

دینامیک و پایداری سیستم‌های قدرت

تألیف :

پیتر دبلیو سائور - م. آ. پای

ترجمه :

پروفسور محمود جوراییان (استاد دانشگاه شهید چمران اهواز - استاد نمونه ی کشوری سال ۱۳۹۱)
دکتر علیرضا صفاریان (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز)
مهندس کرامت باقری گله (دانشجوی دکتری برق قدرت دانشگاه بین المللی کیش)
مهندس مهیار عباسی (دانشجوی دکتری دانشگاه شهید چمران اهواز)



انتشارات قدیس

www. Qeddis. com

سرشناسه	ساور، پیتر دبلیو. Sauer, Peter W.
عنوان و نام پدیدآور	دینامیک و پایداری سیستم‌های قدرت / تالیف پیتر دبلیو ساتور، مرآ پای؛ ترجمه محمود جورابیان... [و دیگران].
مشخصات نشر	تهران: قدیس، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۳۲۰ ص.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۸۰۵۰-۲۸-۵
وضعیت فهرست نویسی	فیا
یادداشت	مترجمان محمود جورابیان، علیرضا صفاریان، کرامت باقری‌گله، مهیار عباسی.
یادداشت	عنوان اصلی: Power system dynamics and stability.
موضوع	برق -- سیستم‌ها -- پایداری
موضوع	Electric power system stability:
موضوع	برق -- سیستم‌ها -- کنترل
موضوع	Electric power systems -- Control:
موضوع	ماشین‌آلات برقی سنکرون -- الگوهای ریاضی
موضوع	Electric machinery, Synchronous -- Mathematical models:
شناسه افزوده	پای، ام. ا.، ۱۹۳۱ - م.
شناسه افزوده	Pai, M. A.
شناسه افزوده	جورابیان، محمود، ۱۳۲۰ - مترجم
شماره کتابشناسی ملی	۲۴۰۱۵۹۶



انتشارات قدیس

دینامیک و پایداری سیستم‌های قدرت

ترجمه: پروفسور محمود جورابیان، دکتر علیرضا صفاریان

مهندس کرامت باقری‌گله، مهندس مهیار عباسی

ناشر: قدیس

صفحه آرای: قدیس

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: رادین

نوبت و سال چاپ: اول، ۱۳۹۵

قیمت: ۷۵۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۰۵۰-۲۸-۵

حق چاپ محفوظ و منحصرأ مخصوص ناشر است.

دفتر مرکزی و مرکز پخش:

نشر قدیس: تهران، میدان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، پایین‌تر از وحید نظری، نبش بن‌بست حقیقت، پلاک ۴

واحد ۵ تلفن: ۶۶۴۰۳۵۴۸ - ۶۶۴۱۱۳۸۱ - ۶۶۷۱۵۲۵۵

کتابفروشی الیاس: تهران، میدان انقلاب، نبش خیابان ۱۲ فروردین، پلاک ۱۳۱۰

تلفن: ۶۶۴۰۵۰۸۴

مقدمه مؤلفان

ضرورت تحلیل دینامیک سیستم‌های قدرت در سال‌های اخیر رشد فزاینده‌ای یافته است. دلیل عمده آن ناشی از مزایای بهره‌برداری از شبکه‌های انتقال دارای انعطاف بیشتر در مبادله قرار داده‌ها است. در حالی که مطالعه دینامیکی و پایداری در یک محیط طراحی و برنامه‌ریزی بلند مدت برای سال‌ها انجام گرفته است اما نیاز این تحلیل به صورت هفتگی و حتی روزانه در محیط‌های بهره‌برداری، احساس می‌شود. این کتاب در ارتباط با این نیاز به مدل‌سازی و شبیه‌سازی دینامیکی سیستم‌های قدرت اختصاص دارد که در آن با ترکیب مباحث تئوری و اطلاعات عملی، کتاب را به صورت کتاب درسی رسمی یا مرجعی برای استفاده مهندسين اجرائی درآورده است.

این کتاب به عنوان متنی برای تدریس رسمی، مباحث مقدماتی در زمینه‌های ماشین‌های الکتریکی، الکترومغناطیس و تحلیل سیستم‌های قدرت را دانسته فرض می‌کند. بنابراین می‌توان از آن به عنوان یک کتاب درسی در رشته مهندسی برق برای یک ترم «شامل ۱۵ فصل» با هفته‌ای سه ساعت تدریس، استفاده کرد. در این کتاب از تمامی علامت‌گذاری‌هایی که اغلب در کتاب‌های مربوط به ماشین‌های الکتریکی و بررسی سیستم‌های قدرت، استفاده شده، استفاده گردیده و سعی شده است که از استانداردهای صنعتی تأسی شود طوری که پرداختن به جزئیات بیشتر و کاربردهای عملی سهولت یابد.

این کتاب به دو بخش اساسی تقسیم شده است. فصول ۱ الی ۶ شامل معرفی تحلیل گذارهای الکترومغناطیسی و به دست آوردن سیستماتیک مدل‌های دینامیکی ماشین‌های سنکرون همراه با زیر سیستم‌های کنترل ولتاژ و سرعت آن می‌شود. این مباحث شامل توصیف مدل‌های اصلی، توسعه و ساده‌سازی آن‌ها است. تأکید اصلی این بخش بر مفهوم مدل‌سازی سیستم‌های مرتبه کاهش یافته با استفاده از انتگرال مانیفلد به عنوان مبنائی برای فهم روابط و محدودیت‌های مدل‌های دینامیکی با مرتبه پائین، می‌باشد. ضمیمه مربوط به انتگرال مانیفلد، این تکنیک کاهش مدل را به صورت ریاضی معرفی می‌کند. در فصول ۶ الی ۹ استفاده از این مدل‌های دینامیکی برای شبیه‌سازی و بررسی پایداری نشان داده می‌شود.

توجه اصلی این بخش بر روی محاسبه شرایط اولیه و روش‌های محاسباتی جایگزین برای شبیه‌سازی، می‌باشد. تحلیل پایداری سیگنال کوچک به شیوه‌ای متوالی ارائه شده است که در نهایت به طراحی پایدارسازهای سیستم قدرت منتج می‌شود. تحلیل پایداری گذرا با استفاده از روش‌های تابع انرژی فرموله شده است که در آن بر سطوح مرزی انرژی پتانسیل و روش‌های کنترل نقطه تعادل ناپایدار تأکید می‌شود.

کتاب ادعائی بر ارائه مجموعه کاملی از تمامی مدل‌ها و روش‌های شبیه‌سازی ندارد، بلکه در جستجوی فراهم کردن مبانی درک دینامیک سیستم‌های قدرت است. در حالی که مدل‌هایی با دقت و جزئیات بیشتر در مراجع وجود دارند، هدف اصلی این کتاب تشریح چگونگی ارتباط بین مدل‌های مستقل هر مؤلفه از سیستم، در مطالعه یک سیستم قدرت می‌باشد. هدف ما در این کتاب ارائه مبانی تئوری محکم برای بررسی دینامیک سیستم‌های قدرت است تا به عنوان نقطه شروع تحقیقات عمیق‌تر بر روی پدیده‌های پیچیده و کاربردها در مهندسی برق قدرت، را مساعدت نماید. باید از افراد زیادی جهت همکاری در این کار قدردانی به عمل آورده شود اما ما لیست این افراد را به ۶ نفر که تأثیر مستقیم در آماده سازی این کتاب و در برنامه سیستم قدرت دانشگاه ایلی نویز داشتند، محدود می‌کنیم: از استان هولم، برای تلاش‌های بی‌شائبه‌اش در گرایش قدرت مهندسی برق بالغ بر ۶۰ سال، از جورج اسونسون برای نقش رهبریش در استحکام بخشی به حوزه قدرت در دپارتمان، از مک وان وال کنبرگ برای نقش پدرانه‌اش در تدبیر و راهنمایی از دیوید گرینجر برای حمایت‌های مالی‌اش از بخش قدرت، پیتر کوکوتوویک برای بحث‌های جدی و عمیق و سرانجام از کارن چیت ود برای آماده سازی دست نوشته‌ها تشکر می‌شود.

در طی سال‌های متعددی همکاری ما در دانشگاه ایلی نویز، تلاش کرده‌ایم تا تعادل سالمی را بین آموزش و تحقیقات نگه داریم. لذا از مدیریت دانشگاه و حمایت‌های مالی مؤسسه ملی علوم و مؤسسه گرینجر که این کار را ممکن ساخت تشکر می‌شود.

پیتر دبلو سائور و م. آ. پای

اربانا، ایلینوی

فصل I / مقدمه II

- ۱-۱ زمینه ۱۳
- ۲-۱ ساختارهای فیزیکی ۱۵
- ۳-۱ ساختارهایی با مقیاس بندی زمانی ۱۵
- ۴-۱ ساختارهای تشکیلاتی ۱۶
- ۵-۱ پدیده‌های مورد علاقه ۱۸

فصل II / گذراهای الکترومغناطیسی ۱۹

- ۱-۲ سریع‌ترین امواج گذرا ۲۰
- ۲-۲ مدل‌های خط انتقال ۲۰
- ۳-۲ روش‌های حل ۲۶
- ۴-۲ مسئله ۳۳

فصل III / مدلسازی ماشین سنکرون ۳۵

- ۱-۳ اصطلاحات و علائم ۳۶
- ۲-۳ مدل ماشین با سه سیم پیچ میرا کننده ۳۷
- ۳-۳ تبدیلات و مقیاس بندی ۳۹
- ۴-۳ مدار مغناطیسی خطی ۵۱
- ۵-۳ مدار مغناطیسی غیر خطی ۶۰
- ۶-۳ سیستم تک ماشینه در حالت پایدار ۶۷
- ۷-۳ امیدانسن‌های عملیاتی و آزمون داده ها ۷۲
- ۸-۳ مسائل ۸۰

فصل IV / مدل‌های کنترلی ماشین سنکرون ۸۳

- ۱-۴ کلیات کنترل سرعت و ولتاژ ۸۴
- ۲-۴ مدل تحریک کننده (اکسایر) ۸۴
- ۳-۴ مدل تنظیم کننده ولتاژ «رگولاتور ولتاژ» ۹۰

۹۶.....	۴-۴ مدل‌های توربین
۱۰۴.....	۵-۴ مدل‌های گاورنر سرعت
۱۰۹.....	۶-۴ مسائل

فصل ۵ / مدل‌های دینامیکی سیستم تک ماشینه

۱۱۲.....	۱-۵ قیود ترمینال
۱۱۶.....	۲-۵ مدل‌سازی بر اساس مقیاس چند زمانه ای
۱۲۰.....	۳-۵ حذف گذراهای شبکه / استاتور
۱۲۷.....	۴-۵ مدل دو محوری
۱۳۰.....	۵-۵ مدل تک محوری (میرا شدن شار)
۱۳۲.....	۶-۵ مدل کلاسیک
۱۳۴.....	۷-۵ گشتاورهای میرا کننده
۱۴۱.....	۸-۵ اشباع ماشین سنکرون
۱۵۰.....	۹-۵ مسائل

فصل ۶ / مدل‌های دینامیکی سیستم چند ماشینه

۱۵۴.....	۱-۶ دستگاه مرجع دوار سنکرون
۱۵۷.....	۲-۶ قیود شبکه و بار R-L
۱۵۹.....	۳-۶ حذف گذراهای شبکه / استاتور
۱۷۲.....	۴-۶ مدل دو محوری سیستم چند ماشینه
۱۷۵.....	۵-۶ مدل کاهش شار برای سیستم چند ماشینه
۱۷۹.....	۶-۶ مدل کلاسیک برای سیستم چند ماشینه
۱۸۲.....	۷-۶ گشتاورهای میرا کننده سیستم چند ماشینه
۱۸۳.....	۸-۶ مدل‌های سیستم چند ماشینه با در نظر گرفتن اثر اشباع
۱۹۰.....	۹-۶ فرکانس سیستم در حین گذاری سیستم
۱۹۱.....	۱۰-۶ زوایای مرجع و باس بی‌نهایت

فصل ۷ / شبیه‌سازی سیستم چند ماشینه

۱۹۶.....	۱-۷ مدل دیفرانسیلی - جبری
۲۰۰.....	۲-۷ معادلات جبری استاتور
۲۰۰.....	۳-۷ شکل قطبی
۲۰۱.....	۴-۷ شکل قائم
۲۰۲.....	۵-۷ شکل جایگزینی برای معادلات جبری استاتور

۲۰۳	۳-۷ معادلات شبکه
۲۰۳	۱-۳-۷ شکل تعادل توان
۲۰۵	۲-۳-۷ شکل تعادل جریان
۲۱۷	۴-۷ مدل صنعتی
۲۲۲	۵-۷ ساده سازی مدل دو محوری
۲۲۹	۶-۷ شرایط اولیه «مدل کامل»
۲۳۹	۷-۷ حل عددی: شکل تعادل توان
۲۴۰	۱-۷-۷ روش SI
۲۴۴	۲-۷-۷ روش PE
۲۴۴	۸-۷ حل عددی: شکل تعادل جریان
۲۴۸	۹-۷ مدل ها کاهش مرتبه سیستم چند ماشینه
۲۴۸	۱-۹-۷ مدل کاهش شار
۲۵۱	۲-۹-۷ مدل کلاسیک با حفظ ساختار
۲۵۷	۳-۹-۷ مدل گره داخلی
۲۵۹	۱۰-۷ شرایط اولیه
۲۶۱	۱۱-۷ نتیجه گیری
۲۶۲	۱۲-۷ مسائل

فصل ۸ / پایداری سیگنال کوچک ۲۶۵

۲۶۶	۱-۸ مقدمه
۲۶۷	۲-۸ اصول تکنیک خطی سازی
۲۶۸	۱-۲-۸ خطی سازی مدل A
۲۸۰	۲-۲-۸ خطی سازی مدل B
۲۸۹	۳-۸ مطالعه بر روی اثرات پارامتری
۲۸۹	۱-۳-۸ اثر بارگذاری
۲۹۱	۲-۳-۸ اثر KA
۲۹۱	۳-۳-۸ اثر نوع بار
۲۹۴	۴-۳-۸ انشعاب هاپف
۲۹۷	۴-۸ مدل های نوسانی الکترومکانیکی
۳۰۳	۵-۸ پایداری سازهای سیستم قدرت
۳۰۳	۱-۵-۸ روش اساسی
۳۰۴	۲-۵-۸ به دست آوردن ثابت های $K_1 - K_6$ [۷۸ و ۸۸]
۳۱۱	۳-۵-۸ گشتاورهای میراکننده و سنکرون کننده
۳۲۰	۴-۵-۸ طراحی پایداری ساز سیستم قدرت
۳۲۹	۶-۸ نتیجه گیری

۳۲۹	۷-۸ مسائل
-----	-----------

فصل ۹ / روش‌های تابع انرژی..... ۳۳۵

۳۳۶	۱-۹ مقدمه
۳۳۶	۲-۹ جنبه‌های فیزیکی و ریاضی مسأله
۳۴۰	۳-۹ روش لیاپانوف
۳۴۱	۴-۹ ملاحظات مدل‌سازی
۳۴۴	۵-۹ فرمول بندی تابع انرژی
۳۴۷	۶-۹ سطح مرزی انرژی پتانسیل (PEBS)
۳۴۷	۱-۶-۹ سیستم تک ماشین باش بی‌نهایت
۳۵۱	۲-۶-۹ تابع انرژی برای سیستم تک ماشین باس بی‌نهایت
۳۵۶	۳-۶-۹ تابع انرژی و معیار سطوح برابر
۳۶۰	۴-۶-۹ PEBS برای سیستم‌های چند ماشینه
۳۶۴	۵-۶-۹ مقدمه سازی $V_{PE}(\theta)$ و استفاده از آن در روش PEBS
۳۶۷	۷-۹ روش u.e.p کنترل کننده مرزی (BCU)
۳۷۳	۸-۹ توابع انرژی با حفظ ساختار
۳۷۴	۹-۹ نتیجه گیری
۳۷۵	۱۰-۹ مسائل

پیوست الف / فمینه‌های انتگرالی برای کاهش مدل..... ۳۷۷

۳۷۸	الف. ۱ خمینه‌ها و خمینه‌های انتگرالی
۳۷۹	الف. ۲ خمینه‌های انتگرالی برای سیستم‌های خطی

۳۷۹..... Bibliography