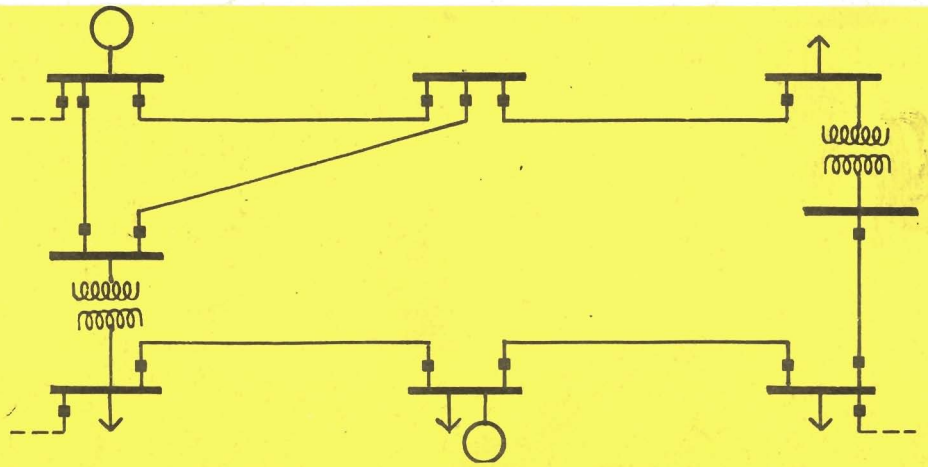
دانشگاه پیام نور

بررسی سیستم‌های قدرت ۲

(رشتهٔ برق)

احد کاظمی



از سری انتشارات متون درسی: طرح کمک درسی

بررسی سیستم‌های قدرت ۲

(رشتهٔ برق)

احد کاظمی

دانشگاه پیام نور

گروه برق
(۳/ک)

دانشگاه پیام‌نور
۶۵۷

کاظمی، احد، ۱۳۳۰ -
بررسی سیستمهای قدرت ۲ (رشته برق)/ احد کاظمی. ـ [تهران]: دانشگاه پیام‌نور، مدیریت چاپ و انتشارات، ۱۳۷۸.
ز، ۴۵۶ و ص.: مصور. ـ (دانشگاه پیام‌نور ۶۵۷. گروه‌برق؛ ۳/ک)
فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
کتابنامه: ص. ۴۵۳ - ۴۵۶.
۱. آموزش از راه دور ـ ایران: ۲. برق ـ سیستمها ـ آموزش برنامه‌ای. الف. دانشگاه پیام‌نور. مدیریت چاپ و انتشارات ب. عنوان.
۲ک ۱۹ الف/ LC ۵۸۰۸ ۳۷۸/۱۵۵۴۰۹۵۵
کتابخانه ملی ایران ۱۰۹۲۵-۷۸م

دانشگاه پیام‌نور (آموزش از راه‌دور)

- عنوان: بررسی سیستم‌های قدرت ۲
- مؤلف: احد کاظمی
- ویراستار علمی: دکتر سیدحمید حسینی
- حروفچینی، طراحی و صفحه‌آرایی: مدیریت تدوین
- لیتوگرافی، چاپ و صحافی: چاپخانه دانشگاه پیام‌نور
- تعداد: ۱۰۰۰
- نوبت و تاریخ چاپ: چاپ اول آذر ۱۳۷۹

- کلیه حقوق برای دانشگاه پیام‌نور محفوظ است.
- ۲۱۳۰۰ ریال

شابک ۶ - ۷۸۱ - ۴۵۵ - ۹۶۴
ISBN 964 - 455 - 781 - 6

بسم الله الرحمن الرحیم

پیشگفتار ناشر

دانشگاه پیام‌نور بر اساس نظام آموزش از راه دور و کلاسهای نیمه حضوری پی‌ریزی شده است و سطح فراگیر دانشجویی آن، تقریباً، سراسر کشور را در بر می‌گیرد. این دانشگاه بر آن است که تا حد امکان با بهره‌گیری از فن‌آوری پیشرفتهٔ ارتباطات و اطلاع‌رسانی، گذراندن دوره‌های درسی و دسترسی به منابع درسی را در منزل، اداره یا مکانهای مناسب دیگر میسر سازد. در نظام آموزش از راه دور کتاب درسی خودآموز از جملهٔ مهمترین لوازم آموزشی است. هم اکنون دانشگاه پیام نور، ضمن تلاش برای دستیابی به فن‌آوری پیشرفتهٔ اطلاع‌رسانی و ارتقای کیفی آموزش به سطح معیار موجود در دنیا، همّ خود را صرف تدوین کتاب درسی خودآموز کرده است. این دانشگاه چهار نوع کتاب درسی، کمک درسی، و فرادرسی منتشر می‌کند. این منابع عبارت‌اند از:

۱. طرح درسنامه

طرح درسنامه منبعی درسی است که، پس از داوری علمی، بدون طراحی آموزشی و ویرایش منتشر می‌شود. ضرورت تهیهٔ به موقع کتاب در هر نیمسال و طولانی بودن فرایند ارزیابی کار صاحب اثر، در عمل، باعث می‌شود که دانشگاه به انتشار چنین منابعی اقدام کند. درسنامه، در واقع، نخستین ثمرهٔ تحقیقات صاحب اثر بر اساس نیازهای درسی دانشجویان و سرفصلهای شورای عالی برنامه‌ریزی وزارت فرهنگ و آموزش عالی است که با ظاهری آراسته، تمیز و منظم، به صورت کتاب، چاپ می‌شود و در اختیار دانشجو قرار می‌گیرد. مزیت درسنامه این است که اشکالات ابتدایی جزوه‌های دستنوشت را ندارد بعضاً که در دانشگاههای دیگر برخی مدرسان، بدون هیچ‌گونه هماهنگی و طرح قبلی، به صورت آشفته، نامنظم و ناخوانا، در اختیار دانشجویان قرار می‌دهند. دانشگاه به منظور تقدیر از زحمات صاحب اثر برای طرح درسنامه به تناسب مقررات خود حق‌الزحمه‌ای پرداخت می‌کند. صاحب اثر بعد از چهار نیمسال تحصیلی

بر اساس بازخوردهای اصلاحی مدرسان، دانشجویان، دیگر صاحب‌نظران در این منابع تجدیدنظر می‌کند.

۲. طرح آزمایشی

پس از تجدیدنظر صاحب اثر، که با دریافت بازخوردها و اصلاح نارساییهای درسنامه صورت می‌گیرد، کتاب با کمک متخصصان، ویرایش و طراحی آموزشی می‌شود. طرح درسنامه با پیشنهاد دانشکدهٔ مربوط و از طریق مدیریت هماهنگی، تدوین و آماده‌سازی منابع درسی به صورت آزمایشی چاپ می‌شود. در هر حال، صاحب اثر در سلسله انتشارات آزمایشی نیز، همانند طرح درسنامه، پس از ۴ نیمسال تحصیلی با دریافت بازخوردهای مدرسان و دانشجویان تجدیدنظر می‌کند.

۳. طرح قطعی

کتابهای آزمایشی پس از ۴ نیمسال، که صاحب اثر با دریافت نظرهای اصلاحی در کتاب تجدیدنظر می‌کند، در شورای انتشارات بررسی و در صورت تصویب به صورت قطعی چاپ می‌شوند. انتظار می‌رود که این کتابها، پس از ارزیابیهای مکرر حین تدریس و پس از ویرایش و طراحی آموزشی، از هر لحاظ خودآموز باشند و نیاز دانشجو را از لحاظ درک مطلب برآورده کنند. با وجود این، با توجه به تحولات سریع علم در دنیای امروز، بازخوردها، برخی اشکالات احتمالی، مؤلف باید در این کتابها نیز در حدود هر ۴ سال یک بار تجدیدنظر کند.

۴. کتابهای کمک درسی و فرادرسی

دانشگاه پیام نور، به منظور مشارکت در غنی‌تر کردن منابع درسی دانشگاهی در سراسر کشور، یادگیری بیشتر و مؤثرتر دانشجویان، و نیز به منظور فراهم آوردن منابعی برای پیشبرد سطح علمی پژوهندگان، محققان و مربیان، کتابهای کمک درسی و فرادرسی، منتشر می‌کند.

۵. متون آزمایشگاهی

این نوع کتابها دستورالعملهایی هستند که دانشجویان با استفاده از آنها و با راهنمایی مربیان می‌توانند کارهای عملی را در آزمایشگاه انجام دهند.

فهرست

عنوان	صفحه
فصل اول -کلیات	**۱**
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- تاریخچه صنعت برق	۱
۱-۳- تاریخچه صنعت برق در ایران	۳
۱-۴- تولید انرژی الکتریکی	۵
۱-۵- انتقال و توزیع انرژی الکتریکی	۵
۱-۶- آینده انرژی الکتریکی	۷
۱-۷- آنچه در این کتاب می‌خوانید	۸
فصل دوم - مدلسازی سیستم‌های قدرت	**۱۱**
۲-۱- مقدمه	۱۱
۲-۲- ماشین سنکرون	۱۱
۲-۳- مدار معادل ماشین سنکرون	۱۴
۲-۴- بررسی شرایط کار ماشین سنکرون	۱۸
۲-۵- بررسی تأثیر برجسته بودن قطبها در روابط ماشین سنکرون	۲۵
۲-۶- مقادیر نسبت به واحد (پریونیت)	۳۰
۲-۷- تغییر مبنای مقادیر نسبت به واحد	۳۶
۲-۸- ترانسفورماتورها	۳۷
۲-۹- ترانسفورماتور ایده‌آل	۳۸
۲-۱۰- مدار معادل ترانسفورماتور	۴۱
۲-۱۱- اتو ترانسفورماتور	۴۵
۲-۱۲- ترانسفورماتورهای سه‌فاز	۴۷
۲-۱۳- مقادیر پریونیت در ترانسفورماتورها	۵۰
۲-۱۴- ترانسفورماتورهای سه سیم‌پیچه	۵۲
۲-۱۵- مدل بار	۵۶
۲-۱۶- دیاگرام امپدانس سیستم‌های قدرت	۶۰
۲-۱۷- مدار معادل تونن سیستم قدرت	۶۹
۲-۱۸- مفهوم شین بی‌نهایت	۷۰

عنوان	صفحه

فصل سوم - ماتریس‌های ادمیتانس و امپدانس شبکه ۸۱

۳-۱- مقدمه ۸۱

۳-۲- ماتریس‌های ادمیتانس و امپدانس شین ۸۱

۳-۳- حذف شین ۸۷

۳-۴- روش حذف یک شین ۹۱

۳-۵- کاربرد Z_{bus} در تعیین مدار معادل تونن سیستم‌های قدرت ۹۳

۳-۶- ترمیم ماتریس امپدانس شین ۱۰۰

۳-۷- روش مستقیم تشکیل Z_{bus} ۱۰۷

۳-۸- تأثیر ترانسفورماتورهای متغیر در ماتریس Y_{bus} ۱۱۱

۳-۹- تشکیل Y_{bus} با استفاده از کامپیوتر ۱۱۳

فصل چهارم - مطالعه پخش بار ۱۲۵

۴-۱- مقدمه ۱۲۵

۴-۲- رابطه کمیت‌های الکتریکی در یک شین ۱۲۶

۴-۳- انواع شین‌ها از دید مسأله پخش بار ۱۲۷

۴-۴- معادلات پخش بار ۱۲۹

۴-۵- روش گوس - سایدل ۱۳۲

۴-۶- تسریع همگرائی در الگوریتم GS ۱۳۵

۴-۷- محاسبه قدرت‌ها در مسأله پخش بار ۱۳۵

۴-۸- استفاده از کامپیوتر در پخش بار از روش GS ۱۳۸

۴-۹- روش نیوتون - رافسون ۱۵۱

۴-۱۰- مقایسه روش‌های گوس - سایدل و نیوتون - رافسون ۱۷۷

۴-۱۱- روش Decoupled در حل مسأله پخش بار ۱۷۸

۴-۱۲- روش Fast-Decoupled در حل مسأله پخش بار ۱۸۱

۴-۱۳- پخش بار DC ۱۸۲

فصل پنجم - کنترل توان اکتیو و راکتیو ۱۸۷

۵-۱- مقدمه ۱۸۷

۵-۲- کنترل توان راکتیو و ولتاژ ۱۹۱

عنوان	صفحه

۳-۵- کنترل قدرت راکتیو و ولتاژ توسط ترانسفورماتورهای متغیر ۱۹۴
۴-۵- تزریق قدرت راکتیو به شبکه ۱۹۴
۵-۵- خازن سری ۲۰۴
۶-۵- کنترل توان اکتیو و فرکانس ۲۰۶
۷-۵- پاسخ سیستم کنترل بار - فرکانس ۲۱۷
۸-۵- کنترل کامل در سیستم کنترل بار - فرکانس ۲۲۲
۹-۵- مناطق کنترل ۲۲۴
۱۰-۵- سیستم قدرت تک منطقه‌ای ۲۲۵
۱۱-۵- سیستم قدرت دو منطقه‌ای ۲۳۱
۱۲-۵- سیستم قدرت چند منطقه‌ای ۲۴۱

فصل ششم - بهره‌برداری اقتصادی از سیستم‌های قدرت **۲۴۹**

۱-۶- مقدمه ۲۴۹
۲-۶- تابع هزینه ۲۵۰
۳-۶- توزیع اقتصادی بار با صرفنظر از تلفات سیستم ۲۵۳
۴-۶- تابع هزینه یک نیروگاه شامل m ژنراتور ۲۶۵
۵-۶- توزیع اقتصادی بار بدون صرفنظر از تلفات سیستم ۲۶۸
۶-۶- تابع تلفات سیستم ۲۷۱
۷-۶- محاسبه ضرائب تلفات ۲۷۸
۸-۶- استفاده از کامپیوتر در توزیع اقتصادی بار (پخش بار اقتصادی) ۲۸۴

فصل هفتم - اتصال کوتاه متقارن **۲۹۷**

۱-۷- مقدمه ۲۹۷
۲-۷- بررسی مدار سری RL در حالت گذرا ۲۹۹
۳-۷- اتصال کوتاه در ماشین سنکرون بی‌بار ۳۰۱
۴-۷- ولتاژهای داخلی ماشین سنکرون باردار در حالت گذرا ۳۰۸
۵-۷- محاسبه اتصال کوتاه در سیستم قدرت باردار ۳۱۰
۶-۷- کاربرد Z_{bus} در محاسبات اتصال کوتاه متقارن ۳۱۵

عنوان	صفحه

۷-۷- تأثیر مؤلفه DC در جریان اتصال کوتاه ۳۱۹
۸-۷- استفاده از کامپیوتر در محاسبات اتصال کوتاه متقارن ۳۲۰

فصل هشتم - اتصال کوتاه نامتقارن **۳۲۵**

۱-۸- مقدمه ۳۲۵
۲-۸- معرفی مؤلفه‌های متقارن ۳۲۷
۳-۸- قدرت برحسب مؤلفه‌ای متقارن ۳۳۸
۴-۸- امپدانس‌های توالی ۳۳۹
۵-۸- شبکه‌های توالی ۳۴۲
۶-۸- شبکه‌های توالی ژنراتور سنکرون بی‌بار ۳۴۳
۷-۸- امپدانس‌های توالی در خطوط انتقال و ترانسفورماتورها ۳۴۶
۸-۸- شبکه‌های توالی مثبت و منفی ۳۴۷
۹-۸- شبکه‌های توالی صفر ۳۴۹
۱۰-۸- کاربرد مؤلفه‌های متقارن در محاسبات اتصال کوتاه نامتقارن ۳۵۵
۱۱-۸- اتصال کوتاه یک فاز به زمین (SLG) در ژنراتور بی‌بار ۳۵۶
۱۲-۸- اتصال کوتاه دوفاز بیکدیگر (LL) در ژنراتور بی‌بار ۳۶۱
۱۳-۸- اتصال کوتاه دوفاز به زمین (DLG) در ژنراتور بی‌بار ۳۶۶
۱۴-۸- اتصال کوتاه نامتقارن در سیستم قدرت ۳۷۱
۱۵-۸- تحلیل اتصال کوتاه نامتقارن با استفاده از ماتریس Z_{bus} ۳۸۴
۱۶-۸- اتصال کوتاه از طریق امپدانس ۳۸۷

فصل نهم - پایداری سیستم‌های قدرت **۳۹۹**

۱-۹- مقدمه ۳۹۹
۲-۹- مطالعه پایداری ماندگار ۴۰۱
۳-۹- معادله نوسان ۴۰۷
۴-۹- معادله نوسان سیستم‌های چند ماشینی ۴۱۱
۵-۹- معادله قدرت - زاویه ۴۱۶
۶-۹- شرط وجود پایداری گذرا ۴۲۴
۷-۹- معیار سطوح برابر ۴۲۵
۸-۹- کاربردهای معیار سطوح برابر ۴۳۰
۹-۹- بررسی پایداری سیستم‌های قدرت بزرگ ۴۳۸

بسم الله الرحمن الرحیم

پیشگفتار

مجموعه حاضر، کتاب خودآموز " بررسی سیستم‌های قدرت ۲ " می‌باشد که برای استفاده دانشجویان مهندسی برق (گرایش قدرت) دانشگاه پیام نور تألیف گردیده‌است. مطالب این خودآموز با استفاده از منابع و مآخذ ذکر شده در انتهای کتاب، بخصوص ردیف‌های ۳۱، ۳۲، ۱ و ۲ و مثالهای حل شده توسط کامپیوتر تدوین شده‌است.

عناوین و مباحث کتاب منطبق بر سیلابس درسی مصوب شورایعالی برنامه‌ریزی وزارت فرهنگ و آموزش عالی تهیه شده‌است. امیدوارم‌که اساتید و دانشجویان محترم ضمن مطالعه دقیق کتاب، اشکالات و نکات مورد نظر را جهت اصلاح در چاپ‌های بعدی یادآوری فرمایند.

احد کاظمی

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

توسعه منابع انرژی [۱] و استفاده بهینه از آنها موجب بالا رفتن استاندارد زندگی بشر می‌گردد. از میان انواع انرژی‌های مورد استفاده، انرژی الکتریکی به لحاظ اینکه باعث آلودگی محیط زیست نمی‌شود، در زمان نیاز قابل تولید است، به آسانی به صورت‌های دیگر انرژی قابل تبدیل بوده و همچنین قابل انتقال و کنترل می‌باشد بیش از انواع دیگر انرژی‌ها مورد توجه بشر قرار گرفته‌است.

اکثر منابع سوختی که در طبیعت وجود دارند به آسانی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شوند. این انرژی بدون آلوده کردن محیط زیست توسط مجموعه‌ای از هادیها منتقل شده و در مراکز مصرف به انواع دیگر انرژی مورد نیاز تبدیل می‌گردد. مجموعه مراکز تولید، شبکه انتقال و توزیع و مصرف کننده‌ها را سیستم قدرت الکتریکی [۲] می‌نامیم.

۱-۲ تاریخچه صنعت برق

قبل از قرن نوزدهم میلادی وسائلی مانند شمع و بعضی از انواع چربیها تنها منابع تأمین روشنائی، و در اواسط قرن نوزدهم چراغ‌های گازی [۳] عموماً عملی‌ترین و سالم‌ترین وسائل روشنائی بشمار می‌رفتند. گرچه تا آن زمان تحقیقات ارزنده‌ای توسط بعضی از دانشمندان درباره الکتریسیته و اصول آن انجام شده‌بود، اما تحولات اساسی از یک طرف توسط فاراده و هانری در زمینه تولید الکتریسیته و از طرف دیگر توسط ادیسون در زمینه استفاده از الکتریسیته در ملتهب نمودن بعضی مواد و تکامل لامپهای ملتهب و ساخت آنها بوجود آمد.

1-Energy Sources 2- Electric Power System 3- Gaslights

از سال ۱۸۸۰ میلادی اولین سیستم‌های قدرت تحت عنوان " شرکت‌های روشنائی "[۱] بوجود آمدند و معروفترین آنها شرکت روشنائی پرل استریت [۲] در نیویورک بود که در سال ۱۸۸۱ نصب گردید. قدرت الکتریکی این سیستم توسط ژنراتور DC تأمین می‌شد و توسط کابل‌های زیرزمینی [۳] توزیع می‌گردید. بارهای این سیستم نیز فقط لامپ‌های ملتهب بودند. بعد از آن شرکت‌های روشنائی محلی به سرعت در اروپا و آمریکا رشد کردند. در اواخر قرن نوزدهم موتور القائی [۴] جریان متناوب AC اختراع شد و مصرف انرژی الکتریکی تنوع بیشتری یافت.

در سال ۱۸۸۵ جرج وستینگهاوس اولین سیستم جریان متناوب [۵] با تأمین ۱۵۰ لامپ را نصب کرد و در سال ۱۸۹۰ اولین خط انتقال جریان متناوب بطول ۲۱ کیلومتر مورد بهره‌برداری قرار گرفت. خطوط انتقال اولیه تک فاز [۶] بودند و انرژی الکتریکی فقط توسط لامپ‌های روشنائی و بندرت توسط موتورهای القائی تک فاز مصرف می‌شد. انتقال قدرت توسط جریان متناوب، بخصوص جریان متناوب سه‌فاز بتدریج جایگزین سیستم‌های جریان مستقیم شد. دلیل عمده جایگزینی سیستم‌های AC ترانسفورماتورها [۷] بودند که انتقال انرژی الکتریکی در ولتاژی بالاتر از ولتاژ ژنراتورها و یا بارها را امکان پذیر می‌کردند، ضمن اینکه قابلیت انتقال قدرت بیشتری را نیز داشتند.

در سالهای اخیر انتقال قدرت توسط خطوط انتقال DC مجدداً مورد توجه قرار گرفته‌است. در این سیستم، قدرت تولید شده در ژنراتورهای جریان متناوب از طریق ترانسفورماتور و یکسو کننده الکترونیکی [۸] به خط انتقال DC داده می‌شود. یک اینورتر الکترونیکی [۹]، جریان مستقیم را در انتهای خط به جریان متناوب تبدیل می‌کند تا بتوان ولتاژ آنرا با یک ترانسفورماتور برای مصرف کننده‌ها کاهش داد. مطالعات اقتصادی اغلب نشان داده‌است که برای خطوط کوتاه‌تر از حدود ۵۶۰ کیلومتر استفاده از خطوط هوائی انتقال DC مقرون بصرفه نیست.

معرفی توربین‌های بخار[۱۰] توسط پارسون [۱۱] تحول اساسی در تولید انرژی الکتریکی بوجود آورد. فرکانس ولتاژهای تولید شده توسط توربین‌های بخار آب اولیه اغلب ۲۵

1-Illuminating Companies
2- Pearl Street Illuminating Company
3- Underground Cables
4-Induction Motor
5-Alternating Current
6-Single Phase
7-Transformers
8-Electronic Rectifier
9-Electronic Inverter
10-Steam Turbines
11-Parson

هرتز بود. پس از ارائه طرح توربین‌های بخار با سرعت زیاد [۱]، لزوم افزایش فرکانس و استاندارد کردن فرکانس یک سیستم مطرح شد. با استاندارکردن فرکانس،امکان اتصال سیستم‌ها بیکدیگر نیز بوجود آمد. امروزه عموماً فرکانس‌های ۵۰ و ۶۰ هرتز در سیستم‌های قدرت مورد استفاده می‌باشند. امکان اتصال سیستم‌های قدرت کوچکتر و بوجود آمدن سیستم‌های بهم پیوسته، باعث رشد و بزرگ شدن سیستم‌های قدرت گردید.

همزمان با بزرگ‌شدن سیستم‌های قدرت و رشد مصرف، عناصر سیستم‌های قدرت نظیر ژنراتورها [۲] و ترانسفورماتورها تکامل بیشتری یافتند و قدرت‌های نامی آنها و همچنین ولتاژ خطوط انتقال بتدریج افزایش یافت بطوریکه درکشور ایالات متحده آمریکا ولتاژ خطوط انتقال از سال ۱۸۹۰ که معادل ۳/۳KV بوده‌است، به میزان ۷۶۵KV در سال ۱۹۶۹ رسید. ظرفیت کل نصب شده در سال ۱۹۸۲ در کشور مذکور نزدیک به ۶۰۰۰۰۰MW بوده‌است که متوسط ۲/۵KW را برای هر نفر نشان می‌دهد.

تا سال ۱۹۱۷ سیستم‌های قدرت بصورت واحدهای مستقل استفاده می‌شدند. تقاضای مصارف زیاد انرژی الکتریکی و نیاز به قابلیت اطمینان [۳] زیاد موضوع بهم پیوستن [۴] سیستم‌های مجاور را پیش‌آورد. بهم‌پیوستن سیستم‌ها از لحاظ اقتصادی مقرون بصرفه‌است، زیرا ماشین‌های کمتری بعنوان رزرو برای شرایط بهره‌برداری ساعات پیک مورد نیاز می‌باشند. البته بهم پیوستن سیستم‌ها در شرایط وقوع اتصال کوتاه و خطاهای دیگر موجب ایجاد اختلال در کل سیستم بهم پیوسته خواهد گردید و لذا باید رله‌ها و کلیدهای مناسبی در محل اتصال سیستم‌ها نصب نمود.

بطور کلی طراحی و بهره‌برداری از یک سیستم قدرت، بهبود بخشیدن به شرایط کار سیستم و توسعه سیستم برای آینده نیاز به مطالعه شرایط بار، محاسبات خطاها، طرح و وسائل حفاظتی و مطالعه پایداری سیستم دارد. همچنین استفاده از کامپیوتر در انجام محاسبات فوق‌الذکر از اهمیت خاصی برخوردار است.

۳-۱ تاریخچه صنعت برق در ایران

قبل از استفاده از مولدهای برق به صورت بخاری، اولین بار در کاخ‌های سلطنتی پادشاهان قاجار و حرم حضرت امام رضا (ع) از مولدهای برق کوچک استفاده می‌شد. در سال ۱۲۸۴ هجری شمسی با نصب یک ژنراتور توسط حاج امین‌الضرب در خیابان چراغ برق تهران استفاده از انرژی الکتریکی بصورت یک سیستم در ایران آغاز شد. قدرت این ژنراتور سه فاز

1-High-Speed Steam Turbines

2-Generators

3-Reliability

4-Interconnection

۴۰۰ کیلووات و ولتاژ خروجی آن ۳۸۰ ولت بود. کارخانه برق مذکور عهده‌دار تأمین برق قسمت‌هائی از معابر تهران بود و اداره‌ای تحت عنوان اداره روشنائی کار تعویض لامپ‌ها و سرویس شبکه معابر را به عهده داشت. این اداره که بعداً با نام‌های مؤسسه برق تهران، اداره کل برق تهران، بنگاه مستقل برق تهران، بنگاه برق تهران و بالاخره شرکت برق منطقه‌ای تهران فعالیت می‌کرد بترتیب در سالهای زیرعهده‌دار بهره‌برداری از کارخانه‌های برق نصب شده گردید:

- در سال ۱۳۱۶ مولدهای ۶ مگاواتی ساخت کاخانه اشکودا
- در سال ۱۳۲۷ چهار واحد بخار ساخت وستینگهاوس جمعاً بظرفیت ۸ مگاوات
- در سال ۱۳۳۲ دو واحد دیزل جمعاً به ظرفیت ۲ مگاوات
- در سال ۱۳۳۵ یک واحد دیزل ۲ مگاواتی
- در سال ۱۳۳۵ یک نیروگاه ۱۰ مگاواتی ساخت وستینگهاوس
- نیروگاه طرشت با چهارواحد توربین بخار و تولید جمعاً ۵۰ مگاوات در سال ۱۳۳۸ راه‌اندازی و مورد بهره‌برداری قرار گرفت که در آن تاریخ بعنوان اساسی‌ترین منبع قدرت در ایران بشمار می‌رفت و در پایان سال مذکور ظرفیت مولدهای نصب شده به حدود ۷۸ مگاوات بالغ گردید.

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 سال ۱۳۴۸ شرکت توانیر زیر نظر وزارت نیرو تأسیس گردید. وظیفه این شرکت نصب تأسیسات تولید و انتقال انرژی الکتریکی و بهره‌برداری از آنها به استثنای واحدهای آبی در کل کشور می‌باشد. شرکت توانیر انرژی تولید شده در نیروگاهها را از طریق خطوط انتقال به نقاط مختلف کشور منتقل نموده و در اختیار شرکت‌های برق منطقه‌ای قرار می‌دهد. شرکت‌های برق منطقه‌ای انرژی الکتریکی را از شرکت توانیر خریداری نموده و توسط شبکه‌های توزیع خود در اختیار مشترکین قرار می‌دهند. در حال حاضر کل کشور به ۱۶ منطقه تقسیم گردیده‌است و هر شرکت برق منطقه‌ای عهده‌دار توزیع انرژی الکتریکی در منطقه جغرافیائی تحت پوشش خود می‌باشد.

شبکه‌های برق مناطق مختلف کشور به استثنای استان‌های خراسان و سیستان و بلوچستان از سال ۱۳۴۷ بتدریج بیکدیگر متصل شده و زیر پوشش شبکه سراسری قرار گرفته‌اند. شبکه خراسان (شبکه شمال شرقی) و دو شبکه کوچک زاهدان و چابهار شبکه‌های مستقلی هستند که به شبکه سراسری متصل نمی‌باشند. سایر نقاط کشور که دور از شبکه‌های فوق هستند توسط نیروگاههای دیزلی کوچکی تأمین می‌شوند که بتدریج در طرح‌های توسعه با اتصال این مناطق به شبکه‌های نزدیک خود، نیروگاههای دیزلی فوق برای تأمین انرژی در حالت‌های اضطراری و پیک مصرف مورد بهره‌برداری قرار خواهند گرفت.

در سال ۱۳۶۷ ظرفیت نصب شده در کل کشور به بیش از ۱۴۰۰۰ مگاوات رسید که نشان دهنده حدود ۲۶۵ وات برای هر نفر بود. در این سال نیروگاههای آبی تقریباً ۱۶/۷ درصد از

کل نیروی برق تولید شده تحت مدیریت وزارت نیرو را تشکیل می‌دادند.

۱-۴ تولید انرژی الکتریکی

در حال حاضر قسمت اعظم انرژی الکتریکی مورد نیاز بشر، توسط نیروگاههای حرارتی که با توربین‌های بخار کار می‌کنند تولید می‌شود. توربین‌های گازی نیز بعنوان تولید کننده‌های فرعی معمولاً در شرایط بار پیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نیروگاههای حرارتی با ایجاد بخار و هدایت آن بر روی توربین، انرژی الکتریکی تولید می‌شود. برای ایجاد بخار، سوخت‌های مختلفی بکار می‌روند. زغال سنگ بیش از سوخت‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشتقات نفتی (نفت - گازوئیل - مازوت و ...) و گاز طبیعی در کشورهائی که قیمت این سوخت‌ها ارزان تمام می‌شود اهمیت زیادی دارند، لیکن بخاطر منابع محدود نفت در جهان بهتر است در مصرف این سوخت‌ها صرفه‌جوئی شود.

نیروگاههای هسته‌ای [۱] گرچه امیدواری زیادی را برای تولید انرژی الکتریکی در سالهای آینده جهان ایجاد کرده‌اند، لیکن آلودگی محیط زیست توسط این نیروگاهها از جمله مسائل عمده‌ایست که مخالفت‌های عمومی مردم را برعلیه بهره‌برداری از آنها پدید آورده‌است.

نیروگاههای آبی کمتر از ۲۵ درصد کل قدرت نصب شده در دنیا را تشکیل می‌دهند و میزان این درصد بتدریج رو به کاهش است.

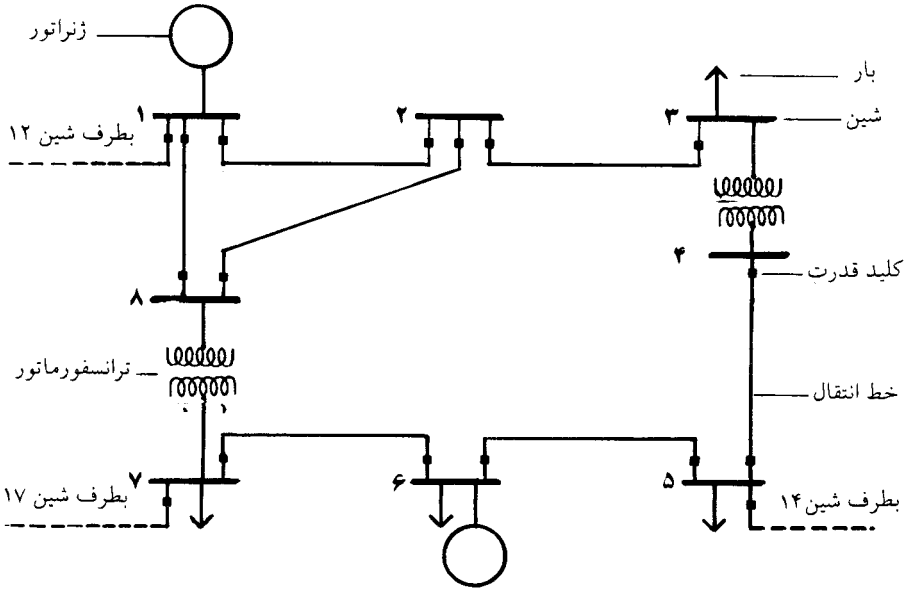
استفاده از انرژی خورشیدی [۲] یکی از روش‌های تولید الکتریسیته است که در آن بدون نیاز به مصرف سوخت میتوان تابش خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل نمود. مولدهای خورشیدی از دو طریق مستقیم و غیرمستقیم انرژی تولید می‌نمایند. در نوع تبدیل مستقیم، تابش خورشید مستقیماً به قدرت الکتریکی با ولتاژ جریان مستقیم تبدیل می‌شود و در نوع غیرمستقیم، تابش خورشید بعنوان یک حرارت مستقیم بخار آب ایجاد می‌کند که جهت گرداندن توربین‌ها بکار می‌رود. کوشش‌های زیادی برای بالا بردن بهره و کاهش قیمت مولدهای خورشیدی بعمل آمده است و پیشرفت نسبتاً زیادی نیز حاصل شده‌است، لیکن هنوز راه بسیار زیادی برای پیمودن در این زمینه باقی مانده‌است.

۱-۵ انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

نیروگاههای تولید انرژی الکتریکی به سیستم‌ها و یا شبکه‌های انتقال متصل می‌باشند تا بدین وسیله قدرت تولید شده به محل مصرف بارها منتقل گردد. در شکل (۱-۱) قسمت

1-Nuclear Plants 2-Solar Energy

کوچکی از یک سیستم قدرت نشان داده شده‌است. آنچه که نشان داده شده، به دیاگرام تک‌خطی [۱] موسوم است. ژنراتورها، ترانسفورماتورها، خطوط انتقال، کلیدها، بارها و محل اتصال عناصر مختلف (شین‌ها) در شکل مشخص شده‌اند.



شکل ۱-۱: دیاگرام تک خطی یک سیستم قدرت

ولتاژ ژنراتورها در حال حاضر از ۳۰KV تجاوز نمی‌نماید. اغلب نیروگاههای بزرگ دارای ولتاژ حدود ۱۳/۲ تا ۲۴ کیلوولت هستند. درکشور ایران نیز از ژنراتورهای باحداکثر ولتاژ ۲۱ کیلوولت در بعضی نیروگاهها استفاده می‌شود.

ترانسفورماتورها برای تبدیل سطوح مختلف ولتاژ در سیستم‌های قدرت بکار می‌روند. ولتاژ ژنراتورها با ترانسفورماتورهای افزاینده [۲] به سطوح بالاتری جهت انتقال تبدیل می‌شود. دلیل عمده استفاده از ولتاژهای بالا برای انتقال، کم کردن جریان انتقال و در نتیجه کاهش تلفات در سیستم و بهبود بهره انتقال قدرت می‌باشد.

1-One-Line Diagram 2- Step-Up Transformers

ولتاژهای استاندارد فشار قوی [1] (HV) برای انتقال در کشور ایالات متحده آمریکا ۱۱۵، ۱۳۸ و ۲۳۰ کیلوولت بوده و ولتاژهای فوق فشار قوی [2] (EHV) ۳۴۵، ۵۰۰ و ۷۶۵ کیلوولت می‌باشد و تحقیقات نیز در جهت بکار بردن خطوط با ولتاژهای ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلوولت در حال انجام است. ولتاژهای استاندارد سیستم انتقال در ایران ۶۳، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت می‌باشد.

هریک از بارهای نشان داده شده در شکل (۱-۱) می‌تواند جایگزین سیستم توزیع [3] یک منطقه، یک شهر یا یک واحد صنعتی بزرگ و نظائر آنها تلقی شود. گرچه سیستم انتقال و توزیع [4] یک سیستم بهم پیوسته است، لیکن برای سهولت محاسبات و مطالعات، سیستم انتقال را مطابق آنچه که در شکل (۱-۱) نشان داده‌شده‌است از کل سیستم مجزا می‌نمایند. بحث و بررسی سیستم‌های قدرت در سطح سیستم‌های انتقال انجام می‌شود و بیشتر روش‌های بکار برده شده مستقیماً در مورد سیستم‌های توزیع نیز بکار می‌رود.

۱-۶ آینده انرژی الکتریکی

مهمترین زمینه‌ها در بررسی سیستم‌های انرژی الکتریکی، دسترسی به منابع اولیه انرژی، نقش انواع روش‌های تولید، تجهیزات تولید، نحوه انتقال و ذخیره‌کردن انرژی الکتریکی می‌باشند.

نقش نفت و گاز طبیعی در آینده قطعاً کاهش خواهدیافت. احتمال افزایش نسبی نیروگاههای آبی نیز کم است. بنابر این میزان استفاده از زغال سنگ و منابع هسته‌ای در آینده افزایش خواهد یافت.

تحقیقات آینده بطرف مولدهای خورشیدی، استفاده از انرژی‌های باد، موج، حرارت‌زمین و ... هدایت شده‌است. همچنین استفاده از انرژی هسته‌ای با روش‌هائی که منجر به آلوده‌کردن محیط زیست نشود از اهم تحقیقات آینده خواهد بود.

در حال حاضر تمام انرژی الکتریکی مورد نیاز توسط ژنراتورهای سنکرون تولید می‌شود. بنظر می‌رسد که انتخاب بهتری وجود نداشته‌باشد. بنابر این به احتمال زیاد کوشش بشر در بهبود شرایط کار این ماشین‌ها خواهدشد. قدرت تولیدی ژنراتورهای موجود از ۱۰۰۰ مگاوات تجاوز نمی‌نماید و این محدودیت بخاطر چگالی جریان مجاز سیم‌بندیهای رتور و استاتور است. تحقیقات زیادی در حال انجام است تا بتوان ماشین‌هائی ساخت که در آنها درجه حرارت سیم‌بندیها را در نزدیکی صفر مطلق نگهداری نمود. بدین‌طریق چگالی جریان و چگالی

1- High Voltage 2- Extra High Voltage 3- Distribution System

4- Transmission-Distribution System

فلوی مغناطیسی بسیار زیادی قابل دسترسی بوده و قدرت‌هائی در حدود ۵۰۰۰ مگاوات قابل تولید خواهد بود.

زمینه دیگر در بررسی آینده انرژی الکتریکی، بررسی نحوه انتقال است. اولین سیستم قدرت (سیستم پرل استریت) از جریان DC استفاده می‌کرد. از سال ۱۸۹۰ صنعت برق به انتقال AC روی آورد. در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ با نصب سیستم‌های انتقال DC در بعضی از نقاط دنیا مجدداً این سیستم‌ها مطرح گردیدند. در خطوط خیلی بلند عملاً سیستم‌های انتقال DC مؤثرتر هستند. از طرفی با افزایش جمعیت احتمال دارد در آینده بشر بجای خطوط هوائی به طرف سیستم‌های انتقال زیرزمینی روی آورد. کابل‌های فعلی جریان‌های کاپاسیتیو زیادی دارند که مانع استفاده از آنها در خطوط بلند می‌گردد. سیستم انتقال DC این محدودیت را ندارد و می‌تواند برای انتقال زیرزمینی در خطوط بلند مورد استفاده قرارگیرد، لیکن قیمت کابل‌ها در مقایسه با خطوط هوائی بسیار زیاد است. بنابراین بهینه کردن مسائل فنی و اقتصادی در دو سیستم انتقال DC و AC با توجه به مسائل آتی جهان یکی از محورهای اصلی تحقیقات در آینده است.

جستجو برای یافتن وسائلی جهت ذخیره‌کردن انرژی الکتریکی از دیگر مواردی است که در بهبود آینده سیستم‌ها مؤثر می‌باشد. تکنولوژی فعلی هنوز نتوانسته‌است ساخت وسائل ذخیره انرژی‌های زیاد را امکان پذیر نماید. در بسیاری از ساعات روز ژنراتورها با تمام تجهیزات جانبی بکار می‌افتند و فقط قسمتی از ظرفیت تولیدی خود را ارائه می‌دهند. همچنین در صورت به صحنه آمدن مولدهای خورشیدی نیاز به وسائلی برای ذخیره انرژی آنها برای شبها و روزهای غیر آفتابی خواهدبود.

بطور کلی از آنجا که در حال حاضر انرژی الکتریکی باید فقط هنگام نیاز تولید شود و محدودیت‌های بسیاری در کنترل قدرت و تأمین پیک بار وجود دارد اهمیت و نقش ذخیره‌سازی انرژی نمایان می‌شود.

۱-۷ آنچه در این کتاب می‌خوانید

برای بهره‌برداری از یک سیستم قدرت، مطالعات و محاسبات گوناگونی لازم است که پس از انجام آنها و حصول اطمینان از عملکرد مناسب سیستم‌در شرایط مختلف، می‌توان چنین سیستمی را بهره‌برداری نمود. این مطالعات شامل محاسبه پخش بار (حالت بارداری سیستم)، محاسبه اتصال کوتاه، بررسی پایداری سیستم براثر اختلالات تدریجی و ناگهانی، روش‌های کنترل فرکانس و ولتاژ، بهره‌برداری اقتصادی از شبکه و غیره می‌باشد. برای انجام این محاسبات لازم است ابتدا مدار معادل الکترکی سیستم قدرت را بدست آوریم. سیستم قدرت عمدتاً از ژنراتورها، ترانسفورماتورها، خطوط انتقال و بارها تشکیل می‌شود.

پارامترها و مدار معادل خطوط انتقال در درس بررسی سیستم‌های قدرت ۱ مورد مطالعه قرار گرفته‌است. در فصل دوم این کتاب پس از بررسی مدار معادل ژنراتورهای سنکرون، ترانسفورماتورها و بارها، مدل الکتریکی سیستم قدرت را بعنوان دیاگرام امپدانس معرفی می‌کنیم و به این ترتیب مدار الکتریکی بدست آمده آماده بهره‌برداری در محاسبات و مطالعات مختلف شبکه خواهد بود.

در فصل سوّم، ماتریس‌های امپدانس و ادمیتانس شین که نشان دهنده نقش امپدانس عناصر سیستم است معرفی می‌گردند. در فصول بعد از این ماتریس‌ها در تشکیل معادلات و محاسبات مورد نیاز استفاده خواهد شد.

فصل چهارم مربوط به مطالعه بارداری سیستم تحت عنوان پخش بار می‌باشد. مطالعه پخش بار نقش اساسی را در بررسی وضعیت فعلی یک سیستم و تصمیم‌گیری در مورد بهترین شرایط بهره‌برداری از آن را بعهده دارد. همچنین طراحی و توسعه آینده سیستم بدون مطالعه پخش بار امکان پذیر نمی‌باشد. مهمترین اطلاعاتی که از انجام پخش بار یک سیستم بدست می‌آید ولتاژ و زاویه ولتاژ هر یک از شین‌ها و قدرت‌های اکتیو و راکتیو در شین‌ها و خطوط انتقال می‌باشد. برای تعیین این کمیت‌ها از روش‌های محاسبات عددی در حل معادلات غیر خطی شبکه استفاده خواهدشد.

مقادیر بدست آمده از پخش بار یک سیستم باید در محدوده مناسبی کنترل گردند. قدرت اکتیو و فرکانس در یک کانال کنترل می‌شوند و در حقیقت کنترل و تثبیت فرکانس بمنزله توازن قدرت اکتیو می‌باشد. قدرت راکتیو و ولتاژ نیز در یک کانال کنترل می‌گردند و برای کنترل ولتاژ در محدوده تعریف شده باید در تولید و مصرف قدرت راکتیو توازن مناسبی ایجاد نمود.

در فصل پنجم کنترل قدرت اکتیو و فرکانس مورد بررسی قرار می‌گیرد. گرچه کنترل توان راکتیو و ولتاژ خارج از مطالب درسی بررسی سیستم‌های قدرت ۲ می‌باشد، لیکن جهت آشنائی دانشجویان، در این فصل اشاره مختصری نیز به روش‌های کنترل ولتاژ و توان راکتیو خواهدشد.

فصل ششم به بررسی روش‌های بهره‌برداری اقتصادی از سیستم‌های قدرت می‌پردازد. در این فصل نحوه بهره‌برداری از ژنراتورهای سیستم بطوری که همه بارها با حداقل هزینه تأمین شوند مورد نظر می‌باشد.

آنچه که در فصل پنجم بعنوان کنترل توان اکتیو و فرکانس از یک طرف، و کنترل توان راکتیو و ولتاژ از طرف دیگر مورد مطالعه قرار می‌گیرد، تغییرات و اختلالات جزئی سیستم (نظیر تغییر بار تدریجی روزانه) را شامل می‌شود. بررسی اختلالات بزرگ و ناگهانی، تحت عنوان خطاها [1] در سیستم‌های قدرت اهمیت ویژه‌ای دارد که در فصول هفتم و هشتم به آنها

1-Faults

خواهیم پرداخت. از مهمترین خطاهای یک سیستم قدرت، انواع اتصال کوتاه‌ها و باز شدن (و یا پاره شدن) خطوط انتقال می‌باشند. اتصال کوتاه متقارن (سه فاز) مربوط به اتصال و یا برخورد سه فاز بیکدیگر می‌باشد که آنرا در فصل هفتم بررسی خواهیم کرد. انواع دیگر اتصال کوتاه‌ها شامل اتصال کوتاه یک فاز به زمین، اتصال کوتاه دوفاز بیکدیگر و اتصال کوتاه دوفاز به زمین، اتصال کوتاه‌های نامتقارن را تشکیل می‌دهند که در فصل هشتم مورد مطالعه قرار خواهند گرفت.

در آخرین فصل (فصل نهم) پایداری سیستم‌های قدرت را بر اثر تغییرات و اختلالات بوجود آمده بررسی می‌کنیم. پایداری یک سیستم خاصیتی از آن است که باعث می‌شود ماشین‌های الکتریکی سیستم بر اثر اختلالات [۱] بوجود آمده بتوانند سنکرونیزم [۲] خود را با شبکه حفظ نمایند.

در انتهای هر فصل مسائل مربوط به مطالب ارائه شده منظور شده‌است تا دانشجویان گرامی بتوانند با حل آنها از فراگیری مطالب درسی اطمینان حاصل نمایند.

---

1 -Disturbances 2 -Synchronism