

سیستم‌های انتقال جریان متناوب

انعطاف‌پذیر (FACTS)

«مفاهیم و کاربردها»

(ویرایش دوم)

مؤلفان:

محمود جورابیان : استاد دانشگاه شهید چمران اهواز

گئورگ قره‌پتیان: استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر

داور میرعباسی: عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل

۱۳۸۹

سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS): مفاهیم و کاربردها. (ویرایش دوم)

مؤلفان: دکتر محمود جورابیان، دکتر گنورگ قره‌پتیان، مهندس داور میرعباسی.
اعضای شورای کمیسیون تخصصی علوم پایه، فنی و مهندسی، دکتر ناهید پوررضا، دکتر مرتضی زرگرشوشتری،
دکتر منوچهر چیت‌سازان، دکتر خلیل رنجبر، دکتر مرتضی رزاز، دکتر فضل‌الله عزیزی، دکتر علی
رضایی علی‌آباد.

ویراستار علمی: دکتر رحمت‌الله هوشمند.

ناشر: دانشگاه شهید چمران اهواز.

چاپ اول: ۱۳۸۹

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

لیتوگرافی چاپ و صحافی: اداره چاپ و انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

سرشناسه	: جورابیان، محمود، ۱۳۴۰.
عنوان و نام پدیدآور	: سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS) مفاهیم و کاربردها/ مؤلفان محمود جورابیان، گنورگ قره‌پتیان، داور میرعباسی.
وضعیت ویراست	: ویراست ۲.
مشخصات نشر	: اهواز: دانشگاه شهید چمران، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	: ج. ۲۲۹ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه شهید چمران: ۴۶۷.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۴۱-۰۰۰۰-۰۰۰۰
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: م. جورابیان، G. Gharapetian، D. Mirabbasi. Flexible AC Transmission systems (FACTS): (Basic concepts & applications).
یادداشت	: واژه‌نامه
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۲۶۲-۲۷۴.
موضوع	: سیستم‌های انتقال انعطاف‌پذیر ا. سی.
شناسه افزوده	: قره‌پتیان، گنورگ، ۱۳۴۱، مترجم
شناسه افزوده	: میرعباسی، داور، ۱۳۵۹-
شناسه افزوده	: دانشگاه شهید چمران اهواز.
رده بندی کنگره	: TK ۳۱۴۸/ج ۹ س ۹ ۱۳۸۹
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۹۱۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۰۲۷۶۴۰۲

محل‌های فروش کتاب

اهواز: گلستان - شهر دانشگاهی - کتابفروشی دانشگاه شهید چمران اهواز.

تلفاکس: ۰۶۱۱-۳۳۳۱-۷۲

تهران: خ. کارگر شمالی، خ. نصرت، خ. دکتر قریب نرسیده به خ. فرصت، پلاک ۱۱- مؤسسه کتابیران

تلفن: ۰۲۱-۶۶۵۴۵۱۰-۱۵

قیمت: ۶۰/۰۰۰ ریال

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

پیش گفتار ویرایش جدید مؤلفان

با پیشرفت صنعت نیمه هادی‌ها و الکترونیک قدرت، ادوات FACTS به عنوان نسل جدید جبران‌سازها، مورد توجه محققان قرار گرفته و به کار گیری آنها در شبکه‌های قدرت و صنایع روز به روز در حال افزایش است. چاپ اول کتاب با هدف آرایه مرجعی مناسب برای درس FACTS برای دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری برق قدرت تألیف شده بود. با توجه به احساس نیاز نویسندگان به افزودن مطالبی که مباحث جدیدی را در این حوزه تحت پوشش قرار دهد و از سویی دیگر، اظهار نظرها و پیشنهادات دانشجویان و اساتید محترمی که در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری از این کتاب به عنوان کتاب درسی در دانشگاه‌های مختلف استفاده کرده‌اند - که در اینجا از تمامی آنها تشکر می‌شود- ویرایش جدید کتاب، با اعمال تغییراتی به صورت حاضر به چاپ رسیده است.

در چاپ فعلی کتاب علاوه بر اعمال نقطه نظرات و پیشنهادهای اصلاحی مدرسان عزیز و دانشجویان گرامی، مطالبی نیز به صورت فصل جدید یا ضمیمه به کتاب اضافه شده و همچنین سوالات تمام فصول نیز اصلاح و تکمیل شده‌اند. نخست آنکه در فصل دهم، اینورترهای چند سطحی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مزیت اصلی این اینورترها، تولید شکل موج‌های خروجی با اعوجاج و هارمونیک پایین و همچنین، امکان ساخت مبدل‌های با توان بالا و با سطح ولتاژ خروجی بالا می‌باشد. در این فصل ضمن معرفی

انواع اینورترهای چند سطحی و اصول عملکردی هر یک از آنها، یک نمونه کاربردی از آنها در سیستمهای فوتوولتائیک نیز مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین جابجا کننده‌های فاز که قبلا در فصل دوم به صورت اجمالی بیان شده بود، حال با جزئیات کامل به عنوان ضمیمه (ج) به کتاب اضافه شده است. جابجا کننده‌های فاز به صورت گسترده‌ای در کشورمان نیز توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته‌اند که از جمله آنها می‌توان به بررسی کاربردی عملکرد و تاثیر آنها در شبکه خوزستان توسط برق منطقه‌ای خوزستان اشاره کرد. همچنین علاوه بر اصلاحات انجام شده در سوالات پایان هر فصل، سولاتی نیز جهت تکمیل تحقیقات دانشجویی به فصل‌ها اضافه شده است. در تجدید نظر و اصلاحات اخیر این کتاب قطعا لغزش‌های احتمالی وجود دارد. از این رو انتقادهای سازنده و هرگونه اظهارنظر مدرسان محترم، دانشجویان عزیز و سایر خوانندگان ارجمند به منظور اصلاح و ویرایش چاپ‌های بعدی موجب کمال تشکر و امتنان خواهد بود.

محمود جورابیان - گنورگ قره پتیان

داور میرعباسی

پیشگفتار مؤلفان

بهره‌برداری مفید و بهینه از سیستم قدرت از عوامل پیشرفت صنعت برق در عرصه تولید و انتقال است. هدف اساسی در سیستم قدرت، تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف‌کنندگان است به‌طوری که انرژی الکتریکی با کیفیت مطلوب و با کمترین هزینه بدست مصرف‌کننده برسد. با رشد صنایع و افزایش شمار مصرف‌کنندگان، شبکه را نیز باید به‌گونه‌ای توسعه داد تا ضمن اینکه کفایت و امنیت شبکه در تأمین بار مصرف‌کنندگان حفظ شود، به‌طور همزمان از نظر اقتصادی نیز سیستم در وضعیتی بهینه باشد. روش متداول برای توسعه شبکه در بسیاری از موارد، توسعه شبکه انتقال و احداث نیروگاه‌های جدید است. این کار علاوه بر اینکه ممکن است از نظر عملی به دلایلی میسر نباشد از لحاظ اقتصادی نیز ممکن است به صرفه نباشد.

از لحاظ تئوری یک خط انتقال قادر است توانی را تا حد ظرفیت بارگیری خود انتقال دهد، اما در عمل قبل از رسیدن به حد حرارتی، ممکن است محدودیت‌های دیگری، امکان استفاده بهینه از تمام ظرفیت انتقال را محدود کند.

برای غلبه بر محدودیت‌های انتقال انرژی و استفاده بهینه از ساختار شبکه، راه‌حلهایی ارائه شده است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به تغییر در ساختار شبکه موجود، استفاده از جبران‌سازها جهت کنترل پارامترهای شبکه و تکنولوژی خطوط انتقال فشار قوی DC اشاره نمود.

تغییرات در ساختار شبکه موجود معمولاً با مشکلاتی روبروست از جمله:

- حریم عبور،

- مشکلات زیست محیطی،

- مسائل مالی و هزینه نصب و ساخت.

در شبکه‌های موجود نیز استفاده از جبران سازه‌های مختلف معمولاً نسبت به HVDC بنا به دلایل زیر ترجیح داده می‌شود:

- کنترل توان در مسیرهای مورد نظر،

- عدم آسیب‌رسانی زیست محیطی،

- مقرون به صرفه‌تر بودن از لحاظ اقتصادی.

با پیشرفت الکترونیک قدرت و ساخت نیمه هادی‌های توان بالا، تحولی عظیم در زمینه جبران سازه‌های سیستم قدرت به وجود آمده است که حاصل آن ایجاد تکنولوژی جدید جبران‌سازها تحت عنوان FACTS¹ است که در یک دهه اخیر بحث و تحقیق بسیار زیادی روی آن در تمام مراکز تحقیقاتی جهان انجام گرفته است.

از دیگر عواملی که نیاز به ادوات FACTS را در شبکه‌های انتقال موجود ضروری می‌سازد مسائل اشتراکی تبادل انرژی و توان و بازارهای جدید ساختار یافته می‌باشند که در آن‌ها مکان تولید و مراکز بار به سرعت تغییر می‌کنند و اضافه کردن مکرر تجهیزات انتقال به دلایل اقتصادی و مسایل زیست محیطی محدود می‌باشد. بنابراین در این زمینه، به تغییر سیستم انتقال بدون احداث خطوط جدید نیاز است که تکنولوژی FACTS به این نیاز پاسخ می‌دهد.

به دلیل اهمیت کیفیت توان و کاربرد ادوات FACTS در شبکه‌های انتقال و به دلیل گستردگی روش بررسی موضوع این کتاب می‌تواند برای بخش وسیعی از شاخه‌های

¹ - Flexible AC Transmission System

مهندسان برق (از جمله قدرت، الکترونیک و کنترل) جالب باشد. مهندسان شاغل در شرکت‌های برق و مراکز صنعتی، تئوری و توصیف ادوات FACTS را در حل مسائل مربوط به تولید و انتقال توان الکتریکی، بهره‌برداری بهینه و اقتصادی از سیستم قدرت، بهبود وضعیت‌های دینامیکی سیستم و مسائل خصوصی سازی همراه با افزایش شدید سطح تولید و انتقال توان، بسیار با ارزش یافته‌اند.

اهداف این کتاب عبارتند از: فراهم ساختن مرجع کامل و مناسب که سرفصل‌های ارائه شده در درس FACTS را برای دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری برق (قدرت) پوشش دهد. همچنین به عنوان یک مرجع مناسب برای دانشجویان کارشناسی برق جهت آشنایی با اهمیت کنترل توان اکتیو و راکتیو در سیستم‌های قدرت و کاربرد ادوات FACTS، و نهایتاً هدایت نیازهای جامعه علمی به کاربردهای عملی ادوات FACTS در صنعت برق.

موقعیت را مغتنم شمرده، جا دارد از کلیه اساتید و دوستان، بخصوص آقایان جواد ابراهیمی و قاسم مختاری که ما را در تألیف این کتاب راهنمایی نموده‌اند تشکر نمایم. 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 سازنده خود را دریغ ننمایند.

محمود جوراییان، گئورگ قره‌پتیان

و

داور میر عباسی

ج	پیشگفتار ویرایش جدید مؤلفان.....
خ	پیشگفتار مؤلفان.....
۱	مقدمه.....

فصل اول

اصول جبران سازی و جبران سازهای متعارف

۷	۱-۱ مقدمه.....
۸	۲-۱ محدودیت های انتقال توان در سیستم های قدرت.....
۹	۱-۲-۱ عبور توان در مسیرهای ناخواسته.....
۱۰	۲-۲-۱ عدم بهره برداری از ظرفیت واقعی خط انتقال.....
۱۳	۳-۱ راه های معمول افزایش ظرفیت توان انتقالی در سیستم های قدرت.....
۱۴	۱-۳-۱ احداث خطوط انتقال جدید.....
۱۴	۲-۳-۱ بهبود وضعیت بهره برداری از خطوط موجود.....
۱۵	۴-۱ کاربرد ادوات متعارف برای افزایش ظرفیت انتقال.....
۱۵	۱-۴-۱ خازن های سری کنترل شده با کلیدهای مکانیکی.....
۱۷	۲-۴-۱ بانک های خازنی - راکتوری موازی کنترل شونده با کلیدهای مکانیکی.....
۱۹	۳-۴-۱ جابجا کننده فاز کنترل شده با استفاده از کلیدهای مکانیکی.....
۲۰	۴-۴-۱ مشخصه های توان - زاویه خط انتقال در حالات مختلف.....
۲۱	۵- خلاصه.....
۲۲	۶-۱ سوال و تحقیق.....

فصل دوم

ادوات FACTS کنترل شده با ترستور

۱-۲	مقدمه	۲۵
۲-۲	ترستور	۲۷
۳-۲	ادوات FACTS کنترل شده با ترستور	۲۹
۱-۳-۲	چراغ کننده وار ایستا (SVC)	۳۰
۲-۱-۳-۲	راکتور کنترل شده با ترستور (TCR)	۳۰
۲-۱-۳-۲	خازن سوئیچ شونده با ترستور TSC	۳۷
۲-۳-۲	خازن سری کنترل شده با ترستور (TCSC)	۳۹
۳-۳-۲	جابجا کننده فاز کنترل شده با ترستور (TCPS)	۴۳
۴-۲	خلاصه	۴۶
۵-۲	سوال و تحقیق	۴۷

فصل سوم

ادوات FACTS بر پایه مبدل منبع ولتاژ

۱-۳	مقدمه	۵۱
۲-۳	مبدل منبع ولتاژ VSC	۵۴
۱-۲-۳	مبانی و اصول	۵۴
۳-۳	ادوات STATCOM	۶۱
۱-۳-۳	روش های کاهش هارمونیک های ولتاژ	۶۵
۱-۱-۳-۳	اتصال سه فاز مبدل به شکل مثلث	۶۵
۲-۲-۳-۳	تغییر در تاخیر فاز کلیدزنی	۶۶
۳-۱-۳-۳	مدولاسیون پهنای پالس (PWM)	۶۷

۶۸	۴-۱-۳-۳ مدار زنجیره‌ای
۶۸	۴-۱-۳-۳ جابجایی فاز با استفاده از ترانسفورماتور
۶۹	۴-۳ جبران‌ساز SSSC:
۷۳	۵-۳ UPFC:
۷۹	۶-۳ کنترل‌کننده مدیریت انتقال توان IPFC:
۸۴	۷-۳ خلاصه
۸۶	۸-۳ سوال و تحقیق

فصل چهارم

مدل سازی عناصر FACTS در محاسبات پخش بار

۹۵	۱-۴ پخش بار AC
۹۵	۱-۱-۴ مقدمه
۹۷	۲-۱-۴ روابط اصلی
۱۰۱	۳-۱-۴ روش نیوتن رافسن
۱۰۷	۴-۱-۴ روش مجزا شده و مجزا شده سریع
۱۱۳	۲-۴ پخش بار در شبکه‌هایی که تجهیزات FACTS دارند
۱۱۳	۱-۲-۴ روابط اساسی
۱۱۷	۲-۲-۴ روش پخش بار همزمان
۱۲۲	۳-۲-۴ روش پخش بار ترتیبی
۱۲۵	۳-۴ روابط پخش بار برای یک نمونه از عناصر FACTS
۱۲۷	۴-۴ خلاصه
۱۲۹	۵-۴ سوال و تحقیق

فصل پنجم

کاربرد ادوات FACTS به منظور کنترل پخش بار و کاهش تلفات سیستم

۱-۵	مقدمه	۱۳۱
۲-۵	اصول کاربردی UPFC	۱۳۶
۱-۲-۵	مدل UPFC	۱۳۶
۳-۵	مدل شاخه‌ی سری	۱۳۷
۴-۵	مدل کلی UPFC	۱۳۸
۵-۵	نتایج شبیه‌سازی‌ها	۱۳۹
۶-۵	اثر UPFC بر روی پخش توان و تنظیم ولتاژ	۱۴۰
۷-۵	اثر UPFC بر کاهش تلفات توان	۱۴۲
۸-۵	خلاصه	۱۴۶
۹-۵	سوال و تحقیق	۱۴۷

فصل ششم

کاربرد ادوات FACTS برای افزایش پایداری دینامیکی سیستم قدرت

۱-۶	مقدمه	۱۴۹
۲-۶	اثر PSS روی پایداری دینامیک سیستم قدرت	۱۵۴
۳-۶	اثر UPFC روی پایداری سیستم قدرت	۱۵۵
۴-۶	سیستم مورد آزمایش	۱۵۷
۵-۶	مطالعه‌ی مقایسه‌ای PSS و UPFC	۱۵۸
۶-۶	خلاصه	۱۶۳
۷-۶	سوال و تحقیق	۱۶۴

فصل هشتم

بهبود پایداری گذرا توسط ادوات FACTS

۱-۷	مقدمه	۱۶۷
۲-۷	مروری بر مفهوم سطوح معادل	۱۶۸
۳-۷	راهبردهای کلی برای بهبود پایداری گذرا	۱۷۵
۴-۷	بهبود پایداری گذرا توسط SVC	۱۷۶
۵-۷	بهبود پایداری گذرا توسط SSSC	۱۷۹
۶-۷	بهبود پایداری گذرا توسط SPS	۱۸۱
۷-۷	جمع بندی	۱۸۴
۸-۷	خلاصه	۱۸۵
۹-۷	سوال و تحقیق	۱۸۶

فصل نهم

نگاهی به تأثیر ادوات FACTS بر قابلیت اعتماد سیستم‌های قدرت

۱-۸	مقدمه	۱۸۷
۲-۸	نگاهی به یک تحقیق	۱۹۲
۱-۲-۸	نتایج تحقیق	۱۹۵
۲-۲-۸	مقایسه‌ی بین ادوات UPFC و TCSC	۲۰۱
۳-۸	خلاصه	۲۰۴
۴-۸	سوال و تحقیق	۲۰۵

فصل نهم

کاربرد ادوات FACTS در بهبود کیفیت توان

۱-۹	مقدمه	۲۰۷
۲-۹	بهبود سیلان توان / کیفیت توان یک پارچه	۲۱۷
۳-۹	جبران سازی شنت	۲۱۹
۴-۹	جبران سازی سری	۲۲۳
۵-۹	جبران سری - موازی یک پارچه	۲۲۵
۶-۹	خلاصه	۲۲۸
۷-۹	سوال و تحقیق	۲۲۹

فصل دهم

اینورترهای چندسطحی

(با یک مثال نمونه کاربردی)

۱-۱۰	مقدمه	۲۳۱
۲-۱۰	ساختارهای مبدل های چندسطحی	۲۳۶
۱-۲-۱۰	مبدل دیود-کلمپ	۲۳۶
۲-۲-۱۰	مبدل چندسطحی خازن شناور	۲۴۲
۳-۲-۱۰	مبدل چندسطحی کاسکاد	۲۴۶
۴-۲-۱۰	ساختارهای دیگر برای مبدل های چندسطحی	۲۴۹
۱-۴-۲-۱۰	مبدل چندسطحی منابع dc کاسکاد و مبدل چندسطحی ترانسفورماتورهای کاسکاد	۲۴۹
۲-۴-۲-۱۰	توپولوژی Generalized MLI	۲۵۰
۳-۴-۲-۱۰	مبدل چندسطحی هیبرید سطح ثابت	۲۵۱

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱۰-۲-۴-۴ سلول‌های چندسطحی هیبرید نامتقارن.....	۲۵۳
۱۰-۲-۴-۵ مبدل چندسطحی کلیدزنی نرم.....	۲۵۴
۱۰-۳ نمونه ای از کاربردهای مبدل‌های چندسطحی.....	۲۵۴
۱۰-۴ سوال و تحقیق.....	۲۶۱
مراجع.....	۲۶۳
مجموع.....	۲۷۵
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی.....	۳۱۹
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی.....	۳۲۵

www.ketab.ir

مقدمه

اجزاء سیستم قدرت

امروزه انرژی برق به دلیل سهولت استفاده و تبدیل به انرژی‌هایی دیگر و نیز به علت در دسترس بودن آن به یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین انرژی‌های مورد استفاده توسط انسان تبدیل شده است؛ به گونه‌ای که حتی یک روز بدون انرژی برق را نمی‌توان متصور نمود. نزدیک به سی درصد از منابع انرژی اولیه در جهان برای تولید انرژی الکتریکی به مصرف می‌رسد و تقریباً تمامی این انرژی الکتریکی به وسیله‌ی جریان متناوب در فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز انتقال یافته و توزیع می‌گردد.

یک سیستم قدرت از سه قسمت اصلی مراکز تولید، سیستم انتقال و شبکه‌ی توزیع انرژی الکتریکی تشکیل شده است؛ سیستم انتقال، شبکه‌ای است که توان ایجاد شده در مراکز تولیدی را به مراکز مصرف می‌رساند. شبکه‌ی توزیع، این انرژی انتقال یافته را دریافت کرده و در سطح ولتاژ مصرف کنندگان در بین آنها توزیع می‌کند. توان عبوری در یک خط انتقال، تابعی از امپدانس خط، اندازه‌ی ولتاژ پایانه‌های ارسالی و دریافتی و نیز زاویه‌ی بین این دو ولتاژ می‌باشد. سیستم‌های قدرت قدیمی که با توجه به مقدار توان مورد نیاز طراحی شده بودند، دارای ساختاری ساده بوده و میزان توان انتقالی نیز در خطوط آنها کم بود. همچنین سیستم‌های قدرت به منظور بازیابی^۱ از وضعیت‌های اضطراری نظیر قطع یا خروج ژنراتورها، خطوط انتقال و تجهیزات دیگر با حاشیه‌ی امنیت بالاتری طراحی می‌شدند. در نتیجه نیاز چندانی به استفاده‌ی بهینه از ظرفیت واقعی خطوط انتقال که

^۱ - Restoration

همان حد مجاز حرارتی آن‌ها می‌باشد احساس نمی‌شد و از این رو بهره‌وری کل سیستم قدرت، نسبتاً پایین بود. از سویی سیستم‌های قدرت قادر نبودند در برابر رفتار دینامیکی و گذرای سیستم، به سرعت عکس العمل نشان دهند.

اهمیت لزوم استفاده از جبران‌سازها

با گسترش سیستم‌های قدرت، نیاز به تولید و انتقال انرژی الکتریکی، بیشتر شد. در نتیجه علاوه بر پیشرفت‌هایی که در زمینه‌ی تولید برق انجام گرفت مانند استفاده از انرژی‌های نو، آب و انرژی هسته‌ای نیاز به گسترش شبکه‌های قدرت و بهره‌وری بهینه با بازدهی بالاتر از آن‌ها نیز ملموس گشت. از طرفی با طرح مسائل خصوصی‌سازی^۱ و قاعده‌زدایی^۲ در صنعت برق، بهره‌برداری بهینه و اقتصادی از سیستم قدرت اهمیت چشمگیری یافت. بدین ترتیب به مرور زمان، مفهوم انعطاف‌پذیری^۳ در سیستم‌های قدرت مطرح شد. در نتیجه استفاده از جبران‌کننده‌های توان راکتیو نظیر راکتورها، بانک‌های خازنی سری و موازی، ترانسفورماتورهای تغییردهنده‌ی فاز و نیز تنظیم‌کننده‌های ولتاژ (که همگی ابتدا مجهز به کلیدهای مکانیکی بودند) به‌منظور کاهش راکتانس خط، کاهش تغییرات ولتاژ، کنترل سیلان توان در حالت دائمی، بهبود وضعیت‌های دینامیکی سیگنال کوچک (نظیر تغییرات تدریجی بار و نیز بهبود کیفیت توان) رونق گرفت. در سال‌های اخیر مسائل خصوصی‌سازی همراه با افزایش شدید سطح تولید و انتقال توان نیاز به استفاده از جبران‌سازهایی با راندمان، کارایی و انعطاف‌پذیری بیشتر را ضروری کرده است.

^۱ - Liberalization

^۲ - Deregulation

^۳ - Flexibility

دلایل ضرورت استفاده از این جبران‌سازها به‌اختصار در زیر آمده است: دلیل اول اینکه در دهه‌های اخیر با افزایش شدید قیمت نفت و در نتیجه سایر سوخت‌های فسیلی که برای تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند، نیاز به بهره‌برداری اقتصادی و بهینه از سیستم‌های قدرت افزایش یافت. در این راستا برای انتقال و توزیع مقدار معینی از توان، حداقل رساندن راکتانس خط و توان راکتیو انتقالی توسط جبران‌سازها، باعث کاهش تلفات می‌شود و در نتیجه مقدار تولید و سوخت مورد نیاز نیز کاهش می‌یابد. دوم اینکه با توجه به مشکلات مربوط به حریم خطوط انتقال در موارد خاص، آلودگی محیط زیست و قوانین حق عبور از توسعه و احداث شبکه‌های انتقال جدید تا حد امکان جلوگیری می‌شود. در بیشتر مواقع سعی می‌شود تا با استفاده از جبران‌سازها، میزان توان انتقالی خطوط موجود را افزایش داد. سومین دلیل اینکه در بهره‌برداری از منابع برق آبی و دیگر منابع، که در مناطق دور دست احداث شده‌اند، با وجود توسعه تکنولوژی انتقال HVDC، در بسیاری از این طرح‌ها انتقال HVAC ترجیح داده می‌شود. در این حالت مسائل پایداری و کنترل ولتاژ، یکی از مهم‌ترین مسائلی است که مطرح می‌شود و برای دستیابی به آن‌ها به‌ناچار باید از جبران‌سازهایی با انعطاف و سرعت بسیار بالاتر استفاده کرد. این خصوصیت، خاص شبکه‌هایی با خطوط انتقال طویل است. دلیل چهارم مربوط به شبکه‌های غربالی است. در این شبکه‌ها مشکل اساسی کنترل سیلان توان اکتیو در مسیرهای مطلوب است. در این شبکه‌ها مشکلات پرباری یا کم باری خطوط به‌وفور به چشم می‌خورد. در اینجا نیز راه حل استفاده از جبران‌سازها یک راه منطقی است. یکی دیگر از دلایل استفاده از جبران‌سازی ضرورت کنترل سیلان توان در شبکه‌هایی با بازار برق آزاد است. دلیل آخر اینکه امروزه با توسعه‌ی روزافزون وسایل الکترونیکی حساس که به کیفیت توان و ولتاژ بسیار بالایی نیاز دارند و همچنین نیاز اکثر صنایع به تولید پیوسته، نیاز

به داشتن تغذیه‌ی ولتاژ با کیفیت بالا و بدون وقفه کاملاً بدیهی و ضروری به نظر می‌رسد.

راهکار ادوات FACTS

دلایل یاد شده موجب گردید تا مهندسان صنعت برق در طرح سیستم‌های قدرت موجود تجدید نظر کرده و طرح سیستم‌های انتقال انرژی AC انعطاف‌پذیر یا به اختصار FACTS^۱ را ارائه کنند. این طرح که شامل استفاده از ادوات الکترونیک قدرت در جهت افزایش ظرفیت انتقال و کنترل‌پذیری سیستم‌های قدرت است، در سال ۱۹۹۰ میلادی توسط کمیته‌ی EPRI^۲ به صورت یک گزارش تحقیقاتی مطرح گردید.

ایده‌ای که در طرح سیستم‌های انتقال انرژی AC انعطاف‌پذیر وجود داشت، کنترل سریع و تقریباً آنی پارامترهای سیستم قدرت، مطابق با وضعیت‌های ایجاد شده در سیستم بود. در چند دهه‌ی اخیر با پیشرفت‌هایی که در زمینه‌ی ادوات نیمه هادی الکترونیک قدرت در سطح ولتاژ بالا و نیز تکنولوژی‌های کنترلی صورت پذیرفت؛ کنترل شونده‌های الکترونیکی، جبران‌کننده‌های توان راکتیو سریع و کنترل‌کننده‌های سیلان توان توسعه یافتند و بر انعطاف‌پذیری سیستم‌های قدرت افزوده گردید.

در شبکه‌ی برق ایران نیز، با توجه به افزایش روزافزون مصرف توان و احداث کارخانجات مصرف‌کننده انرژی در سطح مصرف بالا که باعث توسعه شدید شبکه قدرت سراسری شده است، نیاز به تحقیق، مطالعه و استفاده از جبران‌سازهای پیشرفته همچون ادوات FACTS جهت افزایش ایمنی و بهبود بهره‌برداری از سیستم قدرت ایران کاملاً احساس می‌شود. در این نوشتار تلاش شده است که

^۱ - FACTS: Flexible AC Transmission Systems

^۲ - EPRI: Electric Power Research Institute

ضمن معرفی این ادوات، ساختار و مشخصه‌های آن‌ها بررسی شده و به بحث در مورد کاربردهای آن‌ها در جبران پارامترهای مختلف سیستم قدرت پرداخته شود. در جهت به انجام رساندن این هدف در فصل اول، اصول جبران‌سازی سیستم‌های قدرت و جبران‌سازهای کلاسیک بیان می‌شوند. در فصل دوم، ایده‌ی ادوات FACTS معرفی می‌شود و به تقسیم‌بندی کلی این ادوات می‌پردازد. همچنین در این فصل یک گروه از آن‌ها تحت عنوان ادوات FACTS کنترل شده با ترستور بررسی می‌شوند. در فصل سوم ساختار ادوات نوین FACTS یا ادوات FACTS بر پایه‌ی مدل منبع ولتاژ بیان و انواع مختلف آن معرفی و بررسی می‌شوند. در نهایت در فصول باقی مانده تا آخر کتاب، با توجه به تحقیقات ارائه شده در مجلات معتبر و پژوهش‌های انجام شده در سطح جهانی، کاربردهای مهم ادوات FACTS طبقه‌بندی شده و مباحث و موارد مهم مطرح می‌شوند.