دهند. همچنین در صورت به صحنه آمدن مولدهای خورشیدی نیاز به وسائلی برای ذخیره انرژی آنها برای روزهای غیر آفتابی خواهد بود. بطورکلی از آنجا که در حال حاضر انرژی الکتریکی باید فقط هنگام نیاز تولید شود و محدودیت های زیادی در کنترل قدرت و تامین پیک بار وجود دارد اهمیت ذخیره سازی انرژی بخوبی نمایان می شود.

1. Under - Water- Line