

مبانی سیستم قدرت برای مهندسان

تالیف:

Steven W. Blume

مترجمان:

احسان حاجی حسنی (مجری طرح، ترانزادهای فروش برق)

و

حسن سیاهکلی (عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده تهران جنوب)

سرشناسه	:	بلوم، استیون وارن Blume, Steven Warren
عنوان و نام پدیدآور	:	مبانی سیستم قدرت برای مهندسان / تالیف [استیون وارن بلوم]: مترجمان احسان حاجی حسنی، حسن سیاهکلی.
مشخصات نشر	:	تهران: آرنا، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	:	۲۶۵ ص.: مصور.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۳۵۶-۷۴۴-۳
وضعیت فهرست نویسی	:	فیا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Electric power system basics : for the nonelectrical professional, c2۰۰۷.
عنوان دیگر	:	معرفی سیستم‌های قدرت الکتریکی به زبان ساده.
عنوان دیگر	:	مبانی سیستم‌های قدرت الکتریکی (قابل استفاده برای رشته‌های غیربرقی).
موضوع	:	برق -- سیستم‌ها
موضوع	:	Electric power systems
شناسه جزود	:	حاجی حسنی، احسان، ۱۳۵۳-، مترجم
شناسه افزوده	:	سیاهکلی، حسن، ۱۳۴۹-، مترجم
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۷ ۶م۸ب/۱۰۰۱TK
رده بندی دیویی	:	۳۱/۶۲۱
شماره کتابشناسی مدر	:	۵۴۰۳۱۷۳



نشر آرنا

عنوان	:	مبانی سیستم قدرت برای مهندسان
نویسنده	:	استیون وارن بлум
مترجمان	:	احسان حاجی حسنی - حسن سیاهکلی
ناشر	:	آرنا
چاپ	:	اول ۱۳۹۷
شمارگان	:	۱۰۰۰ نسخه
قیمت:	:	۳۶۰۰۰ تومان
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۳۵۶-۷۴۴-۳

www.arnapub.com

پیش گفتار

اگر نگاهی هرچند کوتاه به تاریخ ببندازید، پیشرفت بشریت در قرن گذشته بی شک در این میان خودنمایی می کند پیشرفتی که بایستی خود را مدیون علم برق و الکتریسیته بدانند. هر زمانی که به تاریخچه برق رجوع می کنید دچار سردرگمی عمیقی می شوید و از خود می پرسید بالاخره برق را چه کسی اختراع کرد! هرچند الکتریسته به عنوان نتیجه یک واکنش شیمیایی که در یک پیل الکترولیت، از زمانی که **الساندرو ولتا** در سال ۱۸۰۰م این آزمایش را انجام داد، شناخته می شده است، اما تولید آن به این روش گران بوده و هست. در سال ۱۸۳۱م، **مایکل فارادی** ماشینی ابداع کرد که از حرکت چرخشی تولید الکتریسته می کرد، اما حدود پنجاه سال طول کشید تا این فن آوری از نظر اقتصادی مقرون به صرفه شود.

در سال ۱۸۰۸م، **توماس ادیسون** جایگزین عملی و تجاری را برای روشنایی های گازی و سیستم های حرارتی ایجاد کرد و به فروش رساند که از الکتریسته جریان مستقیم استفاده می کرد و در هر منطقه تولید و توزیع می شد. امروزه آنچنان ارکان حیاتی یک جامعه وابسته به نیروی برق شده است که حتی تصور زندگی بدون برق برای انسان مشکل است. دستیابی به انرژی الکتریکی از مهمترین دستاوردها در سطح جامعه بشری است که تحولات عظیم اقتصادی، سیاسی و فرهنگی را در جهان ایجاد کرده است. شاید آنچه بیش از خود برق اهمیت داشته و همچنین اهمیت برق را چندین برابر کرده، پیدایش وسایلی بوده که برای بهره خود را از نیروی برق دریافت می کردند و باعث بالابردن سطح رفاه و کیفیت زندگی انسان ها در سطح گامی و گامی می شدند. به جرات می توان گفت بیشترین حجم وسایل زندگی در جامعه امروز را وسایل الکتریکی تشکیل می دهند. عمده این وسایل در زندگی امروزی، نقش تبدیل نیروی برق به نیروی مکانیکی، حرارتی، شیمیایی و ... را به عهده دارند. به عبارت بهتر، می توان گفت رشد یک جامعه در شاخه های مختلف اقتصادی، فرهنگی، رفاهی و اجتماعی و غیره را می توان با سرانه مصرف انرژی الکتریکی و چگونگی بهر از مصرف آن در بخش های مولد، مورد سنجش و ارزیابی قرار داد. لذا متناسب با توسعه تکنولوژی و ابعاد وسیع تر زندگی مردم، مصرف انرژی الکتریکی به عنوان نیروی محرکه چرخ عظیم خدمات صنعتی و رفاهی به فزونی بوده است. قابلیت کنترل بهتر، قادر بودن به انجام هر کاری در بخش های مختلف صنعت کشاورزی، تجارت، مخابرات، حمل و نقل و خانگی و همچنین همواره و پیوسته در دسترس بودن، سهولت استفاده و نیز این ویژگی انرژی الکتریکی که قابل تولید و مصرف و بهره برداری به صورت خودکار بودن، باعث شده است که این انرژی در مقایسه با سایر انواع انرژی، مورد توجه بیشتری واقع شده و به طور وسیعی برای انواع کاربردهای خدماتی، صنعتی و رفاهی استفاده شود. مطالعه و بررسی این کتاب جهت آشنایی و کاربرد انرژی الکتریکی برای تمامی سطوح کارشناسی و مهندسی به کلیه مهندسان و کارشناسان توصیه می شود.

حسن سیاهکلی و احسان حاجی حسینی

آبان ۹۷

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
پیش گفتار.....	۴
پیش گفتار.....	۵
فصل اول-مروری بر سیستم، واژگان و مفاهیم اساسی.....	۱۸
اهداف فصل.....	۱۸
تاریخچه سیستم الکتریکی.....	۱۸
واژگان و مفاهیم پایه.....	۲۱
فصل دوم-تولید برق.....	۳۱
اهداف فصل.....	۳۱
تولید ولتاژ متناوب.....	۳۱
قانون فیزیکی شماره ۱.....	۳۲
تولید آنی (زمان واقعی).....	۳۷
اتصالات ژنراتور.....	۳۸
اتصالات ستاره و مثلث استاتور.....	۳۹
نیروگاه‌ها و محرک‌های اولیه.....	۴۱
فصل سوم-خطوط انتقال.....	۶۸
اهداف فصل.....	۶۸
خطوط انتقال.....	۶۸
هادیها.....	۷۱
فصل چهارم-پست‌های برق.....	۸۱

اهداف فصل.....	۸۱
تجهیزات پست برق.....	۸۱
تجهیزات پست برق مورد بحث در این فصل عبارتند از:.....	۸۱
ترانسفورماتورها.....	۸۲
ریکلوزرها یا بازبست.....	۱۰۴
سوئیچ‌های قطع یا سکسیونرها.....	۱۰۷
برقگیرها.....	۱۰۹
باسبار، کتیکی یا شینه.....	۱۱۱
تعمیرات پیشگرا نه.....	۱۱۹
فناوری مادون قرمز.....	۱۱۹
اهداف فصل.....	۱۲۱
سیستم‌های توزیع.....	۱۲۱
اتصال‌های ترانسفورماتور (مطالعه اختیاری تکمیلی).....	۱۳۳
فیوزها و فیوزهای خودکار.....	۱۴۱
پایه بالابرنده یا پایین‌برنده.....	۱۴۳
تغذیه زمینی.....	۱۴۴
کابل توزیع اولیه.....	۱۴۴
فصل ششم- مصرف.....	۱۵۲
اهداف فصل.....	۱۵۲
مصرف انرژی الکتریکی.....	۱۵۲
کارآمدی سیستم قدرت.....	۱۵۷
ضریب توان.....	۱۵۷

۱۶۷	تجهیزات ورودی تغذیه مصرفکننده
۱۸۲	فصل هفتم حفاظت از سیستم
۱۸۲	اهداف فصل
۱۸۲	انواع حفاظت
۱۸۳	تجهیزات و مفاهیم حفاظت سیستم
۱۸۸	حفاظت توزیع
۱۹۲	حفاظت انتقال
۱۹۵	حفاظت است برق
۱۹۹	همگام‌سازی ژنراتور
۲۰۱	حفاظت انتقال
۲۰۳	فصل هشتم سیستم‌های اتوماسیون یکپارچه
۲۰۳	اهداف فصل
۲۰۳	سیستم‌های قدرت یکپارچه
۲۰۴	شبکه‌های قدرت آمریکای شمالی
۲۰۵	محیط قانونگذاری
۲۰۹	برنامهریزی مبادلات
۲۱۲	بهره‌برداری سیستم قدرت یکپارچه
۲۱۸	تقاضای سیستم و بارگیری ژنراتور
۲۲۲	عملیات‌های قابل اطمینان شبکه
۲۳۰	فصل نهم مراکز کنترل سیستم و ارتباطات راه دور
۲۳۰	اهداف فصل
۲۳۰	مراکز کنترل سیستم قدرت

۲۳۲	اسکادا (سامانه سرپرستی و گردآوری داده).....
۲۳۵	سیستم‌های مدیریت انرژی.....
۲۴۰	مخابرات.....
۲۴۹	فصل دهم-حفاظت شخصی (ایمنی).....
۲۴۹	اهداف فصل.....
۲۴۹	ایمنی الکتریکی.....
۲۵۰	حفاظت شخصی.....
۲۶۲	پیوست.....
۲۶۲	پیوست الف-اشغال مناسب رابط ریشه میانگین مربعی.....
۲۶۴	پیوست ب: تحلیل آماری سرب توان.....

www.ketab.ir

درباره این کتاب

قصد این کتاب بر آن است که به متخصصان غیربرقی، درک پایه‌ای از سیستم‌های قدرت بزرگ و بهم پیوسته را در خصوص واژگان، مفاهیم الکتریکی، ملاحظات طراحی، روش‌های ساخت، استانداردهای صنعت، عملیات‌های اتاق کنترل در شرایط عادی و اضطراری، نگهداری، مصرف، ارتباطات راه دور و ایمنی بدهد. مثال‌های عملی، عکس‌ها، نقشه‌ها و نمودارهایی ارائه می‌شود تا به خواننده در درک اصول سیستم‌های قدرت کمک کند. هدف این کتاب آن است که متخصصان غیربرقی درکی عمیق از چگونگی کار سیستم‌های قدرت، توزیع برق در سیم‌کشی خانگی و مصرف انرژی توسط لوازم خانگی متصل به آن پیدا کنند.

این کتاب با واژگان و مفاهیم الکتریکی پایه مورد استفاده در این صنعت شروع می‌شود، سپس به تولید، از حال و توزیع توان الکتریکی می‌پردازد. خواننده با کلیه جنبه‌های مهم سیستم قدرت بهم پیوسته آشنا می‌شود. موضوع‌های دیگری که مورد بحث قرار می‌گیرند عبارتند از مدیریت انرژی، تعمیر و نگهداری سیستم الکتریکی، ویژگی‌های مصرف و جنبه‌های قانونی که به خوانندگان کمک می‌کنند تا سیستم‌های مدرن الکتریکی را درک نموده و به صورت مؤثری با مهندسان حرفه‌ای، تولیدکنندگان تجهیزات، کارکنان میدانی، مقامات قانونی، نمایندگان مجلس، سیاستمداران، قانونگذاران و دیگر کسانی که در صنعت برق کار می‌کنند، ارتباط برقرار نمایند.

خلاصه فصل‌ها

در این قسمت مرور کوتاهی از هر فصل ارائه می‌شود زیرا دانستن این که کجا و چه هنگامی باید موضوعات خاصی را انتظار داشت و دانستن اینکه اطلاعات چگونه در کتاب سازماندهی شده است به خواننده کمک می‌کند تا مطالب آسان‌تر درک کند. زبان مورد استفاده نشان‌دهنده واژگان واقعی صنعت است.

در فصل ۱، بحثی کوتاه ولی آموزنده از تاریخچه‌ای که منتهی به سیستم‌های قدرت امروزی شد ارائه شده است. سپس مرور کلی سیستم با بحثی کوتاه از تقسیم‌بندی‌های اصلی در سیستم قدرت ارائه می‌شود. تعاریف پایه و واژگان متداول نظیر ولتاژ، جریان، قدرت و انرژی مورد بحث قرار می‌گیرد. مفاهیم پایه نظیر جریان مستقیم و متناوب (یعنی dc و ac)، تولید تک‌فاز و سه فاز، انواع بارها و کارایی سیستم قدرت برای

آماده‌سازی جهت یادگیری پیشرفته‌تر ارائه می‌شود. برخی فرمول‌های الکتریکی بسیار اساسی در فصل ۱ و به دفعات متعدد در سراسر کتاب ارائه می‌گردد. این امر به صورت آگاهانه برای توضیح واژگان و مفاهیم مرتبط با سیستم‌های قدرت انجام می‌شود. خواننده نباید در مورد ریاضیات بترسد یا نگران باشد؛ از ریاضیات برای توصیف و توضیح روابط استفاده می‌شود.

مفاهیم پایه تولید برق در فصل ۲ ارائه می‌شود. این مفاهیم شامل قوانین فیزیکی هستند که امکان کار موتورها و ژنراتورها، حرکت‌دهنده‌های اصلی مرتبط با چرخش روتورهای انواع مختلف ژنراتورها و مولفه‌های اصلی مرتبط با تولید نیروی برق را فراهم می‌کنند. قوانین فیزیکی ارائه شده در این فصل اساس کلیه سیستم‌های قدرت را فراهم می‌کنند. در سراسر این کتاب، اصول الکتریکی تعیین شده در این فصل برای تولید سیستم قدرت کامل مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگام بحث در مورد اصول تولید نیروی برق، حرکت‌دهنده‌های مختلف مورد استفاده برای چرخاندن محورهای ژنراتور در نیروگاه‌ها مورد بحث قرار می‌گیرند. حرکت‌دهنده‌های مورد بحث عبارتند از توربین‌های بخار، آبی و بادی. برخی از سبب انرژی الکتریکی غیرچرخان نیز مورد بحث قرار می‌گیرند مانند سیستم‌های برق ترانسیمیسیون. مسائل اساسی محیطی مرتبط با هر محرک نیز بیان می‌گردد. در مورد مولفه‌های اصلی تجهیزات مرتبط با هر نوع نیروگاه نظیر بویلرها، برج‌های خنک‌کننده، پمپ‌های آب و پیلرها سیستم‌های فشار بالا و پایین بحث می‌شود. خواننده باید درکی اساسی از اصول نیروگاه در ارتباط با تولید در سیستم قدرت به دست آورد. دلایل استفاده از خطوط قدرت ولتاژ بسیار بالا در مقایسه با خطوط قدرت ولتاژ پایین در فصل ۳ توضیح داده می‌شود. مولفه‌های اساسی خطوط انتقال نظیر رساناها، عایق‌ها، فواصل هوایی و روکش‌کاری مورد بحث قرار می‌گیرد. خطوط انتقال جریان مستقیم (dc) و انتقال جریان متناوب (ac) همراه با انتقال زیرزمینی و هوایی مقایسه می‌شود. خواننده به خوبی پارامترهای طراحی خط انتقال و مزیت‌های استفاده از انتقال ولتاژ بالا را برای انتقال کارآمد توان الکتریکی درک خواهد کرد.

در فصل ۴ تجهیزات موجود در پست‌های برق انتقال‌دهنده بیان می‌شود. در این پست‌های برق، انرژی الکتریکی ولتاژ بسیار بالا به شکل بسیار قابل استفاده‌تر برای

توزیع و مصرف تبدیل می‌شود. این تجهیزات (نظیر ترانسفورماتورها، کلیدهای قدرت، سوئیچ‌های قطع‌کننده، ریگلاتورها و نظایر این‌ها) و رابطه آن‌ها با حفاظت سیستم، عملیات‌های نگهداری و عملیات‌های کنترل سیستم مورد بحث قرار خواهد گرفت.

در فصل ۵ توصیف می‌شود که چگونه سیستم‌های توزیع اولیه، اعم از هوایی و زمینی، برای مصرف‌کنندگان مسکونی، تجاری و صنعتی طراحی، بهره‌برداری و مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیستم توزیع بین فشارضعیف و نقطه اشتراک مصرف‌کننده (یعنی تجهیزات ورود سرویس) مورد توجه قرار می‌گیرد. پیکره‌بندی‌های شبکه هوایی و زمینی، طبقه‌بندی‌های ولتاژ و تجهیزات مشترک مورد استفاده در سیستم‌های توزیع بررسی می‌شوند. خواننده فراخواهد گرفت که چگونه سیستم‌های توزیع برای فراهم کردن تن الکتریکی قابل اطمینان به کاربران نهایی طراحی و ساخته می‌شوند.

تجهیزات واقع بین تجهیزات ورودی سرویس مشتری (یعنی نقطه اشتراک) و بارهای واقعی (وسایل مصرف‌کننده) در فصل ۶ مورد بررسی قرار می‌گیرد. تجهیزات مورد استفاده برای اتصال بارها، مسکری، تجاری و صنعتی نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت. ژنراتورهای اضطراری و سیستم‌های تامین قدرت بی‌وقفه^۱ (UPS) همراه با موضوعات، مسائل و راهکارهای مرتبط با مصرف‌کنندگان قدرت بالا مورد بحث قرار می‌گیرند. تفاوت بین «حفاظت سیستم» و «حفاظت شخصی» (یعنی ایمنی) نخست در فصل ۷ توضیح داده می‌شود که به «حفاظت سیستم» اختصاص یافته است؛ این که چگونه سیستم‌های الکتریکی در برابر خرابی‌ها، تجهیزات، برخوردهای صاعقه، عملیات‌های غیرعمدی و سایر رویدادهایی که باعث آشفتگی‌های سیستم می‌شوند، محافظت می‌شود. «حفاظت شخصی» در فصل ۱۰ مورد بحث قرار می‌گیرد.

سرویس قابل اطمینان به سیستم‌های رله حفاظتی متکی هستند که به رستری طراحی و به صورت دوره‌ای آزمون شوند. این سیستم‌ها و رله‌های حفاظتی آن‌ها برای خطوط انتقال، پست‌های برق و خطوط توزیع توضیح داده می‌شوند. خواننده یاد می‌گیرد که چگونه سیستم قدرت برای حفاظت از خودش طراحی می‌شود.

فصل ۸ با بحثی در مورد سه شبکه قدرت در آمریکای شمالی و چگونگی بخش‌بندی، بهره‌برداری، کنترل و تنظیم منطقه‌ای این شبکه‌ها آغاز می‌شود. چگونگی ارتباط درونی

سیستم‌های قدرت برای بهبود عملکرد، قابلیت اطمینان، پایداری و امنیت سراسری کل شبکه قدرت توضیح داده می‌شود. سایر موضوع‌ها عبارتند از موازنه تولید/بار، برنامه‌ریزی منابع و محدودیت‌های عملیاتی تحت شرایط عادی و اضطراری. نهایتاً، مفاهیم خاموشی‌های زنجیره‌ای، کاهش جریان برق، ریزش بار و سایر مسائل قابلیت اطمینان خدمت به همراه روش‌های مورد استفاده برای کمینه‌سازی قطع برق مورد بحث قرار می‌گیرند.

مراکز کنترل سیستم‌ها موضوع فصل ۹ هستند که در عملیات روزمره سیستم‌های قدرت اهمیت فوق‌العاده‌ای دارند. در این فصل توضیح داده می‌شود که چگونه اپراتورهای مرکز کنترل سیستم برنامه‌های پیشرفته رایانه‌ای را برای کنترل تجهیزات واقع در پست‌های برق در خارج از خطوط قدرت و سایت‌های مشتری مورد نظارت و استفاده قرار می‌دهند. این ابزارها به اپراتورهای سیستم قدرت امکان می‌دهند تا به صورت اقتصادی قدرت را توزیع کنند، تقاضاهای انرژی سیستم را برآورده نمایند و تجهیزات را طی فعالیتهای عادی و اضطراری نگهداری کنترل کنند. توضیح و استفاده از اسکادا (سیستم کنترل انرژی و اکتساب داده‌ها)^۱ و EMS (سیستم‌های مدیریت انرژی)^۲ در این فصل گنجانده شده است. کارکرد و مزایای انواع مختلف سیستم‌های ارتباطی مورد استفاده برای اتصال مراکز کنترل سیستم با واحدهای پایانه‌ای دور مورد بحث قرار می‌گیرد. این سیستم‌های ارتباطی شامل فیبرهای نوری، میکروویو، حامل خط قدرت، رادیو و مدارهای زمینی (سیم مسی) هستند. روش‌های مورد استفاده برای فراهم کردن رله حفاظتی، مراکز تماس خدمت مشتریان و سرویس‌های ارتباطی داده‌های دیجیتالی/صدایویدئو همگی به شکل اساسی مورد بحث قرار می‌گیرند.

این کتاب با فصل دهم به پایان می‌رسد که به ایمنی الکتریکی، روش‌های حفاظت شخصی و کار ایمن در اطراف سیستم‌های قدرت (اختصاص یافته است. تجهیزات حفاظت شخصی نظیر محصولات عایق الکتریکی و تجهیزات ضروری برای زمین کردن موثر توصیف می‌شوند. رویه‌های متداول ایمنی و روش‌های صحیح ایمنی مورد بحث قرار می‌گیرند. درک «اوج پتانسیل زمین» و «پتانسیل گام» پیامی قوی در خصوص

1 - Supervisory Control and Data Acquisition

2 - Energy Management Systems

احتیاط‌های صحیح حول خطوط قدرت، ایستگاه‌های فرعی و حتی اطراف خانه در بردارند.

در بیشتر فصل‌ها، برخی بخش‌ها با ارائه جزئیات یا زمینه تکمیلی مفاهیم خاصی را تشریح می‌کنند. این بخش‌ها با «مطالعه تکمیلی اختیاری» مشخص شده‌اند و می‌توان از مطالعه آن‌ها صرف‌نظر کرد.

استیون دبلیو بلوم

کارلسباد، کالیفرنیا

مه ۲۰۰۷

www.ketab.ir