

کنترل توان راکتیو

در سیستم‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

تألیف:

پروفسور محمود جور ابیان (استاد دانشگاه شهید چمران اهواز - استاد نمونه کشوری سال ۱۳۹۱)
مهندس مهیار عباسی (دانشجوی دکتری برق قدرت دانشگاه شهید چمران اهواز)
مهندس محمود قلمی (کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت دانشگاه شهید چمران اهواز)



انتشارات قدیس

www.Qeddīs.com

سرشناسه	: جورابیان، محمود، ۱۳۴۰ -
عنوان و نام پدیدآور	: کنترل توان راکتیو در سیستم‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی/ تألیف محمود جورابیان، مهیار عباسی، محمود قلمی.
مشخصات نشر	: تهران: قدیس، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۵۱۷ ص.
شابک	: ۳۵۰۰۰ ریال: 8-27-8050-600-978
وضعیت فهرست نویسی	: فنی
موضوع	: توان راکتیو
موضوع	: Reactive power (Electrical engineering)
موضوع	: برق -- شبکه‌ها
موضوع	: Electric networks
موضوع	: برق نیرو -- توزیع
موضوع	: Electric power distribution
شناسه افزوده	: عباسی، مهیار، ۱۳۴۸ -
شناسه افزوده	: قلمی، محمود، ۱۳۷۱ -
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۵ ۹۹۹/ج TK۳۲۲۶
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۳۸۹



انتشارات قدیس

کنترل توان راکتیو در سیستم انتقال و توزیع انرژی الکتریکی

تألیف: پروفیسور محمود جورابیان - مهندس مهیار عباسی - مهندس محمود قلمی

ناشر: قدیس

صفحه آرای: قدیس

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: راد

نوبت و سال چاپ: اول، ۱۳۹۵

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۴۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۴۵۰-۴۲-۱

حق چاپ محفوظ و منحصراً مخصوص ناشر است.

دفتر مرکزی و مرکز پخش:

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

تلفن: ۶۶۴۰۳۵۴۸ - ۶۶۴۱۱۳۸۱ - ۶۶۴۷۱۵۲۵۵

پلاک ۴ واحد ۵

تلفن: ۶۶۴۰۵۰۸۴

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

پیشگفتار مؤلفین

حمد و سپاس خداوند عزوجل که توفیق خدمت به خلق را به ما عطا نموده است. بدلیل کمبود منابع در زمینه کسرتل توان راکتیو در صدر برآمدم که به تألیف اثری جامع و جدید در زمینه کسرتل توان راکتیو در سیستم های توزیع و انتقال انرژی الکتریکی بپردازیم. مبحث توان راکتیو به عنوان مرجع درسی و تحقیقاتی چندین سال است که در مقطع کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی برق قدرت در ایران تدریس می گردد. این کتاب سعی بر این داشته که تمام مباحث آموزشی مناسب با سرفصل مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری را پوشش دهد و بتواند به طور کامل پاسخگوی نیازهای دانشجویان باشد. کتاب حاضر می تواند بعنوان مرجع و منبع دانشگاهی در کسرتل توان راکتیو در سیستم های قدرت، انرژی و همچنین، بعنوان یک مرجع کامل صنعتی و کاربردی تمامی نیازهای مشخصه این در زمینه کسرتل توان راکتیو را پوشش دهد. ضمناً، با ابداع یک ایده ک نو در زمینه آموزش جهت سهولت در امر تدریس در زمینه کسرتل توان راکتیو، نسخه الکترونیکی کتاب، صورت پاورپوینت شده برای هر فصل آماده شده و به صورت فایل CD به کتاب پیوست شده است. لذا دوستان و عزیزانی که در این زمینه تدریس دارند می توانند از فایل های پاورپوینت کتاب استفاده نموده و نسخه چاپی کتاب را به صورت مرجع معرفی نمایند. توان راکتیو یکی از فاکتورهای حساس و لازمه ک انتقال و مبادله ک انرژی بین تولیدکننده و مصرف کننده است. بدلیل اینکه اکثر بارهای خانگی، صنعتی، ماهیت المان های شبکه و ... دارای خاصیت سلفی می باشند. لذا پاسخگوی به نیاز آنها از ملزومات تأمین کننده های توان می باشد. شناخت و کسرتل این واحد از توان هر روزه بیش از پیش اهمیت خود را نمایان می کنند. کتاب حاضر در 10 فصل به نگارش درآمده است. در ادامه به طور مختصر شرحی را از مباحث فصول خدمت شما ارائه خواهیم کرد.

فصل اول: این فصل مقدمه ای از سیستم های قدرت می باشد. به طوری که اهمیت کسرتل توان راکتیو در شبکه های توزیع و انتقال به طور خلاصه بیان می گردد.

فصل دوم: این فصل، مفهوم فیزیکی و مدلی توان راکتیو از نظر ماهیت الکتریکی و مکانیکی بحث شده است.

فصل سوم: در این فصل، بحث ماشین‌های الکتریکی سنگرون که قلب تپنده‌ی یک نیروگاه هستند شرح داده شده است. پس، مباحث مربوط به نحوه‌ی تولید توان به خصوص توان راکتیو از طریق ژنراتورهای سنگرون به طور مفصل شرح داده شده است. این فصل یکی از پایه‌ای‌ترین و ضروری‌ترین مباحث کتاب توان راکتیو می‌باشد، چرا که معمولاً دانشجویان همواره به دنبال درک صحیحی از ارتباط ماشین‌های سنگرون، راکتیو و نحوه‌ی مصرف آن می‌باشند.

فصل چهارم: در این فصل، مباحث مربوط به کیفیت توان مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است. به دلیل وابستگی کیفیت توان در شبکه‌های قدرت به بحث توان راکتیو، بررسی و معرفی پارامترهای کیفیت توان، این کتاب خالی از لطف نمی‌باشد. در این فصل سعی شده است پارامترهای مهم، ازجمله کیفیت توان به طور مختصر توضیح داده شود و تحلیل‌های پایه‌ای، بحث و بررسی‌های خاص آنها در شبکه انجام گیرد.

فصل پنجم: در این فصل، به معرفی جداولی بار در سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی پرداخته شده است. این فصل یکی از مهم‌ترین مباحث کنترل توان راکتیو بوده و شامل مباحث مربوط به جبران‌سازی بار با هدف اصلاح ضریب توان، تنظیم ولتاژ و جبران کثرت‌های رگولاتوری ولتاژ می‌باشد.

فصل ششم: در این فصل، نظریه‌ی کنترل توان لحظاتی با هدف جبران بار مطرح شده است. این فصل به صورت تکمیلی مربوط به فصل پنجم و ازجمله تخصصی مباحث و نظریه‌های کنونی توان لحظاتی را مطرح می‌کند. استفاده از تبدیلات مهم از جمله کلاسیک، pq ، توانی مثبت-منفی و صفر در این فصل، به صورت کاملاً کاربردی مطرح شده است. در این فصل نظریه‌هایی که با توان لحظاتی سروکار دارند، به دو دسته تقسیم بندی می‌شوند که یکی از آنها بر مبنای تبدیلات فازهای abc به محورهای عمود بر هم می‌باشد و دیگری مستقیماً در فازهای abc کار می‌کند که در این فصل به طور کامل تشریح می‌شود.

فصل هفتم: در این فصل، بحث جبران سازی توان راکتیو در خطوط انتقال انرژی الکتریکی مطرح شده و نیز، معادلات اساسی خطوط در جهت انتقال و کشرل توان راکتیو به صورت کاملاً تخصصی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و دیدگاه کاملاً جامع به مهندسين طراح از نظر انتقال توان راکتیو خواهد داد. در ابتدا معادلات و رفتار خطوط جبران نده مطرح شده و سپس معادلات حاکم بر خطوط از نظر مباحث کشرل توان راکتیو و ولتاژ در خطوط جبران شده به بحث و آنالیز گذاشته می شود. این فصل از اساسی ترین و پایه ای ترین مباحث مورد توجه در کشرل توان راکتیو می باشد.

فصل هشتم: در این فصل، به معرفی جبران ساز و استاتیکی SVC^a پرداخته شده است. همچنین، انواع براراج سازهای توان راکتیو از جمله TCR - TSC - TCR - FC - کندانسور سروات به طور کامل مورد آنالیز و بحث قرار گرفته و مدارهای طراحی و کاربردی آنها تشریح شده است.

فصل نهم: در این فصل، کاربرد جبران سازهای توان راکتیو در پایداری سیستم های قدرت مورد بحث قرار گرفته است. در ابتدا انواع پیرودهای زمانی از نظر دینامیکی بیان شده و تاثیر انواع جبران سازهای یو- خازن سری - کندانسور سگنرون و استاتیک در پیرودهای گذرا - اولین نوسان و پیر- نوسان مورد بحث قرار گرفته اند.

فصل دهم: در این فصل، به طور کامل ادوات درج در جبران سازها به نام ادوات فکتی معرفی شده اند. استفاده از ادوات فکتی امروزه در سیستم های قدرت یکی از مباحث اساسی در کشرل توان راکتیو می باشد. خوشبختانه با توجه به تکامل المانهای الکترونیکی قدرت در اواخر دهه سی هشتاد میلادی ادوات FACTS به واسطه کشرل کننده های شبکه های انتقال معرفی شده اند.

در این فصل، سعی بر این بوده نل اول فکتی معرفی شود و نحوه ی عملکرد و کاربرد آنها در سیستم های قدرت مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به مباحث مطرح شده می توان گفت گزارش چنین مرجع کاملی در زمینه ی کشرل توان راکتیو در سیستم های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی خالی از لطف نبوده و امید است نیازهای دانشجویان و محققان را تا حد مطلوبی پوشش دهد. در اینجا فرصت را مغتنم می شماریم و

از تمامی دوستان و عزیزانی که ما را در نگارش این کتاب یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماییم. تشکر ویژه از جناب آقایان مهندس حسین باوند سوادکوهی، مهندس نیما حیدرزاده و سرکار خانم مهندس زهره شایری که واقعاً در تمام مراحل آماده سازی این کتاب قدم به قدم ما را یاری نموده‌اند. تشکر بسیار ویژه خدمت جناب آقای یوسف باوند سوادکوهی مدیر مسئول انتشارات قدس و ویراستار ادبی کتاب که در تمام مراحل تکمیل کتاب ما را یاری نموده‌اند و در پایان از تمامی دوستان و عزیزانی که به گونه‌ای در تهیه‌ی این کتاب نقش داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی داریم. امید است این کتاب به پوششی بر نیازهای متخصصین عزیز باشد. کتاب حاضر یقیناً خالی از اشکال نخواهد بود، لذا از کلیه صاحب نظران و متخصصان صنعت و دانشگاه انتظار می‌رود و موجب امتنان است که در این مقوله، رهنمودهای سازنده‌ی خود را از ما دریغ ننمایند.

دکتر محمود جوهری mjoorabian@cc.ac.ir

مهندس مهیار عباسی mahyarabian1350@yahoo.com

مهندس محمود علم‌ی mahmoud_gh2020@yahoo.com

www.ketab.ir

فصل ۱ / مقدمه‌ای بر سیستم های قدرت الکتریکی ۱۹

۲۰	۱-۱ مقدمه.....
۲۰	۲-۱ توان الکتریکی در دنیای مدرن.....
۲۱	۳-۱ ملاحظات سیستم قدرت الکتریکی.....
۲۲	۱-۳-۱ ذخیره بار، تنوع بار و پخش بار اقتصادی.....
۲۴	۲-۳-۱ اجزای شبکه.....
۲۶	۳-۳-۱ سطح ولتاژ و لثاژ.....
۲۷	۴-۳-۱ فرکانس.....
۲۷	۴-۱ تولید.....
۲۷	۱-۴-۱ سوخت فسیلی و سکن بخا.....
۳۲	۲-۴-۱ قدرت برق آبی.....
۳۳	۳-۴-۱ انرژی هسته‌ای.....
۳۴	۴-۴-۱ دیگر منابع انرژی.....
۳۶	۵-۱ انتقال.....
۴۰	۶-۱ توزیع.....
۴۱	۷-۱ اهمیت کنترل توان راکتیو در شبکه های قدرت.....
۴۳	خلاصه فصل.....
۴۴	مراجع فصل.....
۴۴	پرسش های فصل.....

فصل ۲ / مفهوم فیزیکی توان راکتیو ۴۵

۴۶	۱-۲ مقدمه.....
۴۶	۲-۲ فازورها و دیاگرام های برداری.....
۵۰	۳-۲ تعریف انواع توان.....
۵۲	۴-۲ تعریف توان برای جریان ها و ولتاژهای غیر سینوسی.....
۵۵	۵-۲ مدل مکانیکی معادل برای سلف (اندوکتانس).....
۵۷	۶-۲ مدل مکانیکی معادل برای خازن.....
۵۸	۷-۲ جریان اهمی و راکتیو.....

۶۰	خلاصه فصل
۶۰	مراجع فصل
۶۰	پرسش‌های فصل

فصل ۳ / توان راکتیو و ماشین‌های سنکرون ۶۱

۶۲	۱-۳ مقدمه
۶۲	۲-۳ انواع مولد سنکرون
۶۴	۳-۳ اعمال جریان تحریک به مولدهای سنکرون
۶۵	۴-۳ سرعت رخش مولد سنکرون
۶۶	۵-۳ ولتاژ داخلی تولید شده در مولد سنکرون
۶۶	۶-۳ مدار معادل ولاد برور
۶۷	۳-۶-۱ مدل سازی عکس‌العمل آرمیچر
۶۷	۳-۶-۲ مدل سازی راکتانس پرکنشی و مقاومت اهمی آرمیچر
۶۷	۳-۶-۳ مدل سازی سیستم ریک
۶۹	۷-۳ محاسبه پارامترهای مدار معادل مولد سنکرون
۷۰	۱-۷-۳ آزمایش بی‌باری یا مدار باز «OCT: Open Circuit Test»
۷۰	۲-۷-۳ آزمایش اتصال کوتاه «SCT: Short Circuit Curve»
۷۱	۳-۷-۳ آزمایش جریان مستقیم «DC: DC Test»
۷۲	۴-۷-۳ محاسبه تقریبی راکتانس سنکرون از روی آزمایش بی‌باری - اتصال کوتاه DC
۷۲	۸-۳ راکتانس سنکرون اشباع نشده
۷۳	۹-۳ نسبت اتصال کوتاه «SCR: SHORT CIRCUIT RATIO»
۷۴	۱۰-۳ دیاگرام برداری «فازوری» مولد سنکرون
۷۵	۱۱-۳ مشخصه بارداری مولد سنکرون
۷۶	۱۲-۳ درصد تنظیم ولتاژ مولدهای سنکرون «V.R VOLTAGE REGULATION»
۷۶	۱۳-۳ توان جاری شده در امپدانس القایی [2]:
۸۰	۱۴-۳ شرایط بیشترین مقدار توان
۸۴	۱۵-۳ توان راکتیو
۸۵	۱-۱۵-۳ حالت مولدی
۸۶	۲-۱۵-۳ حالت موتور
۸۷	۱۶-۳ مولد سنکرون
۸۷	۱۷-۳ موتور سنکرون
۹۴	خلاصه فصل

۹۴.....	مراجع فصل.....
۹۴.....	پرسش.....

فصل ۱۴ / مفاهیم کیفیت توان سیستم های قدرت..... ۹۵

۹۶.....	۱-۴ مقدمه ای بر مفهوم کیفیت توان.....
۹۸.....	۲-۴ کیفیت توان یعنی کیفیت ولتاژ.....
۹۹.....	۳-۴ تعاریف برخی از اصطلاحات کیفیت توان.....
۹۹.....	۱-۳-۴ گذر (Transients).....
۱۰۰.....	۲-۳-۴ گذرهای زیادهای.....
۱۰۰.....	۳-۳-۴ گذرهای نوسانی.....
۱۰۲.....	۴-۴ تغییرات کوتاه مدت.....
۱۰۳.....	۱-۴-۴ قطعی.....
۱۰۴.....	۲-۴-۴ کمبود ولتاژ (sag).....
۱۰۵.....	۳-۴-۴ بیشبود ولتاژ (swell).....
۱۰۶.....	۵-۴ تغییرات بلندمدت ولتاژ.....
۱۰۷.....	۱-۵-۴ اضافه ولتاژ.....
۱۰۷.....	۲-۵-۴ کاهش ولتاژ.....
۱۰۷.....	۳-۵-۴ قطعی بادوام.....
۱۰۷.....	۶-۴ نامتعادلی ولتاژ.....
۱۰۸.....	۷-۴ تغییرات ولتاژ.....
۱۰۹.....	۸-۴ تغییرات فرکانس قدرت.....
۱۱۰.....	۹-۴ اعوجاج شکل موج.....
۱۱۰.....	۱-۹-۴ افسست dc.....
۱۱۰.....	۲-۹-۴ شکاف (Notching).....
۱۱۱.....	۳-۹-۴ نویز.....
۱۱۱.....	۴-۹-۴ هارمونیک ها.....
۱۳۰.....	۱۰-۴ واژگان کیفیت توان.....
۱۳۷.....	خلاصه فصل.....
۱۳۸.....	مراجع.....
۱۳۸.....	پرسش.....

فصل ۵ / جبران‌سازی بار در سیستم های توزیع انرژی الکتریکی..... ۱۳۹

۱۴۰	۱-۵ مقدمه.....
۱۴۰	۲-۵ تئوری اساسی جبران.....
۱۴۰	۱-۲-۵ اصلاح ضریب توان (در سمت مصرف کننده).....
۱۴۵	۲-۱-۵ تنظیم ولتاژ.....
۱۴۸	۱-۲-۱-۵ فرمول تقریبی برای تنظیم ولتاژ.....
۱۵۱	۲-۵ مشخصه ها، تقریبی توان راکتیو.....
۱۵۱	۱-۲-۵ تنظیم بار با بار القایی متغیر.....
۱۵۴	۳-۵ بهبود ضریب توان.....
۱۵۵	۴-۵ بهبود ضریب توان راکتیو.....
۱۵۶	۵-۵ جبران کننده بار بصورت رگولاتور ولتاژ.....
۱۶۲	۶-۵ متعادل کردن بارهای نامتعادل، اصلاح ضریب توان.....
۱۶۲	۱-۶-۵ شبکه جبران کننده ادمینانس، ایده II.....
۱۶۵	۲-۶-۵ جبران بار بر حسب مولفه های متناظر.....
۱۸۳	خلاصه فصل.....
۱۸۴	مراجع.....
۱۸۴	پرسش.....

فصل ۶ / نظریه کنترل توان لحظه‌ای با هدف جبران بار..... ۱۸۷

۱۸۸	۱-۶ مقدمه.....
۱۸۸	۲-۶ اساس نظریه $P-Q$
۱۸۹	۱-۲-۶ پیشینه تاریخی نظریه $p-q$
۱۹۰	۲-۲-۶ تبدیل کلارک.....
۱۹۲	۱-۲-۲-۶ محاسبه بردارهای ولتاژ و جریان بدون در نظر گرفتن مولفه‌های توالی صفر.....
۱۹۵	۳-۲-۶ توان اکتیو لحظه‌ای سه فاز در قالب مؤلفه‌های کلارک.....
۱۹۶	۴-۲-۶ توان‌های لحظه‌ای در نظریه $p-q$
۲۰۱	۱-۳-۶ مقایسه با نظریه توان مرسوم.....
۲۰۱	۱-۳-۶ ولتاژها و جریان‌های سینوسی.....
۲۰۲	۲-۳-۶ ولتاژهای متعادل و بار خازنی.....
۲۰۳	۳-۳-۶ ولتاژ سینوسی متعادل و بار غیرخطی.....

۲۰۶	۲-۳-۶ استفاده از نظریه $p - q$ برای جبران سازی شنت جریان
۲۱۲	۳-۳-۶ ۱-۲-۳ مثال هایی از ظهور جریان های پنهان
۲۱۶	۳-۳-۶ دوگان نظریه $p - q$
۲۱۹	۴-۶ نظریه $P - Q$ در سیستم سه فاز چهار سیمه
۲۲۰	۴-۶ ۱-۴ توان توالی صفر در یک منبع ولتاژ سینوسی سه فاز
۲۲۲	۴-۶ ۲-۴ حضور مؤلفه ی توالی منفی
۲۲۳	۴-۶ ۳-۴ نمونه ی کلی، شامل اعوجاج ها و نامتعادلی ها در ولتاژ ها و جریان ها
۲۲۸	۴-۶ ۴-۴ مفاهیم فیزیکی توان های لحظه ای حقیقی، موهومی و توالی صفر
۲۲۹	۴-۶ ۵-۴ اندازه داده از نظریه $p - q$ با اجتناب از تبدیل کلارک
۲۳۱	۴-۶ ۶-۴ نظریه $p - q$ تغییر یافته
۲۳۶	۵-۶ نظریه Abc لحظه ای
۲۳۸	۵-۶ ۱-۵ محاسبه ی جریان "نیو و غیراکتیو به وسیله روش حداقل سازی
۲۴۵	۵-۶ ۲-۵ روش تعمیم یافته برای حداقل کردن جریان ها
۲۴۹	۶-۶ مقایسه هایی بین نظریه $p - q$ و نظریه ABC
۲۵۲	۶-۶ ۱-۶ انتخاب مؤلفه های توان برای جبران سازی
۲۶۲	خلاصه فصل
۲۶۳	مراجع فصل
۲۶۸	پرسش

فصل ۷ / جبران سازی توان (اکتیو در خطوط انتقال) ۲۶۹

۲۷۰	۱-۷ مقدمه
۲۷۰	۲-۷ نیازمندی های اساسی در انتقال توان AC
۲۷۳	۳-۷ انواع خطوط شعاعی
۲۷۳	۴-۷ خطوط انتقال جبران نشده
۲۷۳	۴-۷ ۱-۴ پارامتر های الکتریکی
۲۷۴	۴-۷ ۲-۴ معادلات اصلی خط انتقال
۲۷۶	۴-۷ ۳-۴ امپدانس موجی و بار طبیعی « $Surge Z Impedance Natural Loading$ »
۲۷۸	۵-۷ خط جبران نشده مدار باز
۲۷۸	۵-۷ ۱-۵ خط شعاعی مدار باز
۲۸۱	۵-۷ ۲-۵ خط متقارن در شرایط بی باری
۲۸۳	۵-۷ ۳-۵ عملکرد زیر تحریک ژنراتورها ناشی از جریان شارژ خط
۲۸۶	۶-۷ خط جبران نشده در حالت بارداری

- ۶-۱-۶ خط شعاعی با ولتاژ ثابت در ابتدای خط ۲۸۶
- ۶-۱-۶-۱ بررسی ضریب توان ۲۸۶
- ۶-۱-۶-۲ بررسی اثر طول خط ۲۸۸
- ۶-۲-۶ برای خط متقارن ۲۸۸
- ۷-۷ نیازمندی های توان راکتو ۲۸۹
- ۷-۸ خط جبران نشده در حالت بارداری: «از دیدگاه، پایداری» ۲۹۱
- ۷-۹ توان ماکزیمم در خط شعاعی با بار غیر سنکرون ۲۹۴
- ۷-۱۰ بررسی اثر تلفات بر روی مشخصه های ولتاژ و توان راکتو ۲۹۵
- ۷-۱۰-۱ قابلیت بارگذاری خط جبران نشده «Line Load Ability» یا «L L» ۲۹۶
- ۷-۱۱ خطوط انتقال جبران شده ۲۹۷
- ۷-۱۱-۱ واقع باران ۲۹۷
- ۷-۱۱-۱-۱ جبران بار با «Virtual Z0» یا «Z0» ۲۹۸
- ۷-۱۱-۱-۲ جبران طول ستریکی خط یا جبران «Virtual θ » ۲۹۸
- ۷-۱۱-۱-۳ جبران با «Sectioning» ۲۹۸
- ۷-۱۱-۲ جبران کننده های پسماند راکتو ۲۹۹
- ۷-۱۱-۲-۱ جبران کننده های پسماند ۲۹۹
- ۷-۱۱-۲-۲ جبران کننده های راکتو «فقدان صورت مزایای وصل می شوند» ۲۹۹
- ۷-۱۱-۳ جبران سازی ثابت پخش شده یکنواخت ۳۰۰
- ۷-۱۱-۳-۱ اثر «Kse و Ksh» روی «طول بکتریکی θ » ۳۰۳
- ۷-۱۱-۳-۲ اثر جبران پخش شده یکنواخت روی کنترل ولتاژ ۳۰۳
- ۷-۱۱-۳-۳ اثر جبران پخش شده روی توان راکتو خط ۳۰۴
- ۷-۱۱-۳-۴ اثر جبران پخش شده بر روی حداکثر توان انتقال ۳۰۴
- ۷-۱۲ جبران موازی پسیو ۳۰۶
- ۷-۱۲-۱ کنترل ولتاژ مدار باز با استفاده از راکتورهای موازی ۳۰۶
- ۷-۱۲-۲ راکتانس لازم راکتور شنت ۳۰۷
- ۷-۱۲-۳ استفاده از چند راکتور موازی در خط بلند ۳۱۰
- ۷-۱۲-۴ کنترل ولتاژ بوسیله جبران موازی قابل قطع و وصل ۳۱۱
- ۷-۱۲-۵ خازن یا راکتور موازی واقعی در نقطه میانی خط ۳۱۲
- ۷-۱۳ جبران سری ۳۱۶
- ۷-۱۳-۱ خط متقارن با خازن سری و راکتور شنت در وسط خط ۳۱۶
- ۷-۱۴ جبران با تقسیم بندی خط «جبران موازی دینامیک» ۳۱۹
- ۷-۱۴-۱ عملکرد دینامیکی جبران کننده وسط خط ۳۱۹

۳۲۰	۷-۱۴ نیازمندی های راکتیو در پایانه ها
۳۲۷	خلاصه فصل
۳۲۸	مراجع فصل
۳۲۸	پرسش

فصل ۸ / مبران ساز وار استاتیکی (SVC) ۳۳۱

۳۳۲	۸-۱ مقدمه
۳۳۳	۸-۲ تحلیل SVC
۳۳۵	۸-۲-۱ ربط ولتاژ و توان
۳۳۶	۸-۲-۱ ولتاژ حفاظت
۳۳۷	۸-۲-۳ منحنی زاویه ای برای SVC
۳۴۰	۸-۳-۱ آرایش یک S/C
۳۴۲	۸-۳-۱ راکتور کنترل با پایدور
۳۴۸	۸-۳-۲ خازن سوئیچ شده بر رسته (TSC)
۳۴۹	۸-۳-۲-۱ استراتژی کلیدزنی ۱ ($V_{CO} < 0$)
۳۵۰	۸-۳-۲-۲ استراتژی کلیدزنی ۲ ($V_{CO} > 0$)
۳۵۲	۸-۴ کنترل کننده ی SVC
۳۶۱	۸-۵ برخی مسائل در طراحی رگولاتور ولتاژ
۳۶۱	۸-۵-۱ سرعت پاسخ به عنوان تابعی از ESCR
۳۶۵	۸-۵-۲ عکس العمل متقابل کنترلی با رزونانس شبکه
۳۷۰	۸-۶ هارمونیک ها و فیلترینگ
۳۷۰	۸-۶-۱ کلیات
۳۷۱	۸-۶-۲ عکس العمل های هارمونیک
۳۷۲	۸-۶-۳ فیلترهای هارمونیک
۳۷۶	۸-۶-۴ یک مدل ریاضی برای تحقیق در پایداری هارمونیک
۳۷۹	۸-۷ حالات حفاظتی
۳۸۴	۸-۸ مدل سازی SVC
۳۸۸	۸-۹ کاربرد SVC
۳۹۰	خلاصه فصل
۳۹۰	مراجع فصل
۳۹۳	پرسش

فصل ۹ / کاربرد جبران ساز های توان راکتیو در پایداری سیستم های قدرت ۳۹۵

۳۹۶	۱-۹ مقدمه.....
۳۹۶	۲-۹ تعاریف پریود های زمانی.....
۳۹۸	۳-۹ معیار سطوح برابر (۲).....
۴۰۳	۳-۹ راهبردهای کلی برای بهبود پایداری گذرا.....
۴۰۴	۴-۹ جبران موازی پسیو.....
۴۰۴	۱-۴-۹ پریود گذرا.....
۴۰۶	۲-۴-۹ پریود اولین: زبان.....
۴۰۸	۳-۴-۹ پریود نهایی.....
۴۰۸	۵-۹ جبران با بارن سری.....
۴۰۹	۱-۵-۹ پریود گذرا.....
۴۰۹	۲-۵-۹ پریود اولین نوسان و بار گذرا.....
۴۱۱	۳-۵-۹ پریود نوسانی.....
۴۱۱	۶-۹ کندانسور سنکرون.....
۴۱۲	۱-۶-۹ پریود گذرا.....
۴۱۳	۲-۶-۹ پریود اولین نوسان و نوسانی.....
۴۱۵	۷-۹ جبران کننده‌های استاتیک.....
۴۱۶	۱-۷-۹ پریود گذرا.....
۴۲۳	۲-۷-۹ پریود نوسان اول.....
۴۲۵	۳-۷-۹ اثر جبران کننده استاتیک بر پایداری گذرا.....
۴۲۷	۴-۷-۹ پریود نوسانی.....
۴۲۹	خلاصه فصل.....
۴۲۹	مراجع.....
۴۲۹	پرسش.....

فصل ۱۰ / معرفی ادوات FACTS ۴۳۱

۴۳۲	۱-۱۰ مقدمه.....
۴۳۳	۲-۱۰ معرفی انواع ادوات FACTS.....
۴۳۳	۱-۲-۱۰ جبران ساز Var استاتیک (SVC).....
۴۳۵	۲-۲-۱۰ خازن سری کنترل ترستوری (TCSC).....

۴۳۶	 ۳-۲-۱۰ جبران ساز استاتیک (STATCOM)
۴۳۸	 ۴-۲-۱۰ ترانسفورماتور شیفته دهنده فاز (PST/PAR)
۴۴۰	 ۵-۲-۱۰ جبران سازی سری سنکرون استاتیک (SSSC)
۴۴۰	 ۶-۲-۱۰ کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC)
۴۴۱	 ۷-۲-۱۰ کنترل کننده توان بین خطوط (IPFC)
۴۴۲	 ۸-۲-۱۰ جبران ساز استاتیک تغییرپذیر (CSC)
۴۴۳	 ۳-۱۰ انواع PST
۴۴۴	 ۱-۳-۱۰ PST نوع A
۴۴۵	 ۲-۳-۱۰ PST خانواده نوع B
۴۴۵	 ۱-۲-۱۰ PST نوع B
۴۴۶	 ۳-۲-۱۰ PST نوع B1
۴۴۷	 ۳-۲-۳-۱۰ PST نوع B ₂
۴۴۸	 ۳-۳-۱۰ PST خانواده C
۴۴۸	 ۱-۳-۳-۱۰ PST نوع C
۴۴۸	 ۲-۳-۳-۱۰ PST نوع C ₁
۴۴۹	 ۴-۳-۱۰ PST خانواده D
۴۴۹	 ۱-۴-۳-۱۰ PST نوع D
۴۵۰	 ۲-۴-۳-۱۰ PST نوع D1
۴۵۲	 ۳-۴-۳-۱۰ PST نوع D2
۴۵۳	 ۵-۳-۱۰ PST خانواده E
۴۵۳	 ۱-۵-۳-۱۰ PST نوع E
۴۵۳	 ۶-۳-۱۰ خصوصیات انواع PST
۴۵۴	 ۷-۳-۱۰ کاربرد انواع PST
۴۵۵	 ۴-۱۰ مزایای FACTS
۴۵۸	 ۵-۱۰ کاربردهای ادوات FACTS
۴۵۹	 ۱-۵-۱۰ کاربردهای حالت ماندگار ادوات FACTS
۴۵۹	 ۲-۵-۱۰ کاربردهای دینامیکی ادوات FACTS
۴۶۰	 ۶-۱۰ هزینه های سرمایه گذاری ادوات FACTS
۴۶۱	 ۱-۶-۱۰ هزینه های تجهیزات ادوات FACTS
۴۶۱	 ۲-۶-۱۰ هزینه های زیربنایی ادوات FACTS
۴۶۳	 ۷-۱۰ دورنمایی از آینده ادوات FACTS
۴۶۴	 خلاصه

۴۶۴	مراجع
۴۶۴	پرسش
۴۶۷	پیوست فصل هفتم

تکمیلی ۱ / خازن‌های سری ۴۷۱

۴۷۲	۱-۱ مقدمه
۴۷۲	۲-۱ طراحی تجهیزات
۴۷۲	۱-۲-۱ واحدهای خازن
۴۷۳	۱-۲-۲ آرایش سنجیک
۴۷۳	۳-۱ وسایل حفاظت
۴۷۶	۴-۱ روش‌های وارد کردن درد خازن
۴۷۷	۵-۱ اثرات رزونانس با رزونانس سری

تکمیلی ۲ / کندانسورهای رزونانس ۴۷۹

۴۸۰	۱-۲ جنبه‌های طراحی کندانسور
۴۸۱	۲-۲ عملکرد کندانسور
۴۸۱	۱-۲-۲ کنترل ولتاژ سیستم قدرت
۴۸۱	۳-۲ تامین توان راکتو اضطراری
۴۸۲	۴-۲ تقلیل نوسانات گذرا
۴۸۴	۵-۲ روش‌های راه اندازی
۴۸۵	۶-۲ سیستم‌های کمکی