

ویلیام اچ کرسٹینگ

بررسی و مدل سازی شبکه های توزیع برق

مترجم:
امین رئیس زاده

انتشارات نوید شیراز

سرشناسه	کرسټینگ، ویلیام اچ. Kersting, William H
عنوان و نام پدیدآور	بررسی و مدل‌سازی شبکه‌های توزیع برق / ویلیام اچ. کرسټینگ؛ مترجم امین رئیس‌زاده.
مشخصات نشر	شیراز: نوید شیراز، ۱۳۹۱.
مشخصات ناشری	۳۳۶ ص: مصور.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۹۲-۲۳۲-۹
وضعیت فهرست نویسی	فیا
یادداشت	عنوان اصلی: Distribution system modeling and analysis
عنوان دیگر	تحلیل و مدل‌سازی سیستم‌های توزیع.
موضوع	برق نیرو -- توزیع -- الگوهای ریاضی
شناسه افزوده	رئیس‌زاده، امین، ۱۳۶۰ -
رده بندی کنگره	۴۹۱ ت ۳ ک ۴ / TK۳۰۰۱
رده بندی دیویی	۶۳/۷۹۳
شماره کتابشناسی ملی	۲۸۷۹۰۶۵



بررسی و مدل‌سازی شبکه‌های توزیع برق

مترجم: امین رئیس‌زاده

طرح جلد: سمید فضلی □ لیتوگرافی و چاپ: واصف □ تیراز: ۱۴۰۰ جلد

چاپ اول: ۱۳۹۱ □ حق چاپ محفوظ

ناشر: انتشارات نوید شیراز

دفتر شیراز - تلفن ۶۲-۲۲۲۶۶۶۱-۲۲۲۹۶۷۶-۰۷۱۱ □ ص. پ: ۷۱۳۶۵/۶۶۶

دفتر تهران - تلفن ۵۹۴۵-۸۸۹۰۵۹۴۵-۸۸۹۲۱۵۲۲-۰۲۱

پست الکترونیکی: info@navideshiraz.com

وب سایت: www.navideshiraz.com

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۹۲-۲۳۲-۹ ISBN: 978-600-192-232-9

۱۲/۵۰۰ تومان

پیشگفتار مدیر عامل

شرکتهای توزیع نیروی برق به عنوان آخرین حلقه از زنجیر فرآیند تولید، انتقال و توزیع در سالیان اخیر به فرصت سازترین بخش صنعت برق کشور تبدیل شده اند. استقلال این شرکتها و ارتباط مستقیم آنها با مشتریان به ضرورت ارتقاء جایگاه این بخش افزوده است. مدیریت مصرف، پیک سایی، افزایش ضریب بار، کاهش خاموشی، افزایش قابلیت اطمینان، اتوماسیون شبکه، افزایش ضریب بهره برداری، هوشمند سازی شبکه، *MIS*، *GIS*، مکانیزاسیون، توسعه مبتنی بر طرح جامع، ارائه خدمات غیر حضوری، توسعه *IT*، افزایش وصولی، کاهش قیمت تمام شده، افزایش بهره وری، برون سپاری، خصوصی سازی، توسعه مولدهای مقیاس کوچک، توسعه تحقیقات، بکارگیری فن آوریهای نوین، ساماندهی شبکه، کاهش تلفات، نوسازی و توسعه شبکه، افزایش سلامت اداری و ... بخشی از انتظاراتی است که بر عهده شرکتهای توزیع گذاشته شده است.

توسعه توانمندیهای فنی و علمی کارکنان بخش توزیع شرط اولیه پیشودن نقشه راه استراتژی منتهی به چشم انداز مورد نظر و تحقق انتظارات و مأموریت ابلاغ شده است. تجربه کشورهای توسعه یافته نشانگر این واقعیت است که تحقیق و پژوهش علاوه بر اینکه موجب توسعه توانمندیهای فنی و علمی شده است، بسیاری از نارسائیهای مشکلات را برطرف نموده است. لذا عمل مبتنی بر پژوهش و دستاوردهای علمی به لحاظ جلوگیری از اتلاف منابع سرمایه ای، افزایش دقت و سرعت و در نتیجه افزایش بهره وری در حوزه های مختلف کاری از ضروریتهایی است که مدیران ارشد بخش توزیع را

بیش از پیش به خود متوجه ساخته است. در همین راستا تالیف، ترجمه و نشر کتاب های علمی و فنی توزیع در دستور کار شرکتهای توزیع قرار گرفته است. گروه تحقیقات توزیع نیروی برق شیراز نیز ترجمه کتاب بررسی و مدلسازی شبکه های توزیع را به عنوان اولین تجربه به کلیه همکاران بخش توزیع کشور تقدیم می نماید، به این امید که به سهم خود گامی هرچند کوچک در دایره دانش توزیع برداشته شود.

سید محمد حسن صحرائیان

پیشگفتار مولف

در طی ۴۰ سال گذشته کتاب ها و مقالات متعددی در ارتباط با بررسی و مدلسازی سیستم های قدرت نوشته شده است که سهم بسیار زیادی از این تحقیقات مرتبط با سیستم های انتقال انرژی و ژنراتورهای سینکرون است و در مقابل توجه کمتری به شبکه های توزیع و بخش های تشکیل دهنده آن شده است. در نتیجه مهندسان توزیع نسبت به مهندسان سیستم ابزار محدودتری برای تجزیه و تحلیل شبکه های توزیع در شرایط پایدار (پخش بار) و خطا (اتصال کوتاه) در اختیار دارند. این موضوع باعث میشود که مشخصه های عملیاتی فیدرهای توزیع برای این مهندسان در حاله ای از ابهام باقی بماند. در سال های اخیر توجه بیشتری به مدلسازی و بررسی شبکه های توزیع شده است. امروزه برنامه های کامپیوتری برای شبیه سازی عملکرد شبکه های توزیع در اختیار مهندسان این رشته قرار گرفته است. با ابزاری که امروزه برای تحلیل شبکه های توزیع در اختیار داریم، استفاده از تجهیزات جدید در این نوع شبکه ها را می توانیم مدل کنیم. علاوه بر آن امروزه با کمک ابزار طراحی و مدلسازی مهندسان قادر هستند که در سیستمهای توزیع خازن ها را به نحوی جابجایی کنند که تلفات توان به شکل بهینه کاهش یابد. همچنین می توانند کلیدزنی تحت شرایط عادی و اضطراری را تفکیک نمایند و از سوی دیگر مطالعات اتصال کوتاه داده های مورد نیاز برای حفاظت بهینه از شبکه ها توسط ادوات حفاظتی مانند فیوزها، رکلوزرها، بریکرها و رله ها را فراهم آورده است. به بیان ساده تر مهندسان امروزه ابزار مورد نیاز خود را در دسترس دارند. با وجود اینکه

امروزه شبیه سازها و برنامه های کامپیوتری بسیار توانمندی در اختیار مهندسان و طراحان قرار دارد، باز هم عدم درک صحیح از شبکه های توزیع می تواند منجر به ورود داده های اشتباهی به برنامه ها گردد که نهایتاً نتایج غیر قابل قبولی را ایجاد نماید. کاربران این برنامه ها باید به طور کامل از روش های بررسی و مدلسازی اطلاع داشته باشند زیرا بدون داشتن درک درستی از مدل، عملکرد و خصوصیات شبکه های توزیع به مشکلات عمده ای در زمینه طراحی و بهره برداری از شبکه ها برخورد خواهند کرد.

بیشتر مراجع موجود در زمینه سیستم های قدرت به مدلسازی و بررسی سیستم های سه فاز متعادل پرداخته اند. در این مدل ها به علت تعادل سیستم، تحلیل و مدلسازی تکفاز کفایت می کند. در صورتیکه این نوع مدلسازی برای شبکه های توزیع کافی نمی باشد. سیستم های توزیع به شکل ذاتی نامتعادلند در نتیجه برای مدلسازی آنها یک سیستم سه فاز با تمام جزئیاتش باید مورد بررسی قرار گیرد. تفاوت بسیاری بین یک برنامه کامپیوتری که برای تحلیل یک مدار سه فاز ساده مورد استفاده قرار می گیرد با برنامه دیگری که برای تحلیل شبکه های توزیع به کار گرفته می شود وجود دارد. داده های مورد نیاز برای تحلیل شبکه های توزیع بسیار گسترده تر می باشد که ممکن است بسیاری از آنها در دسترس نباشد.

یک دانشجوی یا مهندس برق برای سال های زیادی در طول کارش نیاز به کمک مراجع، در جهت درک مدل پایه ای برای عملکرد شبکه های توزیع دارد و با کسب این دانش، مشکل مطرح شده بر طرف می شود. در این کتاب فرض بر این است که خواننده اطلاعات اولیه راجع به ترانسفورماتورها، ماشین های الکتریکی، خطوط انتقال و مولفه های متقارن را دارد. در بیشتر دانشگاه ها این مباحث در یک ترم تدریس می شود، بنابراین در هر جای این کتاب که نیاز باشد، توضیح مختصری در مورد تئوری این مباحث مطرح شده است. مثال های زیادی در متن کتاب وجود دارد که علاوه بر اینکه کاربرد مدلسازی را بیان میکند، درک درستی از مسئله و راه حل آن را تفهیم می نماید. به خوانندگان توصیه میشود که این مثال ها را با دقت مطالعه و مسائل پایان هر فصل را در جهت یادگیری استفاده از مدل ها و ایجاد درک بهتر از خصوصیات کارکرد عناصری که مدل می شوند، بررسی و حل نمایند. خوانندگان در حل مسائل باید به این نکته توجه نمایند که پاسخ مقدار زیادی از مسائل به شدت به مقادیر عددی حساس می باشد، بنابراین در محاسبات آنها می بایستی از ابزارهای محاسباتی نظیر *Mathcad* استفاده نمایند. در

نتیجه دانشجویان ملزم به یادگیری این نوع برنامه ها هستند و از سوی دیگر به برنامه نویسی کامپیوتری در حل بسیاری از مسائل تشویق می شوند. در زیر به اختصار به رئوس مطالب بحث شده در فصل های مختلف می پردازیم.

فصل اول به معرفی اجزای اصلی و نوع داده های مورد نیاز در مدلسازی سیستم های توزیع می پردازد.

در فصل دوم در مورد بار در شبکه های توزیع بحث می شود که با مطالعه این فصل خواننده در می یابد که بار در شبکه های توزیع به طور دائمی تغییر می کند و باید در تمام مطالعات در نظر گرفته شود. در فصل سوم چند روش تجزیه و تحلیل تقریبی برای شبکه های توزیع معرفی می گردد. در فصل چهارم که یک فصل بسیار مهم می باشد، یک مدل دقیق برای مدلسازی خط معرفی می گردد. چگونگی دخیل نمودن بارگذاری نامتعادل و آرایش های نامتقارن در محاسبات اپدانس خط به تفصیل بحث شده است. این محاسبات شامل خطوط هوایی و زمینی می باشد. فصل پنجم نیز مانند فصل چهارم می باشد با این تفاوت که به محاسبه ادمیتانس نسبت اختصاص دارد. در فصل ششم به معرفی ماتریس های تعمیم یافته که برای مدل کردن تجهیزات اصلی شبکه های توزیع استفاده میشود پرداخته شده است. این فصل به مدل خط سه فاز نامتعادل اختصاص دارد. فصل هفتم، تنظیم ولتاژ را مورد بررسی قرار داده است. در ابتدا تئوری مختصری از ترانسفورماتور ارائه می گردد و سپس به معرفی مدل سه فاز رگولاتورهای پله ای ولتاژ و مدار کنترلی آنها می پردازد. این مدل ها نیز مانند مدل های خط از ماتریس های تعمیم یافته استفاده می کند. فصل هشتم به اتصالات استاندارد رایج ترانسفورماتورهای سه فاز در شبکه های توزیع می پردازد. این مدل ها نیز به فرم ماتریس های تعمیم یافته می باشند. فصل نهم نیز به مدل کردن انواع بارهای شبکه های توزیع اختصاص دارد و در نهایت در فصل دهم با استفاده از تمامی موارد مطرح شده در فصل های قبل، به مدل کردن فیدرهای توزیع می پردازیم. روش تکرار پیشرو معرفی و توضیح داده می شود. همچنین مدل سه فاز برای مطالعات اتصال کوتاه نیز معرفی و شرح داده می شود.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول - مقدمه ای بر شبکه های توزیع

- ۱-۱- سیستم قدرت ۲
- ۲-۱- پست های توزیع ۲
- ۳-۱- فیدرهای شعاعی ۶
- ۴-۱- نقشه فیدرهای توزیع ۷
- ۵-۱- مشخصه های الکتریکی فیدرهای توزیع ۹
- ۶-۱- خلاصه ۱۱

فصل دوم - ماهیت بار

- ۱-۲- تعاریف ۱۳
- ۲-۲- بار مشترکین انفرادی ۱۵
- ۱-۲-۲- دیماند ۱۵
- ۲-۲-۲- ماکزیمم دیماند ۱۶

۱۶	۳-۲-۲- دیمانند متوسط
۱۷	۴-۲-۲- ضریب بار
۱۷	۳-۲- بارگیری از ترانسفورماتورهای توزیع
۱۹	۱-۳-۲- دیمانند همزمان
۱۹	۲-۳-۲- ماکزیمم دیمانند همزمان
۲۰	۳-۳-۲- منحنی تداوم بار
۲۰	۴-۳-۲- ماکزیمم دیمانند غیر همزمان
۲۱	۵-۳-۲- ضریب پراکندگی
۲۲	۶-۳-۲- ضریب دیمانند
۲۳	۷-۳-۲- ضریب بهره برداری
۲۳	۸-۳-۲- پراکندگی بار
۲۳	۴-۲- بار فیدر
۲۴	۱-۴-۲- تخصیص بار
۲۴	۱-۱-۴-۲- کاربرد ضریب پراکندگی
۲۵	۲-۱-۴-۲- ممیزی بار
۲۹	۳-۱-۴-۲- مدیریت بار ترانسفورماتور
۳۰	۴-۱-۴-۲- ماکزیمم دیمانند اندازه گیری شده فیدر
۳۲	۵-۱-۴-۲- از چه روشی استفاده کنیم؟
۳۳	۲-۴-۲- محاسبات افت ولتاژ با استفاده از بار تخصیص یافته
۳۳	۱-۲-۴-۲- استفاده از ضرایب پراکندگی
۳۶	۲-۲-۴-۲- تخصیص بار بر اساس مقادیر نامی ترانسفورماتور
۳۷	۵-۲- خلاصه

فصل سوم - تجزیه و تحلیل به کمک روش های تقریبی

۴۵	۱-۳- افت ولتاژ
۴۷	۲-۳- امیدانس خط
۴۸	۳-۳- ضرایب K
۴۸	۱-۳-۳- ضرایب K_{drop}
۵۱	۲-۳-۳- ضرایب K_{rise}

۵۲.....	۴-۳- توزیع یکنواخت بار
۵۳.....	۳-۴-۱- افت ولتاژ
۵۵.....	۳-۴-۲- تلفات توان
۵۷.....	۳-۴-۳- مدل دقیق بارهای انباشت شده در یک مکان
۶۰.....	۳-۵-۱- بارهای انباشت شده در مکان های دارای موقعیت هندسی مختلف
۶۱.....	۳-۵-۲- مسطیل
۶۵.....	۳-۵-۳- مثلث
۷۰.....	۳-۵-۳- دوزنقه
۷۵.....	۳-۶- خلاصه

فصل چهارم - امپدانس سری خطوط هوایی و زمینی

۸۳.....	۴-۱-۱- امپدانس سری خطوط هوایی
۸۴.....	۴-۱-۱-۱- خطوط سه فاز جایگشت شده
۸۵.....	۴-۱-۲- خطوط توزیع جابجا نشده
۸۷.....	۴-۱-۳- معادلات کارسون
۸۹.....	۴-۱-۴- معادلات تصحیح شده کارسون
۹۲.....	۴-۱-۵- ماتریس امپدانس اولیه برای خطوط هوایی
۹۳.....	۴-۱-۶- ماتریس امپدانس فاز خطوط هوایی
۹۵.....	۴-۱-۷- امپدانس های توالی
۱۰۱.....	۴-۲- امپدانس سری خطوط زمینی
۱۰۲.....	۴-۲-۱- کابل هم مرکز
۱۰۷.....	۴-۲-۲- کابل های نوار پیچی شده
۱۱۱.....	۴-۳- خلاصه

فصل پنجم - ادمیتانس شنت خطوط هوایی و زمینی

۱۱۸.....	۵-۱- معادله کلی افت ولتاژ
۱۱۸.....	۵-۲- خطوط هوایی
۱۲۳.....	۵-۳- کابل نول هم مرکز خطوط زمینی

۱۲۷.....	۴-۵ کابل های محافظ پیچیده شده خطوط زمینی
۱۲۹.....	۵-۵ خلاصه

فصل ششم - مدل های خطوط شبکه های توزیع

۱۳۱.....	۱-۶ مدل دقیق یک خط
۱۳۸.....	۲-۶ مدل خط اصلاح شده
۱۴۱.....	۳-۶ مدل تقریبی قطعه خط
۱۴۶.....	۴-۶ خلاصه

فصل هفتم - تنظیم ولتاژ

۱۵۱.....	۱-۷ تنظیم ولتاژهای استاندارد
۱۵۳.....	۲-۷ تئوری ترانسفورماتورهای دو سیم پیچه
۱۵۸.....	۳-۷ اتو ترانسفورماتورهای دو سیم پیچه
۱۶۲.....	۱-۳-۷ مقادیر نامی اتو ترانسفورماتورها
۱۶۴.....	۲-۳-۷ امپدانس پریونیت
۱۶۷.....	۴-۷ رگولاتورهای پله ای ولتاژ
۱۶۹.....	۱-۴-۷ رگولاتورهای پله ای ولتاژ تکفاز
۱۷۰.....	۱-۱-۴-۷ رگولاتورهای پله ای ولتاژ نوع A
۱۷۱.....	۲-۱-۴-۷ رگولاتورهای پله ای ولتاژ نوع B
۱۷۴.....	۳-۱-۴-۷ ثابت های تعمیم یافته
۱۷۵.....	۴-۱-۴-۷ جبران ساز افت خط
۱۸۰.....	۲-۴-۷ رگولاتورهای پله ای ولتاژ سه فاز
۱۸۱.....	۱-۲-۴-۷ رگولاتورهای دارای اتصال ستاره
۱۸۷.....	۲-۲-۴-۷ رگولاتورهای دارای اتصال مثلث
۱۸۹.....	۳-۲-۴-۷ رگولاتورهای دارای اتصال مثلث باز
۱۹۹.....	۵-۷ خلاصه

فصل هشتم - انواع اتصالات ترانسفورماتورهای سه فاز

۲۰۸	۱-۸- مقدمه
۲۰۹	۲-۸- ماتریس های تعمیم یافته
۲۰۹	۳-۸- ترانسفورماتور کاهنده با اتصال مثلث - ستاره زمین شده
۲۰۹	۱-۳-۸- ولتاژها
۲۱۴	۲-۳-۸- جریان ها
۲۱۹	۴-۸- اتصال ستاره زمین نشده - مثلث در حالت کاهنده
۲۲۹	۵-۸- اتصال ستاره زمین شده - ستاره زمین شده
۲۳۱	۶-۸- اتصال مثلث - مثلث
۲۴۱	۷-۸- اتصال ستاره باز - مثلث باز
۲۴۷	۸-۸- مدار معادل تونن
۲۵۰	۹-۸- خلاصه

فصل نهم - مدل های بار

۲۵۸	۱-۹- بارهای دارای اتصال ستاره
۲۵۸	۱-۱-۹- بارهای توان اکتیو و راکتیو ثابت
۲۵۹	۲-۱-۹- بارهای امپدانس ثابت
۲۶۰	۳-۱-۹- بارهای جریان ثابت
۲۶۰	۴-۱-۹- بارهای مرکب
۲۶۲	۲-۹- بارهای دارای اتصال مثلث
۲۶۲	۱-۲-۹- بارهای توان اکتیو و راکتیو ثابت
۲۶۳	۲-۲-۹- بارهای امپدانس ثابت
۲۶۴	۳-۲-۹- بارهای جریان ثابت
۲۶۴	۴-۲-۹- بارهای مرکب
۲۶۴	۵-۲-۹- جریان های خط تغذیه کننده بارهای دارای اتصال مثلث
۲۶۴	۳-۹- بارهای دو فاز و تکفاز
۲۶۴	۴-۹- خازن های شنت
۲۶۵	۱-۴-۹- بانک خازنی با اتصال ستاره
۲۶۵	۲-۴-۹- بانک خازنی با اتصال اتصال

فصل دهم - بررسی فیدرهای توزیع

۱-۱۰- مطالعات پخش بار	۲۷۵
۱-۱-۱۰- روش های تکرار نردبانی	۲۷۶
۱-۱-۱۰- شبکه خطی	۲۷۶
۱-۱-۱۰- شبکه غیر خطی	۲۷۷
۱-۱-۲- فیدر عمومی	۲۸۰
۱-۱-۳- فیدرهای توزیع سه فاز نامتعادل	۲۸۳
۱-۱-۳-۱- تجهیزات سری	۲۸۳
۱-۱-۳-۲- تجهیزات شنت	۲۸۴
۱-۱-۴- به کار بردن تکنیک های تکراری پیشرو	۲۸۵
۱-۱-۵- به کار بردن همه تکنیک ها	۲۸۶
۱-۱-۶- تخصیص بار	۲۹۵
۱-۱-۷- خلاصه مطالعات پخش بار	۲۹۶
۱-۲- مطالعات اتصال کوتاه	۲۹۷
۱-۲-۱- تئوری عمومی	۲۹۷
۱-۲-۲- اتصال کوتاه های خاص	۳۰۱
۱-۳- خلاصه	۳۰۶