

کنترلرها در خطوط انتقال انرژی

نوع کلاسیک - نوع جدید (ابزار FACTS)

تألیف:

طهماسب علی شاهرخشاهی



کاوش پرداز

سرشناسه: شاهرخشاهی، طهماسبقلی، ۱۳۳۴

عنوان و نام پدیدآور: کنترلرولرها در خطوط انتقال انرژی، نوع کلاسیک، نوع جدید (ایزار FACT)/تالیف طهماسبقلی شاهرخشاهی

مشخصات نشر: تهران، کاوش پرداز، ۱۳۹۷. مشخصات ظاهری: ۳۷۸ صفحه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۱۰۲-۳۱-۳

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: کتابنامه

موضوع: برق - انتقال - جریان متناوب. موضوع: Electric power transmission—Alternating current

موضوع: برق، سیستم‌ها، کنترل.

موضوع: Electric Power system -- Control

موضوع: سیستم‌های انتقال انعطاف پذیر ل سی.

موضوع: Flexible AC Transmission systems

رده بندی کنگره: ۱۳۹۷ ۲ک۹ / TK۲۱۴۱

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۹۱۳

شماره کتابشناسی ملی: ۵۱۲۵۳۳۴



کاوش پرداز

• کنترلرولرها در خطوط انتقال انرژی: نوع کلاسیک - نوع جدید (ایزار FACTS)

• مولف: طهماسبقلی شاهرخشاهی

• چاپ: صحافی: واژه

• چاپ: تهران ۱۳۹۷

• ناشر: کاوش پرداز

• قیمت: ۳۵۰۰۰ تومان

• شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۱۰۲-۳۱-۳

تهران، خیابان انقلاب، روبروی دانشگاه تهران، خیابان فخرآزادی، بن بست نیک پور، پلاک ۷

تلفن: ۶۶۴۹۹۵۹۱ - ۶۶۴۸۴۹۵۷

تلگرام: @kavoshpardaz

www.kavoshbook.com

۵۰

تیراژ

مقدمه مولف

با توجه به رشد شتاب آلود و سریع مصرف انرژی الکتریکی در کلیه کشورها اجرای پروژه‌های توسعه و تامین انرژی شامل احداث نیروگاه‌ها، خطوط انتقال انرژی و شبکه‌های توزیع علیرغم برنامه ریزی‌های دقیق و به موقع، پاسخگوی درخواست انرژی نبوده، کمبود انرژی در بسیاری از کشورها مطرح بوده است. هرگونه وقفه و تاخیر در اجرای پروژه‌های تامین انرژی نظیر احداث نیروگاه و گسترش شبکه‌های سراسری با بروز خاموشی‌ها و صدمات اقتصادی فراوان همراه می‌باشد. با این همه جهت کاهش بار قوی و خطوط انتقال انرژی در شبکه‌های سراسری، تحت ظرفیت واقعی خود مورد بهره‌برداری قرار نگرفته، قدرت اکثر برقرار شده و قدرت اسمی تجهیزات و خطوط انتقال انرژی مقادیر کمتر از ظرفیت و توانایی هادیهای حامل جریان را دارا می‌باشند.

عدم استفاده از ظرفیت کامل تجهیزات و خطوط به توزیع نامناسب و غیرقابل کنترل بار در سراسر شبکه موجب گردیده margin کافی به منظور مقابله با افزایش بار در شرایط عادی بهره‌برداری (استاتیک) و شرایط بروز اختلال (دینامیک) در نظر گرفته شود. علاوه بر آن با توجه به عدم پایداری استاتیک و دینامیک در خطوط انتقال انرژی پیش‌بینی margin اضافی قطعی و ضروری می‌باشد.

طبق آنچه که شرح داده شد در پاره‌ای خطوط و در برخی ساعات روز بار برق رشد قابل توجهی دارد. مقدار کمتر به میزان ۲ تا ۳ برابر ظرفیت واقعی را دارا بوده، بار اسمی نیز با margin به میزان ۲۵٪ کمتر از ظرفیت واقعی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به مراتب فوق پیش‌بینی کنترل کننده‌های مناسب به عنوان کنترلر Controller به کاهش بار متفاوت از پخش بار طبیعی شبکه، را تا مقدار حداکثر در کلیه ساعات بهره‌برداری مقدور می‌نماید.

امکان کنترل بار خطوط در هر لحظه و در هر مقدار مورد نظر، از دیرباز از هنگام احداث اولین شبکه‌های انتقال و توزیع انرژی همواره مورد نظر بوده است.

کنترل کننده‌های اولیه و معمول بکار برده شده، ساده بوده شامل قطع و وصل خطوط موازی، احداث خطوط موازی تحت ردیف ولتاژهای متفاوت و در سالهای بعد خطوط موازی جریان مستقیم و ترانسفورماتورهای تغییر فاز بوده‌اند. این روشها به عنوان روشهای کلاسیک تنها در شرایط استاتیک و در محدوده تنظیم ناچیز تنها در برخی خطوط قابل

استفاده بوده، قادر به توزیع مناسب و ایده‌آل بار در سطح شبکه نبوده‌اند. به علاوه کنترل کننده‌های مورد اشاره کیفیت تنظیم مناسب و فضای کافی را به منظور نصب دارا نبوده با هزینه بالا همراه بوده‌اند. به دلایل فوق تنها در شبکه‌ها با قدرت و مصرف بالا و در خطوط ارتباطی اصلی (Tie Line) به میزان محدود بکار برده می‌شوند. نظیر انواع مختلف ترانسفورماتورهای تغییر فاز با تنظیم مکانیکی (با استفاده از دستگاه tap changer زیر بار یا Onload Tap Changer (OLTC) در شرایط استاتیک و تنظیم الکتریک با استفاده از امان‌های تریستوری در شرایط دینامیک. کنترلرهای کلاسیک در فصل دوم در کتاب حاضر و در سایر کتب^۱ به تفصیل شرح داده شده‌اند.

با توجه به مشکلات کنترلرهای از نوع کلاسیک، ابداع تجهیزات مخصوص و مناسب با محدوده وسیع تنظیم بار به عنوان کنترلر بار^۲ واره مورد نظر بوده‌اند.

در سال‌های اخیر ابداع تکنولوژی‌های جدید بر مبنای امان‌های نیمه هادی الکتریک قدرت با خصوصیات و امکانات کاملتر نسبت به تجهیزات الکتریک موجود نظیر ترستورها، امکان ساخت تجهیزات جدید تنظیم امانس در خطوط یا کنترلرها مقصور گردیده، که با Load Flow و تغییرات آن در طی بهره‌برداری عادی (در ساعات بی‌باری و پرباری یا پیک بار در ۲۴ ساعت به عنوان استاتیک) و همزمان با اختلالات روی داده در شبکه (به عنوان دینامیک) در فاصله وسیع صورت می‌گیرد.

بر طبق تکنولوژی جدید انواع کنترلرها به سه‌گروه کنترل بار، اکتیو و راکتیو از حدود دهه ۹۰ و بطور عمده از سال ۲۰۰۰ ساخته و در خطوط انتقال انرژی در بسیاری کشورها نصب گردیده‌اند. کنترلرهای جدید اجازه می‌دهند برقراری بار خطوط یا Load Flow شبکه حتی الامکان نزدیک به ظرفیت^۳ با حداقل margin در هر لحظه فراهم گردد. بدین ترتیب شبکه‌های سراسری قادر گردیده‌اند تا محدودی به افزایش راندمان مصرف انرژی پاسخ داده، فرصت اجرای پروژه‌های توسعه شبکه فراهم شود.

قابلیت تجهیزات جدید در کنترل بار خطوط و بهره‌برداری با حداکثر راندمان در کلیه خطوط صرفنظر از ردیف ولتاژ شامل توزیع، فوق توزیع و انتقال مقصور بوده، بخشی از دشواریها در تامین انرژی با توجه به سخت‌های بعمل آمده در تکنولوژی رفع گردیده‌اند. همچنین ابداع تجهیزات جدید با سرعت پاسخگویی بالا در تنظیم ولتاژ و اصلاح زاویه بار، بهره‌برداری تحت قدرت نزدیک به قدرت حد پایداری استاتیک با حداقل margin را مقصور نموده است. بدین ترتیب خطوط HVAC با توجه به نصب کنترل کننده‌های جدید بار یا کنترلرها و منابع جدید قدرت راکتیو با تنظیم پیوسته و اتوماتیک با اتصال سری و شنت، تحت بار اکتیو برابر با حداکثر ظرفیت مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. منابع جدید قدرت راکتیو با استفاده از تکنولوژی جدید از قابلیت‌های فوق‌العاده نسبت به منابع کلاسیک قدرت راکتیو نظیر

کمپانساتورهای سنکرن، برخوردار بوده مشکلات تغییرات ولتاژ و پدیده Voltage Collapse (VC) را نیز رفع نموده‌اند، آنچنانکه همزمان با استفاده از کنترلرها و منابع جدید قدرت راکتیو، margin مورد نیاز با توجه به حد پایداری استاتیک و دینامیک کاهش یافته، بار اسمی و حد ظرفیت خطوط به یکدیگر نزدیک و در پاره‌ای موارد بر یکدیگر منطبق گردیده‌اند.

خطوط HVAC مجهز به تجهیزات جدید با امکان کنترل بار اکتیو و قدرت راکتیو، برخوردار از Reliability بالا و استهلاک سریع نوسانات (PS) Power Swing و لذا افزایش حد پایداری استاتیک، امکان حفظ ولتاژ، کاهش جریان‌های عیب و اصلاح زاویه فاز به عنوان Flexible AC Transmission (FACT) نام برده شده، تجهیزات جدید شامل کنترلرها و منابع قدرت اکتیو و سایر functionهای مورد نیاز، ایزار FACT نامیده می‌شوند.

تجهیزات یا ایزار FACT با بکارگیری تکنولوژی ابداع شده موسوم به Voltage Source Converter (VSC) و یا Current Source Converter (CSC) با استفاده از نیمه هادیهای جدید الکترونیک ساخته شده، از تنوع وسیع برخوردار بوده، بطور مداوم بر تنوع توان افزوده می‌گردد. (در فصل اول - بخش ۵-۱ انواع کنترلرها و منابع قدرت راکتیو قابل تنظیم در ردیف ایزار FACT، اساس تکنولوژی VSC بطور خلاصه آورده شده‌اند).

دو تکنولوژی VSC و CSC در حدود سال ۱۹۹۵-۲۰۰۰ میلادی، و از سال ۲۰۰۰-۱۹۹۵ استفاده از آنان به منظور ساخت انواع مختلف ایزار FACT در خطوط انتقال انرژی HVAC، مشاهده می‌شود که‌های توزیع و فوق توزیع برخوردار از قابلیت‌ها و functionهای مختلف آغاز گردید. در فصل اول - بخش ۵-۱ تاریخچه مختصر در مورد ابداع تکنولوژی VSC و استفاده از آن در ساخت کنترلرها، منابع قدرت راکتیو قابل تنظیم، کنترلرهای قدرت راکتیو، محدود کننده‌های جریان‌های عیب در کلیه ردیف ولتاژها آورده شده است.

تکنولوژی VSC در تبدیل جریان‌های AC به DC و بالعکس نیز تحول عمده را در ساخت ایستگاههای کنورتور و اینورتر (AC→DC و DC→AC) موجب شده، خطوط انتقال انرژی VDC امکانات و قابلیت‌های بیشتر در مقایسه با روش‌های موجود کلاسیک احداث و بکار برده می‌شوند. در روش جدید تبدیل AC به DC تکنولوژی Commutation به تکنولوژی Switching تغییر یافته، تبدیل AC به DC و بالعکس با انجام Switching (قطع و وصل الکترونیک) با استفاده از المان‌های الکترونیک قدرت از نوع نیمه هادیها صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب امکان احداث شبکه‌های HVDC (خطوط انتقال انرژی DC چند مداره یا Ring) به سهولت و با امکانات فنی بیشتر نسبت به روش کلاسیک مقدور گردیده است. شبکه‌های HVDC همزمان با مطرح شدن و استفاده از انرژی‌های نو، ارتباط و انتقال این نوع منابع تولید را به شبکه مقدور نموده‌اند. انرژی تولیدی واحدهای بادی، خورشیدی و غیره در ردیف انرژی‌های نو، تحت ولتاژ پایین DC، به شبکه‌های سراسری HVAC منتقل می‌گردد. تاسیسات یکسو کننده جدید براساس

تکنولوژی VSC موسوم به VSC-HVDC در کتاب جداگانه مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

کلیه ابزار FACT قابلیت و توانایی کنترل بار و تغییر امپدانس را در خطوط دارا بوده، قادر می‌باشند در نقش کنترلر نیز عمل نمایند. با این همه در کنترلرها از نوع ابزار FACT وظیفه عمده و اصلی کنترل بار خط بوده، قابلیت‌ها و functionهای دیگر امکانات جنبی محسوب می‌شوند. نظیر ابزار UPFC، TCSC، SSSC، STATCOM و غیره.

در کتاب حاضر در طی فصول سوم تا دهم تاسیسات SSSC و TCSC مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. تاسیسات UPFC مفصل بوده، در کتاب جداگانه همراه با سایر تجهیزات کنترل قدرت راکتیو بر مبنای تکنولوژی VSC موسوم به STATCOM یا VSC-SVC مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

طبق آنکه شرح داده شد انتظار می‌رود در طی سالهای آینده کلیه خطوط انتقال انرژی به کنترلرهای نوع جدید براساس تکنولوژی VSC مجهز شوند.

در آلمان‌های الکتریک قدرت بکار برده شده در تکنولوژی VSC امکان قطع جریان در منحنی سینوسی جریان در هر لحظه موجود می‌باشد. در شبکه‌های ترانسفورهای نوع معمول قطع جریان قابل کنترل نبوده، در اولین لحظه صفر جریان سینوسی بطور طبیعی بر روی مدار به همین علت ارسال سیگنال برقراری مجدد هدایت در هر نیم پریود ضروری می‌باشد. به عبارت دیگر در ترانسفورهای نوع معمول تنها لحظه برقراری جریان قابل کنترل بوده، لحظه قطع جریان قابل کنترل نبوده در لحظه صفر سینوسی جریان می‌دهد و قطع جریان برقرار شده در ترانسفور در پی Firing آن مستلزم طی فاصله زمانی تا لحظه صفر سینوسی خواهد بود. این قابلیت با استفاده از ترانزیستورها و دیودهای هدایت مخصوص با امکان قطع موسوم به (IGBT) Insulated Gate Bipolar Transistor و ارسال سیگنال مخصوص مقدور می‌گردد. مشابه سیگنال بکار برده شده در برقراری جریان.

آلمان‌های جدید الکتریک قدرت یا IGT و خانواده آنان انواع مختلف را از نظر ساختمان و ظرفیت عبور جریان شامل می‌شوند. بدین ترتیب در آلمان‌های جدید الکتریک قدرت قطع هدایت یا Turn-off مشابه برقراری جریان یا Turn-on امکان‌پذیر بوده در لحظه مناسب مورد نظر انجام می‌شود. به همین علت به عنوان سارات قطع و وصل یا Switching نام برده می‌شوند.^۱

ساختمان آلمان‌های جدید IGT و تکنولوژی VSC و استفاده از آنان در تنظیم و تبدیل جریان AC→DC و DC→AC و تزریق ولتاژ در کتاب جداگانه آورده خواهد شد. با این همه استفاده از تکنولوژی VSC به منظور تهیه ولتاژ مناسب مورد تزریق به خط و تغییر امپدانس خط در تاسیسات Static Synchronous Series Compensator (SSSC) به عنوان کنترلر از نوع ابزار FACT در فصول سوم، چهارم و

پنجم آورده شده است.

کتاب حاضر به کنترلرها از نوع کلاسیک و جدید با استفاده از تکنولوژی VSC اختصاص داشته، تجهیزات دیگر طبق تکنولوژی VSC در ردیف ابزار FACT به منظور تنظیم ولتاژ، تنظیم قدرت را کتب، کاهش جریانهای عیب، استهلاک نوسانات PS و بهبود پایداری خطوط در کتاب جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا ضرورت نصب کنترلرها در خطوط انتقال انرژی و ساختمان آنان از نوع کلاسیک نظیر انواع مختلف ترانسفورماتورهای تغییر فاز (نوع تنظیم مکانیکی و نوع تنظیم تریستوری) شرح داده شده، در قسمت‌های بعد کنترلرها از نوع جدید بر طبق تکنولوژی VSC در ردیف ابزار FACT شرح داده می‌شوند.

در کتاب دوم اصول کار تکنولوژی VSC و استفاده از آن در ساخت ابزار FACT به صورت گسترده آورده خواهند شد. در کتاب سوم استفاده از تکنولوژی VSC در تبدیل AC به DC در ایستگاههای یکسو کننده در خطوط HVDC، ایستگاههای AC-DC و ایستگاههای تبدیل AC*DC به منظور تبدیل فرکانس آورده خواهند شد. در خاتمه لازم می‌دانم مراتب تشکر خود را مورد توجه انتشارات به منظور ابزار علاقمندی در چاپ کتاب حاضر نهایت تشکر و امتنان خود را ابزار نموده، امید به چاپ کتب علمی مورد اشاره را دارا باشیم.

با تشکر

ط. شاهرخشاهی

با خوشوقتی بسیار ، بدینوسیله شرکت مهندسی " انتقال انرژی مهان نیرو " دومین کتاب پژوهشی و تحقیقاتی در موضوع "کنترلرها در خطوط انتقال انرژی" را منتشر و معرفی می‌نماید.

کتاب حاضر زیرنظر بخش تحقیقات شرکت به چاپ رسیده است. اولین کتاب تحت عنوان «اضافه ولتاژها در خطوط انتقال انرژی» در پاییز سال گذشته منتشر گردید.

همچنانکه در مقدمه کتاب آورده شده است ، روش‌های کنترل بار در خطوط انتقال انرژی در ردیف ولتاژهای HV و EHV شرح داده می‌شود. کنترل قدرت برقرار شده و امکان تنظیم آن در هر لحظه مستلزم تغییر امپدانس خط به روش‌های مناسب می‌باشد . روش‌های تغییر امپدانس در این کتاب نشان داده شده است.

کتاب حاضر به‌عنوان اولین کتاب در موضوع کنترل بار در خطوط انتقال انرژی حائز اهمیت است . تاکنون در دیگر منابع و مراجع فارسی به‌طور مشروح مطرح نگردیده است.

این شرکت امید دارد کتاب حاضر مورد توجه همکاران ، کارشناسان و متخصصان قرار گرفته و مفید مع گردد

شرکت انتقال انرژی

مهان نیرو

فهرست مطالب

فصل اول: ضرورت کنترل بار و کنترلرها در خطوط انتقال انرژی.....	۱
۱-۰- مقدمه.....	۱
۱-۱- ضرورت کنترل بار در خطوط انتقال انرژی.....	۲
۱-۲- روشهای کنترل بار در خطوط انتقال انرژی.....	۷
۱-۳- ضرورت کنترل جهت و قدرت در خطوط انتقال انرژی.....	۱۱
۱-۴- مقاطع قابل کنترل و نیاز کنترل در شبکه های سراسری.....	۱۸
۱-۵- ابزار FACT به عنوان کنترلر در خطوط انتقال انرژی.....	۲۴
منابع و مراجع فصل اول.....	۳۱
فصل دوم: ترانسفورماتورهای تغییر فاز نوع مغناطیسی و ترستی.....	۳۳
۲-۰- مقدمه.....	۳۳
۲-۱- ساختمان ترانسفورماتورهای تغییر فاز، Phase Shift Transformer.....	۳۵
۲-۲- ترانسفورماتورهای تغییر فاز یا Phase Shift Tran نوع مغناطیسی مجزیه OTC.....	۴۰
۲-۳- آزمایشات.....	۴۴
مثال ۲-۱: PST ها نصب شده در شبکه سراسری برق در کشور فرانسه.....	۴۶
مثال ۲-۲: PST مخصوص کنترل هر دو قدرت اکتیو و راکتیو در فاصله دو شبکه.....	۵۰
مثال ۲-۳: پیش بینی اتوترانسفورماتور به منظور ارتباط دو خط تحت ولتاژهای مختلف همراه با کنترل قدرت های اکتیو و راکتیو.....	۵۱
مشخصات فنی:.....	۵۳
۲-۴- ترانسفورماتورهای Phase Shift (PS) به منظور محدود نمودن جریان های عیب.....	۵۴

۶۱	۲-۵- ترانسفورماتورهای کمکی تغییر فاز یا Assisted Phase Shifting Transformer (APST)
۶۷	۲-۶- مقابله با یخ در هادیها در خطوط انتقال انرژی با کمک PST, (Line De-icing)
۷۰	نتایج مطالعات:
۷۱	مثال ۲-۴: ترانسفورماتور تغییر فاز به منظور کنترل انرژی در خط ارتباط شبکه‌های فرانسه و بلژیک
۷۶	۲-۷- رله‌های حفاظتی ترانسفورماتور
۷۹	مثال ۲-۵: لزوم کنترل و تنظیم عرضی ولتاژ در خط انتقال Ekibustuz-Centre ۱۱۵۰KV
۸۶	۲-۸- ترانسفورماتور تغییر فاز استاتیک (تریستوری) به منظور کنترل استاتیک و دینامیک بار خطوط
۸۷	کنترل ترانسفورماتور تغییر فاز استاتیک (تریستور): به منظور بررسی تاثیر کنترلر تغییر فاز استاتیک
۹۹	نتایج مطالعات
۹۹	ضمیمه A: حالتی که ترانسفورماتور QVI و ولتاژ تزریق شده Quadrature و ولتاژ سری Boosting
۱۰۲	ضمیمه B: پارامترهای شبکه در حالت دو ماشین
۱۰۵	منابع و مراجع فصل دوم
	فصل سوم: کمپانساتورهای سنکرون استاتیک سری با خط یا SSSC بر طبق تکنولوژی VSC به عنوان کنترلر و ابزار FACT
۱۰۷	۳-۰- مقدمه
	۳-۱- کمپانساتورهای سنکرون استاتیک با اتصال سری
۱۰۷	Static Synchronous Series Compensator (SSSC)
۱۱۱	۳-۲- مشخصه‌های اصلی در تاسیسات SSSC
۱۱۳	۳-۳- موارد استفاده
۱۱۶	۳-۴- بانک‌های خازنی سری
۱۱۷	۳-۵- روش تنظیم زاویه فاز با استفاده از المان‌های تریستور (روش استاتیک)
۱۱۹	۳-۶- بانک خازنی سری کنترل شده با تریستور (TSCS)
۱۲۶	۳-۷- سوچ بازبانی انرژی مغناطیسی (MERS) Magnetic Energy Recovery Switch
۱۲۹	۳-۸- کنترل کننده قدرت خط در شرایط دینامیک (Dynaflow) Dynamic Flow Controller
۱۳۰	۳-۹- کنورترها با منبع ولتاژ (تکنولوژی VSC) - مقدمه

۱۴۵	۳-۱۰ نتایج کلی
۱۴۵	منابع و مراجع فصل سوم
۱۴۷	فصل چهارم: اصول ساختمان و تامین ولتاژ VSC در تاسیسات SSSC و روش های حذف هارمونی
۱۴۷	۴-۰ مقدمه
۱۴۹	۴-۱ کنورترهای استاتیک DC-AC با کموتاسیون اجباری
۱۵۵	۴-۲ استراتژی ها (روش های تعیین شده) در قطع و وصل (Switching) در VSC ها
۱۸۲	۴-۳ VSC سطح متعدد
۱۸۳	۴-۴ VSC با پالس های متعدد
۱۹۸	۴-۵ VSC با PWM سینوس سطح ولتاژهای مختلف یا Multi-Level
۲۰۵	۴-۵ VSC با پالس های متعدد حذف هارمونی های مورد نظر
۲۰۶	منابع و مراجع فصل چهارم
۲۰۷	فصل پنجم: مطالعات شبیه سازی دینامیک بخش بار با استفاده از ابزار SSSC
۲۰۷	۵-۰ مقدمه
۲۰۷	۵-۱ مدل منبع ولتاژ مولفه مستقیم متعادل در شرایط عادی به بردار
۲۱۰	۵-۲ اتصال سری VSC به تجهیزات ذخیره انرژی و سایر VSC ها
۲۱۱	مثال در مورد کنترل بخش بار با استفاده از تاسیسات SSSC
۲۱۷	۵-۳ شبیه سازی دینامیک برای تاسیسات SSSC
۲۱۹	ضمیمه ۵-۱
۲۲۰	منابع و مراجع فصل پنجم
۲۲۱	فصل ششم: TCSC در ردیف ابزار FACT به عنوان کنترلر
۲۲۱	۶-۰ مقدمه
	۶-۱ کمپانساتور سری (بانک خازنی سری) کنترل شده با تریستور یا
۲۲۳	Thyristor Centrolled Series Compensator (TCSC)

۲۲۸	۶-۲- تاسیسات TCSC به منظور کنترل بار در خط ارتباط ۳۸۰KV سوئیس - ایتالیا (S-I)
۲۳۶	۶-۳- کنورتر با منبع ولتاژ یا: Voltage Sourced Converter
۲۴۱	۶-۴- نقش تاسیسات TCSC در استهلاك نوسانات PS در خطوط انتقال انرژی با طول بالا (انتقال انرژی به فواصل دور) - مطالعات صورت گرفته در خط ۵۰۰KV در کشور برزیل
۲۴۴	۶-۵- کنترل کننده به منظور استهلاك نوسانات PS به عنوان Power Oscillation Daming (POD)
۲۵۰	۶-۶- آزمایشات کار تاسیسات
۲۵۴	۶-۷- نتایج فصل ششم
۲۵۶	منابع و مراجع فصل ششم
۲۵۷	فصل هفتم: خط VDC به عنوان کنترلر در شبکه‌های سراسری
۲۵۷	۷-۰- مقدمه
۲۵۸	۷-۱- مشخصات خطوط انتقال VDC به عنوان کنترلر بر طبق تکنولوژیهای مدرن
۲۶۲	۷-۲- کنترل بار در شرایط استاتیک و دینامیک با استفاده از خطوط HVDC و ترانسفورماتورهای تغییر فاز (PST)
۲۶۳	۷-۳- میزان استفاده PFC در شبکه شمال غرب اروپا
۲۶۶	۷-۴- بهره‌برداری شبکه و تامین Security
۲۷۱	۷-۵- مثال ۱: هماهنگی در کار تجهیزات PFC از نظر پایداری
۲۷۹	۷-۶- نقش خطوط انتقال انرژی جریان مستقیم و ایستگاههای AC-DC در شبکه سراسری کشور شوروی
۲۹۴	منابع و مراجع فصل هفتم
۲۹۵	فصل هشتم: کنترل خطوط انتقال انرژی با استفاده از قطع و وصل خطوط موازی در شرایط دینامیک
۲۹۵	۸-۰- مقدمه
۲۹۶	۸-۱- شبکه برق کشور مکزیک و مشکلات کار خطوط اصولی Tie-Line در شبکه فوق
۲۹۸	۸-۲- قطع اتوماتیک ژنراتورها با استفاده از اندازه‌گیری‌های همزمان (Synchronized)
۳۰۱	۸-۳- تولید منطقه‌ای و مشکلات در خط ارتباط

۳۰۵	۸-۴- مدار مقدماتی و اولیه در نظر گرفته شده به منظور قطع اتوماتیک تولید
۳۰۷	۸-۵- نتایج کار مدار منطقی قطع تولید با استفاده از تفاوت زاویه فاز فازرهای همزمان
۳۱۳	۸-۶- نتایج مطالعات
۳۱۴	VIII- ضمیمه A - سنکروفاز به منظور کنترل شبکه
۳۱۸	منابع و مراجع فصل هشتم:
۳۱۹	فصل نهم: تعیین و انتخاب مشخصات اسمی کنترلر نوع SSSC
۳۱۹	۹-۰- مقدمه
۳۱۹	۹-۱- ضرورت کنترل بار خطوط و تجهیزات در شبکه‌های انتقال
۳۲۱	۹-۲- تاسیسات SSSC در نظر گرفته شده
۳۲۵	۹-۳- اعتبار و ارزش تاسیسات در شبکه بازی
۳۳۰	۹-۴- انتخاب محل نصب تجهیزات P. n. type
۳۳۱	۹-۵- نتایج مطالعات
۳۳۲	منبع
۳۳۳	فصل دهم: کنترلرهای استاتیکی نوع SSSC نصب شده در دنیا
۳۳۳	۱۰-۰- مقدمه
۳۳۴	۱۰-۱- تجهیزات و قطعات یا المان‌ها در تاسیسات SSSC و سایر ابزار FACT
۳۴۰	۱۰-۲- حفاظت در تاسیسات SSSC
۳۴۱	۱۰-۳- نمونه‌های تاسیسات
۳۴۸	منابع و مراجع فصل دهم