

۲۲۶۴۶۹۷

به نام او که همه‌تی از اوست

سیستم‌های قدرت جزیره‌ای

تألیف:

مهندس احسان اکبری

www.ketab.ir



انتشارات آریا دانش

نوبت: اول ۱۴۰۰

سرشناسه	: اکبری، احسان، ۱۳۶۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: سیستم‌های قدرت جزیره‌ای / تألیف احسان اکبری.
مشخصات نشر	: تهران: آریا دانش، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۲ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۷۶۶۲-۵۷-۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: ص.ع انگلیسی: E. Akbari. Island Power Systems.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۸۴ - ۱۹۱.
موضوع	: برق -- سیستم‌ها -- کنترل خودکار Electric power systems -- Automatic control برق -- سیستم‌ها -- تدابیر ایمنی Electric power systems -- Security measures
رده بندی کنگره	: TK۱۰۰۷
رده بندی دیویی	: ۷۳۱/۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۶۹۵۲۹۹
اطلاعات رکورد	: فیبا
کتابشناسی	

هر گونه تکثیر کامل یا قسمتی از کتاب بدون اجازه پدید آورنده، یا ناقص خلاف قانون، شرع و اخلاق است. موارد تخلف را به دفتر مرکزی "انتشارات آریا دانش" گزارش فرمایید.

عنوان: سیستم‌های قدرت جزیره‌ای

تألیف: احسان اکبری

صفحه آرا: مهدی رادمهر

ناشر: آریا دانش

شمارگان: ۱۰۰ نسخه ⊕ **نوبت: اول ۱۴۰۰**

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۷۶۶۲-۵۷-۳

قیمت: ۱۲۰۰۰۰ تومان

مرکز پخش: تهران، میدان انقلاب، خیابان آزادی، خیابان بهزاد، پلاک ۳۲ واحد ۱۴ تلفن ۸۸۵۶۲۲۷۳

www.ariyadanesh.ir

حق چاپ جهت ناشر محفوظ است

فهرست مطالب

فصل اول: پدیده جزیره‌ای.....	۱
مقدمه.....	۲
فصل دوم: تعاریف، مفاهیم و مطالعات اولیه.....	۷
مقدمه.....	۸
مطالعات انجام شده در تشخیص پایداری گذرا.....	۸
مطالعات انجام شده در مورد همسویی (COHERENCY) و تعیین معادله‌های دینامیکی.....	۱۰
مطالعات انجام گرفته در حوزه زمان.....	۱۱
مطالعات انجام گرفته در حوزه فرکانس.....	۱۱
مطالعات انجام شده در مورد همسویی و جزیره‌سازی سیستم.....	۱۳
مطالعات انجام گرفته در حوزه جزیره‌سازی.....	۱۶
نقش کاهش شبکه در جزیره‌سازی.....	۲۳
روش جزایر توده‌ای یا متراکم.....	۲۶
بارزدایی در جزایر.....	۲۷
تعریف حذف بار.....	۲۷
ضرورت جزیره‌سازی در سیستم‌های قدرت.....	۲۸
جزیره‌سازی سیستم‌های قدرت به هم پیوسته.....	۲۹
استراتژی جزیره‌سازی.....	۳۲
فضای جستجوی اصلی (واقعی).....	۳۲
استراتژی شدنی.....	۳۳
فضای استراتژی شدنی.....	۳۳
ایده‌ها و نوآوری‌ها.....	۳۳
نیازمندی‌ها و ملاحظات لازم در تشکیل جزیره‌ها.....	۳۵
الگوهای حفاظتی خاص.....	۳۶
معیارهای مورد نیاز در طراحی SPS.....	۳۷
روش پیشنهادی.....	۳۸
فصل سوم: پایداری سیستم‌های قدرت.....	۴۹
پایداری سیستم‌های قدرت.....	۵۰
پایداری گذرا.....	۵۰
مدل بدون ورودی.....	۵۲
معادلات حالت در چهارچوب مرکز زاویه (COA).....	۵۲

۵۳	قضیه لیاپانف.....
۵۴	تابع لیاپانف برای یک سیستم چند ماشینه.....
۵۵	محاسبه ناحیه همگرایی.....
۵۵	الف- صفحات مرزی انرژی پتانسیل (PEBS).....
۵۷	ب- روش نقطه تعادل ناپایدار (U.E.P) (کنترل کننده مرزی (BCU).....
۵۷	پایداری فرکانس.....
۵۸	معیار برابری سطوح توسعه یافته (EEAC: EXTENDED EQUAL AREA CRITERION).....
۶۳	فصل چهارم: کاهش مرتبه سیستم‌های قدرت و خوشه‌بندی اطلاعات.....
۶۴	کاهش مرتبه سیستم‌های قدرت و خوشه بندی اطلاعات.....
۶۵	خوشه‌بندی تقسیم‌گر $K - Means$
۶۶	بکارگیری روش‌های خوشه بندی در سیستم‌های قدرت.....
۶۷	روش‌های معادل‌سازی دینامیکی.....
۷۱	روش تحلیل شکل نرمال (NFA: Normal Form Analysis).....
۷۴	آنالیز شکل نرمال در نزدیکی تشدیدهای قوی [۹۴-۹۵].....
۷۷	روش زیرفضای Krylov.....
۷۸	روش اسکالر Arnoldi.....
۷۸	روش بلوکی Arnoldi :.....
۸۰	تطبیق گشتاورها و زیرفضای Krylov.....
۸۱	کاهش مرتبه با زیر فضای Krylov و نظریه همسویی.....
۸۳	تئوری اختلالات ویژه (PA: PERTURBATION ANALYSIS).....
۸۶	نظریه گراف و کاربرد آن در جزیره‌سازی سیستم‌های قدرت.....
۸۶	تعریف گراف.....
۸۷	تعریف گراف‌های متصل.....
۸۷	ماتریس همسایگی یک گراف.....
۸۷	اتصال (CONNECTIVITY).....
۸۷	گراف جهت دار.....
۸۷	تعریف حداقل کاتست.....
۸۸	تعریف ادغام رئوس (گوشه‌ها).....
۸۸	حداقل درخت پوشا.....
۸۸	درخت استینیر.....
۸۹	تحقق تئوری گراف در سیستم قدرت.....

۸۹	 بکارگیری الگوریتم پریم (Prim Algorithm) جهت حل مساله درخت پوشای حداقل
۹۰	 الگوریتم PRIM
۹۱	 الگوریتم Kruskal
۹۲	 الگوریتم Baruvka
۹۴	 قابلیت اطمینان سیستم قدرت
۹۵	 حالت نرمال
۹۵	 وضعیت هشدار
۹۶	 وضعیت اضطراری
۹۶	 وضعیت فوق بحرانی
۹۶	 وضعیت بازیابی
۹۷	 بازیابی سیستم قدرت (Power System Restoration)
۹۸	 تعادل توان راکتیو
۹۸	 تعادل توان اکتیو (تعادل تولید و مصرف)
۹۹	 هماهنگی تولید و مصرف
۹۹	 محل خطا
۱۰۰	 اختلاف فاز
۱۰۰	 جزیره سازی سیستم قدرت
۱۰۳	 بایرداری فرکانس
۱۰۴	 ناپایداری ولتاژ
۱۰۴	 ناپایداری زاویه ای گذرا
۱۰۴	 عوامل موثر در پدیده فروپاشی سیستم [۱۱۱]
۱۰۵	 راه حل های بلندمدت
۱۰۶	 دستیابی به کنترل های هوشمند
۱۰۶	 جزیره سازی
۱۰۶	 حذف بار
۱۰۶	 طراحی یک سیستم انعطاف پذیر به جای یک سیستم شکننده
۱۰۸	 بازیابی از خروج های متوالی
۱۰۹	 امنیت استاتیکی و دینامیکی سیستم های قدرت
۱۱۰	 معیارهای امنیت
۱۱۱	 روش های ارزیابی امنیت
۱۱۱	 روش انتگرال گیری عددی

پیش‌گفتار مؤلف

شبکه قدرت بزرگترین و پیچیده‌ترین شبکه به هم پیوسته‌ای است که تاکنون بدست بشر طراحی شده است از اینرو کار کنترل آن بسیار مشکل می‌باشد. با ظهور خصوصی‌سازی و تجدید ساختار شبکه قدرت، بهره‌برداری از سیستم قدرت به دلیل فشارهای تجدید ساختار شبکه، که اهداف جدید فنی و اقتصادی را در بهره‌برداری از سیستم قدرت دنبال می‌کند، تنش‌های فزاینده‌ای را برای سیستم قدرت تحمیل کرده است. زمانی که سیستم قدرت در نزدیکی حدود بهره‌برداری کار می‌کند، اتصالات ضعیف، حوادث غیرمترقبه، خطاهای پنهان در سیستم‌های حفاظتی، خطاهای انسانی و نیز یک مجموعه‌ای از عوامل دیگر، ممکن است باعث ناپایداری سیستم شود. از اینرو مطالعه سیستماتیک شبکه قدرت و طراحی یک استراتژی جامع برای کنترل آن مورد توجه روزافزون قرار گرفته است حفظ امنیت دینامیکی سیستم قدرت در مقابل یک اغتشاش بزرگ دارای بیشترین اهمیت است. تشخیص سریع، دقیق و بلادرنگ ناپایداری برای بکارگیری برخی اعمال کنترل اضطراری ضروری می‌باشد. در یک سیستم قدرت خطاهای شدید ممکن است پایداری سیستم را کاهش داده و باعث ایجاد نوسانات و حتی از دست رفتن همگامی بین گروه‌هایی از ماشین‌ها شوند. در صورتی که ژنراتورها نتوانند به طور موثری دوباره باهم همگام شده و پایدار گردند احتمال جزیره‌شدن شبکه وجود دارد. متأسفانه در حالت کلی ممکن است سیستم قدرت را تا فروپاشی کامل پیش ببرد. به نظر می‌رسد از میان این گونه سیستم‌های کنترلی، جزیره‌سازی شبکه به عنوان آخرین حربه در جلوگیری از فروپاشی سیستم قدرت گزینه مناسبی باشد.

جزیره‌سازی به این معنی است که مرکز کنترل برای شکستن سیستم قدرت یکپارچه جهت تشکیل جزایر پایدار مطابق با گروه‌های ژنراتورهای همسو (Coherence Generators Groups) و نیازمندی‌های دیگر شبکه، به صورت کنترل‌شده برخی از خطوط شبکه را از مدار خارج کند. این امر می‌تواند از وقوع فروپاشی کلی سیستم جلوگیری کرده و یا حداقل بخشی از سیستم را از وقوع حوادث سهمگین نجات داده و با وجود تقسیم شبکه قدرت به چندین جزیره غیرهمگام، هر کدام از جزایر پایدار بوده و انرژی الکتریکی را برای مصرف‌کننده‌ها تامین کند و از طرف دیگر زمان بازیابی و یکپارچه‌سازی دوباره شبکه را که امری حیاتی است تا اندازه قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

کتاب حاضر در هشت فصل سازماندهی شده که به مبحث جزیره‌سازی سیستم‌های قدرت به عنوان یکی از راه‌کارهای پیشگیری از فروپاشی شبکه می‌پردازد. این کتاب قدم به قدم به معرفی و بیان سیستم‌های قدرت جزیره‌ای پرداخته است. مطالب آرایه شده در این کتاب به صورت زیر خواهد بود:

در فصل اول پدیده جزیره‌ای شدن مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در فصل دوم، تعاریف، مفاهیم و مطالعات اولیه کتاب به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه اساس این کتاب بر پایداری سیستم استوار است از اینرو فصل سوم این کتاب به بررسی پایداری سیستم‌های قدرت اختصاص یافته است. در فصل چهارم مفاهیم مربوط به کاهش مرتبه سیستم‌های قدرت بزرگ و نظریه

خوشه‌بندی اطلاعات مورد مطالعه قرار خواهد گرفت و جایگاه آنها جهت استفاده در این کتاب مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و ارتباط آن با مراحل تهیه این کتاب بیان خواهد شد. با توجه به لزوم حل مساله جزیره‌سازی با استفاده از نظریه گراف و بررسی باینری سیستم‌های قدرت و امکان بیان بسیاری از مسائل پیچیده شبکه‌های قدرت با استفاده از آن در فصل پنجم این کتاب به بررسی نظریه اساسی این تنوری در حل مساله جزیره‌سازی خواهیم پرداخت. قابلیت اطمینان و امنیت سیستم‌های قدرت جز لاینفک در بحث جزیره‌سازی بوده و بنابراین فصل ششم کتاب اختصاص به مفاهیم قابلیت اطمینان و مخصوصاً امنیت سیستم‌های قدرت دارد. از آنجا که جزیره‌سازی در زیر مجموعه مسائل مربوط به امنیت سیستم قابل طرح است لذا شناخت جایگاه آن در بحث امنیت سیستم دارای اهمیت فراوان است. نتایج حاصل از انجام این کتاب در فصل هفتم به صورت مفصل ارایه خواهد گردید که شامل نتایج بکارگیری ایده‌های بیان شده به منظور جزیره‌سازی سیستم‌های قدرت به هم پیوسته می‌باشد. الگوریتم ارایه شده در این کتاب بر روی دو شبکه نمونه اعمال گردیده و نتایج آن به تفصیل آورده شده است. فصل هشتم نیز حاوی نتیجه‌گیری می‌باشد. ضمائم مربوطه و مراجع و مآخذ نیز در انتهای کتاب آورده شده است. بیان سر راست مطالب به همراه تحلیل‌های ریاضی و بررسی نتایج شبیه‌سازی از یک سو و اعتبار سنجی نتایج نظری و شبیه‌سازی از طریق بررسی نتایج تجربی از سوی دیگر سبب شده است که این کتاب در نوع خود منحصر بفرد باشد.

همچنین بر خود وظیفه می‌دانم از همکاری صمیمانه و بیدریغ همکار گرانقدرم جناب آقای دکتر فرهاد الماسی استادیار دانشگاه صنعتی همدان که در تحریر و تنظیم این کتاب اینجانب را یاری نموده است تشکر و قدردانی نمایم.

امید است مطالب کتاب کمکی باشد برای دانشجویان مهندسی برق قدرت و بویژه برای مهندسین شاغل در وزارت نیرو بمنظور بهره‌برداری بهینه از شبکه قدرت کشور عزیز اسلامی ایران. صاحب نظران محترم می‌توانند نظرات خود را به ایمیل زیر ارسال نمایند:

akbari.ieee@gmail.com

مهندس احسان اکبری