

تحلیل

سیستم‌های قدرت الکتریکی

مدرن

تألیف: وانگ - سونگ - اروینگ

ترجمه: دکتر نعمت طالبی



انتشارات قائم

سرشناسه	وانگ، شیفا، ۱۹۲۶ م.
عنوان و نام پدیدآور	(Wang, X. (Xifan) تحلیل سیستم‌های قدرت الکتریکی مدرن / [شیفا وانگ، یونگ‌هوا سونگ، مالکوم ایروینگ]: ترجمه نعمت طالبی.
مشخصات نشر	تهران: موسسه انتشارات قائم، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	۴۳۲ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۳۰۰۰۰۰ رال: 978-964-6139-52-7
وضعیت فهرست‌نویسی	فبا
پادداشت	عنوان اصلی: Modern Power systems analysis, 2008.
موضوع	برق -- سیستم‌ها
شناسه افزوده	سونگ، یونگ‌هوا
شناسه افزوده	Song, Yong Hua
شناسه افزوده	ایروینگ، مالکوم
شناسه افزوده	Irving, Malcolm
شناسه افزوده	طالبی، نعمت، ۱۳۲۵ م. مرجم
رده بندی کنگره	۱۳۹۲ ت۳ و ۱/TK1۰۰۱
رده بندی دیویی	۶۲۱/۳۱
شماره کتابشناسی ملی	۳۱۲۸۳۱۲

انتشارات قائم

تحلیل سیستم‌های قدرت الکتریکی مدرن

تألیف : پروفیسور وانگ - سونگ - اروینگ

ترجم : دکتر نعمت طالبی

ناشر : انتشارات قائم

نوبت چاپ : اول - ۱۳۹۲

تیراژ : ۵۰۰ جلد

شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۶۱۳۹-۵۲-۷

ISBN: 978-964-6139-52-7

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است و هرگونه استفاده غیر مجاز از این اثر ممنوع است.

مقابل دانشگاه تهران، خیابان فخر رازی، بعد از چهارراه روانمهر، کوچه دیده‌بان، پلاک ۲ (۱۳۰ قدیم)

صندوق پستی: ۱۳۱۴۵/۱۷۵۵ - تلفن: ۶۶۴۱۵۷۷۲ - تلفکس: ۶۶۹۵۰۹۶۵

مرکز پخش: کتاب‌فروشی محسن ۶۶۴۹۲۶۶۲

۳۰۰۰۰ تومان

به نام خدا

پیش درآمد

صنعت برق صنعتی بزرگ با فن آوری پیچیده، یک زیرساخت ملی بنیادی است. امنیت و قابلیت اعتماد به آن، اثرات فوق العاده‌ای بر روی اقتصاد ملی می‌گذارد. یک سیستم قدرت الکتریکی سیستمی با مقیاس بزرگ است. سؤالاتی مانند چگونه مشخصه‌های سیستم‌های قدرت الکتریکی دقیقاً واکنش نشان می‌دهند؟ چگونه بطور مؤثری ویژگی‌های بهره‌برداری آنها را تحلیل کنیم؟ و چگونه بهبود عملکرد و بهره‌برداری بیشتری را بوجود آوریم؟ همیشه در پیش‌روی تحقیقات سیستم‌های قدرت الکتریکی بوده‌اند.

تحلیل سیستم قدرت به عنوان معیار اصلی و اساسی برای مطالعه مسائل طراحی و بهره‌برداری است. در قرن گذشته محققان سیستم‌های قدرت با کاوش خود توسعه‌هایی در این حوزه ایجاد نمودند و پیشرفت بزرگی در تحلیل نظری و محاسبات عددی بدست آورده‌اند و کتابهای درسی و جزوات بسیار عالی نوشته‌اند.

در طی ۲۰ سال گذشته تغییرات در سیستم‌های قدرت الکتریکی و دیگر فن‌آوری‌های مرتبط با آن تأثیر شگرفی در روشها و روندهای تحلیل سیستم‌های قدرت الکتریکی گذاشته‌اند. اول، پیشرفت فن‌آوری کامپیوترهای دیجیتال بطور قابل ملاحظه‌ای عملکرد سخت‌افزار و نرم‌افزار را بهبود بخشید. حالا، به‌سادگی با مسئله پخش بار با بیش از ده هزار گره مواجه می‌شویم. پخش بار بهینه و تحلیل امنیت ماندگار که به عنوان مسائل سخت تلقی می‌شدند. امروزه بصورت بلادرنگ بکار گرفته می‌شوند.

دوم، بکارگیری فن‌آوری‌های HVDC و خطوط انتقال AC قابل انعطاف (FACTS) به معیارهای کنترلی جدید سیستم‌های قدرت الکتریکی افزوده شده‌اند و ظرفیت حمل سیستم‌های انتقال قدرت را افزایش داده، قابلیت کنترل پیشرفته ایجاد و مشخصه‌های بهره‌برداری را بهبود بخشیده‌اند. ولیکن این فن‌آوری‌ها، چالش‌های جدیدی به حوزه تحلیل سیستم‌های قدرت الکتریکی وارد نموده‌اند. ما بایستی مدل‌های الکتریکی متناظر با این ادوات

جدید را بسازیم و الگوریتم‌هایی برای تحلیل استاتیک و دینامیک سیستم‌های قدرت دربردارنده این ادوات، توسعه دهیم. به علاوه، رشد سریع فن‌آوری ارتباطات امکان نظارت بلادرنگ بر سیستم‌های قدرت الکتریکی را میسر ساخته است. بنابراین، تقاضای نرم افزار برای تحلیل سیستم‌های قدرت الکتریکی بیشتر و بیشتر احساس می‌شود.

بیشتر اینکه، تجدید ساختار صنعت برق در سرتاسر جهان و مقررات زدایی سیستم تجمیع شده با ساختار عمودی پیشین را به قسمت‌های مختلف تجزیه کرده است و فقط مسئله انتقال سیستم قدرت اکنون با قراردادهای پیچیده دوطرفه و بازارهای محلی (خرده فروشی) رو در روست. موضوعات جدید مانند خدمات جانبی انتقال و گرفتگی خطوط انتقال مطرح شده‌اند.

در سال‌های اخیر چندین خاموشی کلی در سرتاسر جهان اتفاق افتاده است، بخصوص خاموشی کلی «8.13» در شبکه شرقی آمریکا و کانادا و خاموشی‌های کلی که بطور مداوم در دیگر کشورهای جهان اتفاق افتاده، توجه زیادی را به خود جلب نموده است.

تمامی این جنبه‌ها نیازمند نظریه‌ها، مدل‌ها و الگوریتم‌های جدید برای تحلیل سیستم‌های قدرت است. در چنین محیطی این کتاب بسط یافته است. این کتاب به صورت کتاب درسی برای دانشجویان سال آخر مهندسی و دانشجویان تحصیلات تکمیلی و همچنین به عنوان کتاب مرجعی برای محققان سیستم قدرت نوشته شده است.

ما از پشتیبانی سازمانهای مختلف حمایت از تحقیقات، همکارانشان و دانشجویان بویژه، حمایت خاص MSBRP چین «RPSRDERM» تشکر می‌نمائیم. تقدیر خود را از پروفسور Fang و پروفسور Du برای فراهم کردن مواد اصلی فصل‌های ۵ و ۶ و ۷ و ۸ بترتیب، اعلام می‌نمائیم. همچنین تقدیر خود را از همکاران زیر برای مشارکتشان در فصل‌های مختلف این کتاب بیان می‌کنیم: پروفسور Bie برای فصل ۱ و ۳؛ پروفسور Wang برای فصل‌های ۲ و ۴؛ دکتر Hu برای فصل ۳؛ دکتر Ding برای فصل ۴؛ دکتر Duan برای فصل ۵ و ۶؛ پروفسور Gang برای فصل ۷؛ و پروفسور Wang برای فصل ۶ و ۸.

فهرست مطالب

فصل اول - مدل ریاضی و حل شبکه الکتریکی	۱۵
۱-۱ مقدمه	۱۵
۱-۲ مفاهیم بنیادی (اساسی)	۱۶
۱-۲-۱ معادله گره و معادله حلقه	۱۶
۱-۲-۲ مدار معادل ترانسفورماتور و ترانسفورماتور جابجاکننده فاز	۲۴
۱-۳ ماتریس ادمیتانس گرهی	۲۹
۱-۳-۱ مفهوم اصلی ماتریس ادمیتانس گرهی	۲۹
۱-۳-۲ فرمول بندی و اصلاح ماتریس ادمیتانس گرهی	۳۳
۱-۴ حل معادلات شبکه های الکتریکی	۳۸
۱-۴-۱ روش حذفی گاوس	۳۸
۱-۴-۲ جداسازی مثلثی و جدول عامل	۴۴
۱-۴-۳ تکنیکهای تَنکی	۵۰
۱-۴-۴ روش بردار تَنک	۵۴
۱-۴-۵ شمایهای مرتب سازی بهینه گره های شبکه الکتریکی	۶۱
۱-۵-۱ ماتریس امپدانس گرهی	۶۶
۱-۵-۱ مفهوم اصلی ماتریس امپدانس گرهی	۶۶
۱-۵-۲ شکل دهی ماتریس امپدانس گرهی با استفاده از ماتریس ادمیتانس گرهی	۶۸
۱-۵-۳ شکل دهی ماتریس امپدانس گرهی با روش اضافه کردن (افزودن)	۷۵
تفکر و حل مسئله	۸۹
فصل دوم - تحلیل پخش بار	۹۱
۲-۱ مقدمه	۹۱
۲-۲ فرمول بندی مسئله پخش بار	۹۴
۲-۲-۱ دسته بندی انواع گره ها	۹۴
۲-۲-۲ معادلات توان گره	۹۷

۱۰۰.....	۲-۳ حل پخش بار با روش نیوتن
۱۰۰.....	۲-۳-۱ مفهوم اصلی روش نیوتن
۱۰۴.....	۲-۳-۲ معادلات اصلاح
۱۱۰.....	۲-۳-۳ فرایند حل روش نیوتن
۱۱۲.....	۲-۳-۴ حل معادلات اصلاح
۱۲۲.....	۲-۴ روش تفکیک شده سریع
۱۲۲.....	۲-۴-۱ مقدمه‌ای بر روش تفکیک شده سریع
۱۲۵.....	۲-۴-۲ معادلات اصلاح روش تفکیک شده سریع
۱۲۸.....	۲-۴-۳ روندنمای روش تفکیک شده سریع
۱۳۵.....	۲-۵ تحلیل امنیت ماندگار و روش جبرانسازی
۱۳۵.....	۲-۵-۱ مروری بر تحلیل امنیت ماندگار
۱۳۶.....	۲-۵-۲ روش جبرانسازی
۱۴۲.....	۲-۶ روش پخش بار DC
۱۴۲.....	۲-۶-۱ مدل پخش بار DC
۱۴۴.....	۲-۶-۲ تحلیل بیرون‌رفت از مدار با استفاده از روش پخش بار DC
۱۴۶.....	۲-۶-۳ روش رتبه‌بندی اقتصادات و آزمون N-1
۱۵۰.....	تفکر و حل مسأله
۱۵۳.....	فصل سوم - تحلیل تصادفی امنیت سیستم‌های قدرت الکتریکی
۱۵۳.....	۳-۱ مقدمه
۱۵۴.....	۳-۲ مفاهیم اصلی تئوری احتمال
۱۵۴.....	۳-۲-۱ احتمال وقایع تصادفی
۱۵۶.....	۳-۲-۲ متغیر تصادفی و توزیع آن
۱۵۸.....	۳-۲-۳ مشخصه‌های عددی متغیر تصادفی
۱۵۸.....	۳-۲-۳-۱ امید ریاضی (مقدار متوسط)
۱۵۹.....	۳-۲-۳-۲ واریانس (پراکندگی)
۱۵۹.....	۳-۲-۴ کانولوشن متغیر تصادفی
۱۶۰.....	۳-۲-۵ چندین توزیع متغیر تصادفی معمول
۱۶۰.....	۳-۲-۵-۱ توزیع Binomial
۱۶۱.....	۳-۲-۵-۲ توزیع یکنواخت
۱۶۲.....	۳-۲-۵-۳ توزیع نرمال

۱۶۳	۳-۲-۶ فرآیند مارکوف.....
۱۶۵	۳-۳ مدل احتمالی سیستم قدرت.....
۱۶۵	۳-۳-۱ مدل احتمالی بار.....
۱۶۶	۳-۳-۲ مدل‌های احتمالی اجزاء سیستم قدرت.....
۱۶۷	۳-۳-۳ جدول خروج اجزاء سیستم قدرت.....
۱۷۰	۳-۴ روش شبیه سازی مونت کارلو.....
۱۷۰	۳-۴-۱ نظریه اصلی روش شبیه سازی مونت کارلو.....
۱۷۱	۳-۴-۱-۱ همگرایی روش شبیه سازی مونت کارلو.....
۱۷۲	۳-۴-۱-۲ نرخ همگرایی روش شبیه سازی مونت کارلو.....
۱۷۲	۳-۴-۱-۳ خطای روش شبیه سازی مونت کارلو.....
۱۷۳	۳-۴-۱-۴ روندنمای روش شبیه سازی مونت کارلو.....
۱۷۳	۳-۴-۲ نمونه‌گیری از حالت بهره‌برداری سیستم.....
۱۷۳	۳-۴-۲-۱ عدد تصادفی.....
۱۷۵	۳-۴-۲-۲ نمونه‌گیری از حالت‌های بهره‌برداری سیستم.....
۱۷۶	۳-۴-۳ مدل ارزیابی حالت.....
۱۷۶	۳-۴-۳-۱ مدل پخش بار.....
۱۷۶	۳-۴-۳-۲ مدل کاهش بار.....
۱۷۷	۳-۴-۴ شاخص‌های ارزیابی قابلیت اعتماد.....
۱۷۷	۳-۴-۴-۱ احتمال از دست رفتن بار (LOLP).....
۱۷۸	۳-۴-۴-۲ امید انرژی تأمین نشده (EENS).....
۱۷۸	۳-۴-۵ روند نمای ارزیابی کیفیت سیستم مرکب.....
۱۸۴	۳-۴-۶ روش شبیه سازی زنجیره مارکوف - مونت کارلو (MCMC).....
۱۸۸	۳-۴-۶-۱ مقایسه همگرایی الگوریتمها.....
۱۸۹	۳-۴-۶-۲ مقایسه پایداری الگوریتمها.....
۱۹۰	۳-۵ تحلیل پخش بار احتمالی.....
۱۹۱	۳-۵-۱ تجمیع توزیع تصادفی.....
۱۹۸	۳-۵-۲ خطی سازی معادله پخش بار.....
۲۰۱	۳-۵-۳ فرآیند محاسبه پخش بار احتمالی.....
۲۰۹	۳-۶ تحلیل سیلان توان احتمالی.....
۲۱۲	۳-۶-۲ مدل گراف شبکه.....
۲۱۹	۳-۶-۳ نقاط کران پایینی جوابهای یافتنی سیلان.....

۲۲۰	۴-۶ قابلیت اعتماد سیستم انتقال
۲۲۴	تفکر و حل مسئله
۲۲۷	فصل چهارم - تحلیل بخش بار در محیط بازار
۲۲۷	۴-۱ مقدمه
۲۲۸	۴-۱-۱ دارندگان انتقال (TO)
۲۲۸	۴-۱-۲ بهره‌برداری مستقل (IO)
۲۲۹	۴-۱-۳ مبادله توان
۲۲۹	۴-۱-۴ خدمات جانبی
۲۲۹	۴-۱-۵ هماهنگ کننده زمانبندی
۲۳۱	۴-۲ بخش بار بهینه
۲۳۱	۴-۲-۱ فرمول بندی عام مسئله OPF
۲۳۳	۴-۲-۲ روشهایی برای OPF
۲۳۳	۴-۲-۲-۱ برنامه‌ریزی غیرخطی
۲۳۴	۴-۲-۲-۲ برنامه‌ریزی مربعی
۲۳۴	۴-۲-۲-۳ برنامه‌ریزی خطی
۲۳۵	۴-۲-۲-۴ برنامه‌ریزی مختلط
۲۳۵	۴-۲-۲-۵ روش نقطه داخلی (IPM)
۲۳۷	۴-۲-۲-۶ روش هوش مصنوعی (ATM)
۲۳۸	۴-۲-۳ روش نقطه میانی برای مسئله OPF
۲۴۶	۴-۲-۳-۱ ماتریس ضرایب سمت چپ
۲۵۳	۴-۲-۳-۲ بردار ثابت سمت راست
۲۵۵	۴-۳ بکارگیری OPF در بازار برق
۲۵۵	۴-۳-۱ مرور
۲۶۲	۴-۳-۲ روش مدیریت گرفتگی براساس OPF
۲۶۸	۴-۴ ردگیری سیلان توان
۲۷۰	۴-۴-۱ قواعد تفکیک جریان
۲۷۳	۴-۴-۲ مدل ریاضی تخصیص تلفات
۲۷۵	۴-۴-۳ مسئله سهم استفاده از تسهیلات انتقال
۲۷۹	۴-۴-۴ روش شناسی نظریه گراف
۲۸۳	۴-۵ قابلیت انتقال در دسترس سیستم انتقال

۲۸۳.....	۴-۵-۱ معرفی قابلیت انتقال در دسترس (ATC).....
۲۸۵.....	۴-۵-۱-۱ محاسبه ATC براساس مدل یقینی.....
۲۸۶.....	۴-۵-۱-۲ محاسبه ATC براساس مدل احتمالاتی.....
۲۸۸.....	۴-۵-۲ بکارگیری شبیه سازی مونت کارلو در محاسبه ATC.....
۲۸۹.....	۴-۵-۳ محاسبه ATC با روش تحلیل حساسیت.....
۲۹۱.....	۴-۵-۳-۱ تنظیم حالت سیستم.....
۲۹۲.....	۴-۵-۳-۲ محاسبه ATC1.....
۲۹۳.....	۴-۵-۳-۳ محاسبه ATC2.....
۲۹۸.....	تفکر و حل مسئله.....
۲۹۹.....	فصل پنجم - HVDC و FACTS.....
۲۹۹.....	۵-۱ مقدمه.....
۳۰۳.....	۵-۲ اصول اساسی و مدل های ریاضی HVDC.....
۳۰۳.....	۵-۲-۱ اصول اساسی HVDC.....
۳۰۷.....	۵-۲-۲ معادلات اساسی مبدل با صرف نظر کردن از Lc.....
۳۱۴.....	۵-۲-۳ معادلات اساسی مبدل با در نظر گرفتن Lc.....
۳۲۱.....	۵-۲-۴ مدارهای معادل مبدل.....
۳۲۵.....	۵-۲-۵ بهره برداری پل چندگانه.....
۳۲۹.....	۵-۲-۶ کنترل مبدل.....
۳۳۲.....	۵-۳ محاسبات پخش بار AC/DC در سیستم های بهم پیوسته.....
۳۳۲.....	۵-۳-۱ معادلات اساسی مبدل در سیستم پریونیتی.....
۳۳۵.....	۵-۳-۲ معادلات پخش بار.....
۳۳۸.....	۵-۳-۳ ماتریس ژاکوبین معادلات پخش بار.....
۳۴۱.....	۵-۳-۴ فرمول تکرار یکپارچه برای AC/DC بهم پیوسته.....
۳۴۷.....	۵-۳-۵ تکرار متناوب سیستم های بهم پیوسته AC/DC.....
۳۵۲.....	۵-۴ مدل های ریاضی دینامیک HVDC.....
۳۵۶.....	۵-۵ اصول اساسی و مدل های ریاضی FACTS.....
۳۵۶.....	۵-۵-۱ اصول اساسی و مدل ریاضی SVC.....
۳۶۴.....	۵-۵-۲ اصول اساسی و مدل ریاضی STATCOM.....
۳۷۰.....	۵-۵-۳ اصول اساسی و مدل ریاضی TCSC.....
۳۷۷.....	۵-۵-۴ اصول اساسی و مدل ریاضی SSSC.....

۳۸۱	۵-۵-۵ اصول اساسی و مدل ریاضی TCPST
۳۸۴	۵-۵-۶ اصول اساسی و مدل ریاضی UPFC
۳۹۱	تفکر و حل مسئله
۳۹۳	فصل ششم - مدل ریاضی ژنراتور سنکرون و بار
۳۹۳	۶-۱ مقدمه
۳۹۵	۶-۲ مدل ریاضی ژنراتور سنکرون
۳۹۶	۶-۲-۱ معادلات اصلی ریاضی ژنراتور سنکرون
۳۹۶	۶-۲-۱-۱ معادلات ریاضی سه فاز
۳۹۹	۶-۲-۱-۲ معادلات اصلی در مختصات dq0
۴۰۲	۶-۲-۱-۲ معادلات پریونیتی ژنراتور سنکرون
۴۰۵	۶-۲-۲ معادله ریاضی ژنراتور سنکرون با استفاده از پارامترهای ماشین
۴۱۲	۶-۲-۳ مدل ریاضی ساده شده ژنراتور سنکرون
۴۱۶	۶-۲-۴ معادلات حالت ماندگار و نمودار فازوری
۴۱۹	۶-۲-۵ معادلات ریاضی با در نظر گرفتن اثر اشباع
۴۲۳	۶-۲-۶ معادله حرکت رتور ژنراتور سنکرون
۴۲۳	۶-۲-۶-۱ معادله حرکت رتور یازده رتور صلب
۴۲۵	۶-۲-۶-۲ گشتاور الکترومغناطیسی و توان ژنراتور سنکرون
۴۲۶	۶-۳ مدل ریاضی سیستمهای تحریک ژنراتور
۴۲۸	۶-۳-۱ مدل ریاضی تحریک گر
۴۲۸	۶-۳-۱-۱ مدل ریاضی تحریک DC
۴۳۲	۶-۳-۱-۲ مدل ریاضی تحریک AC
۴۳۵	۶-۳-۱-۳ مدل ریاضی یکسوساز توان
۴۴۰	۶-۳-۳ محدودسازها
۴۴۱	۶-۳-۴ مدل ریاضی پایدارساز سیستم قدرت
۴۴۱	۶-۳-۵ مدل ریاضی سیستمهای تحریک
۴۴۲	۶-۳-۵-۱ سیستم تحریک با تحریک گر DC
۴۴۳	۶-۳-۵-۲ سیستم تحریک با تحریک گر AC
۴۴۵	۶-۳-۵-۳ سیستم تحریک گر ساکن
۴۴۶	۶-۴ مدل ریاضی محرک اولیه و سیستم گاورنر
۴۴۶	۶-۴-۱ مدل ریاضی توربین آبی و سیستم گاورنر

۴۴۶	۶-۴-۱-۱ مدل ریاضی توربین آبی
۴۵۱	۶-۴-۱-۲ مدل ریاضی سیستم گاورنر توربین آبی
۴۵۴	۶-۴-۲ مدل ریاضی توربین بخار و سیستم گاورنر
۴۵۴	۶-۴-۲-۱ مدل ریاضی توربین بخار
۴۵۷	۶-۴-۲-۲ مدل ریاضی سیستم گاورنر توربین بخار
۴۶۰	۶-۵ مدل ریاضی بار
۴۶۲	۶-۵-۱ مدل بار ساکن (استاتیک)
۴۶۴	۶-۵-۲ مدل بار دینامیکی
۴۶۵	۶-۵-۲-۱ مدل دینامیک بار با در نظر گرفتن گذراهای مکانیکی یک موتور القایی
۴۶۸	۶-۵-۲-۲ مدل دینامیکی با در نظر گرفتن گذراهای الکترومکانیکی یک موتور القایی
۴۷۳	فصل هفتم - تحلیل پایداری گذرای سیستمهای قدرت
۴۷۳	۷-۱ مقدمه
۴۷۶	۷-۲ روشهای عددی برای تحلیل پایداری گذرا
۴۷۶	۷-۲-۱ روشهای عددی برای معادلات دیفرانسیل معمولی
۴۷۶	۷-۲-۱-۱ مفهوم اصلی
۴۸۱	۷-۲-۱-۲ روش اویلر بهبود یافته
۴۸۶	۷-۲-۱-۳ روش رانگ - کوتا
۴۸۹	۷-۲-۱-۴ روشهای انتگرال گیری ضمنی
۴۹۳	۷-۲-۱-۵ انتخاب یک روش عددی برای معادلات دیفرانسیل معمولی
۴۹۵	۷-۲-۲ روشهای عددی برای معادلات دیفرانسیل - جبری
۴۹۵	۷-۲-۲-۱ روش حل بدیل
۴۹۷	۷-۲-۲-۲ روش حل همزمان
۴۹۷	۷-۲-۳ روند عام برای تحلیل پایداری گذرا
۵۰۱	۷-۳ مدل ریاضی شبکه برای مطالعه پایداری گذرا
۵۰۲	۷-۳-۱ رابطه بین شبکه و وسایل دینامیک
۵۰۲	۷-۳-۱-۱ رابطه بین ژنراتورها و شبکه
۵۰۶	۷-۳-۱-۲ رابطه بین بارها و شبکه
۵۰۸	۷-۳-۱-۳ رابطه بین ادوات FACTS و شبکه
۵۰۹	۷-۳-۱-۴ رابطه بین HVDC دو پایانه‌ای و شبکه
۵۱۰	۷-۳-۲ مدل سازی کلیدزنی شبکه و خطاها

۷-۴	تحلیل پایداری گذرا با مدل ساده شده.....	۵۱۸
۷-۴-۱	محاسبه مقادیر اولیه.....	۵۱۹
۷-۴-۲	حل معادلات شبکه با روش حذفی گاوس.....	۵۲۱
۷-۴-۳	حل معادلات دیفرانسیل با روش اویلر بهبود یافته.....	۵۲۲
۷-۴-۴	روش‌های انتگرال‌گیری عددی برای تحلیل پایداری گذرا تحت مدل کلاسیک.....	۵۳۰
۷-۵	تحلیل پایداری گذرا با حضور ادوات FACTS.....	۵۳۶
۷-۵-۱	مقادیر اولیه و معادلات تفاضلی ژنراتورها.....	۵۳۸
۷-۵-۱-۱	ژنراتورها.....	۵۳۸
۷-۵-۱-۲	سیستم تحریک و PSS.....	۵۴۱
۷-۵-۱-۳	محرك‌های اولیه و سیستم‌های کنترل سرعت آنها.....	۵۴۵
۷-۵-۲	مقادیر اولیه معادلات تفاضلی HVDC و FACTS.....	۵۴۹
۷-۵-۲-۱	SVC.....	۵۴۹
۷-۵-۲-۳	TCSC.....	۵۵۱
۷-۵-۲-۳	سیستم‌های HVDC.....	۵۵۲
۷-۵-۳	شکل‌دهی معادلات شبکه.....	۵۵۸
۷-۵-۳-۱	گره‌های متصل شده بصورت موازی با وسایل دینامیکی.....	۵۵۸
۷-۵-۳-۳	یک گره ارتباطی یا گره خط‌آدار.....	۵۶۰
۷-۵-۴	حل همزمان معادلات تفاضلی و شبکه.....	۵۶۰
	تفکر و حل مسئله.....	۵۶۱

۵

فصل هشتم - تحلیل پایداری سیگنال کوچک سیستم‌های قدرت.....	۵۶۳
۸-۱ مقدمه.....	۵۶۳
۸-۲ معادلات خطی شده اجزاء دینامیک سیستم قدرت.....	۵۶۸
۸-۲-۱ معادله خطی شده ژنراتور سنکرون.....	۵۶۸
۸-۲-۱-۱ معادله خطی شده هر قسمت از یک ژنراتور سنکرون.....	۵۶۸
۸-۲-۲ توصیف ماتریسی معادله خطی‌سازی شده واحد ژنراتوری سنکرون و تبدیل مختصات.....	۵۷۱
۸-۲-۲ معادله خطی شده بار.....	۵۷۵
۸-۲-۳ معادله خطی شده ادوات FACTS.....	۵۷۷
۸-۲-۴ معادله خطی شده سیستم انتقال HVDC.....	۵۷۸
۸-۳ گام‌های تحلیل پایداری سیگنال کوچک.....	۵۸۱

۵۸۱	۸-۳-۱ معادله شبکه
۵۸۲	۸-۳-۲ معادلات دیفرانسیل خطی شده کل سیستم قدرت
۵۸۶	۸-۳-۳ بسته نرم‌افزاری برای تحلیل پایداری سیگنال کوچک
۵۹۵	۸-۴ مسئله مقدار ویژه در تحلیل پایداری سیگنال کوچک
۵۹۵	۸-۴-۱ مشخصه ماتریس حالت داده شده توسط پاسخ ویژه‌اش
۵۹۵	۸-۴-۱-۱ مقدار ویژه
۵۹۶	۸-۴-۱-۲ بردارهای ویژه
۵۹۸	۸-۴-۱-۳ حرکت آزاد سیستم دینامیکی
۵۹۹	۸-۴-۲ تحلیل مهال سیستمهای خطی
۵۹۹	۸-۴-۲-۱ مد و بردار ویژه
۶۰۰	۸-۴-۲-۲ حساسیت مقدار ویژه
۶۰۱	۸-۴-۲-۳ ضریب مشارکت
۶۰۲	۸-۴-۳ محاسبه مقادیر ویژه
۶۰۲	۸-۴-۳-۱ روش QR
۶۰۴	۸-۴-۳-۲ روش توان
۶۰۶	۸-۴-۴ روش معکوس توان
۶۰۸	۸-۴-۴ پاسخ ویژه ماتریس تنک
۶۰۸	۸-۴-۴-۱ تحقق تنک روش توان
۶۰۹	۸-۴-۴-۲ تحقق تنک روش معکوس توان
۶۰۹	۸-۴-۴-۳ حساسیت مقدار ویژه به اسکالر α
۶۱۰	۸-۴-۵ بکارگیری تحلیل حساسیت مقدار ویژه
۶۱۱	۸-۵ تحلیل نوسان سیستم قدرت
۶۳۲	مراجع