

مفاهیم و کاربردهای سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر

(FACTS)

در انتقال و توزیع

مؤلفان:

دکتر محمود جوراییان

استاد دانشگاه شهید چمران اهواز (استاد نمونه کشوری سال ۱۳۹۱)

دکتر گئورگ قردیتیان

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (استاد نمونه کشوری سال ۱۳۸۷)

مهندس مهتاب خلیلی فر

دانشگاه شهید چمران اهواز

نیاز دانش

سرشناسه

جورابیان، محمود، ۱۳۴۰

عنوان و نام پدیدآور

مفاهیم و کاربردهای سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS)

در انتقال و توزیع

مشخصات نشر

تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۴

مشخصات ظاهری

۳۳۶ ص. مصور، جدول، نمودار.

شابک

978-600-7724-08-8

وضعیت فهرست‌نویسی

فیبای مختصر

یادداشت

فهرست‌نویسی کامل این اثر در نشانی: <http://opac.nlai.ir> قابل دسترسی است.

شناسه افزوده

قره‌بتیان، گئورگ، ۱۳۴۱

شناسه افزوده

خلیلی‌فر، مهتاب، ۱۳۶۶

شماره کتابشناسی ملی

۳۸۰۶۵۹۳



نام کتاب

مفاهیم و کاربردهای سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS) در انتقال و توزیع

مؤلفان

دکتر محمود جورابیان - استاد دانشگاه شهید چمران اهواز (استاد نمونه کشوری سال ۱۳۹۱)

دکتر گئورگ قره‌بتیان - استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (استاد نمونه کشوری سال ۱۳۸۷)

مهندس مهتاب خلیلی‌فر (دانشگاه شهید چمران اهواز)

مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ: حمیدرضا محمد شیرازی - محمد حسن

ناشر

نیاز دانش

صفحه‌آرا

واحد تولید انتشارات نیازدانش

لیتوگرافی / چاپ

گنجینه

توبیت چاپ

اول - ۱۳۹۴

شمارگان

۱۰۰ نسخه

قیمت

۲۰۰۰۰۰ ریال

ISBN:978-600-7724-08-8

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۷۲۴-۰۸-۸

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیه‌ی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه‌ی کتبی ناشر ممنوع است، متخلفان به موجب بند ۵ از ماده‌ی ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

تماس با انتشارات: ۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵-۰۶۶۴۷۸۱۰۶-۰۶۶۴۷۸۱۰۶

www.Niaze-Danesh.com

مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲-۲۱۰۶۷۰۹

پیشگفتار مؤلفان

بهره‌برداری مفید و بهینه از سیستم قدرت از عوامل پیشرفت صنعت برق در عرصه‌ی تولید و انتقال است. هدف اساسی در سیستم قدرت، تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف‌کنندگان است به‌طوری‌که 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 شبکه‌ی موجود، استفاده از جبران‌سازها جهت کنترل پارامترهای شبکه و تکنولوژی خطوط انتقال فشارقوی DC (HVDC) اشاره نمود. تغییرات در ساختار شبکه‌ی 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 جبران‌سازهای 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 نیمه‌هادی‌های توان بالا، تحولی عظیم در زمینه‌ی جبران‌سازهای سیستم قدرت به وجود آمده است که حاصل آن ایجاد تکنولوژی جدید جبران‌سازها

تحت عنوان "سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر" (FACTS)^۱ است. اگرچه مفهوم FACTS در ابتدا برای شبکه‌ی انتقال تعریف شد، اما این مفهوم در مدت زمانی کمتر از ۱۰ سال برای بهبود کیفیت توان در سیستم‌های توزیع، توسعه یافت.

این کتاب با هدف فراهم آوردن مرجعی جامع در زمینه مفاهیم و کاربردهای ادوات FACTS در شبکه‌های انتقال و توزیع و در تکمیل کتاب‌های قبلی نویسندگان تحت عنوان "سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS)" و "کنترل کننده‌های FACTS در انتقال و توزیع توان" [۱-۳] تدوین شده است. مخاطبین این کتاب طیف وسیعی از دست‌اندرکاران صنعت برق از جمله: دانشجویان تحصیلات تکمیلی برق (قدرت، الکترونیک و کنترل)، مهندسان شاغل در شرکت‌های برق و مراکز صنعتی و محققین فعال سیستم‌های انتقال و توزیع انرژی توان، می‌باشند.

در مقایسه کتاب حاضر با ویرایش دوم کتاب "سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS)" [۱]، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- اعمال نقطه‌نظرات و پیشنهادهای مدرسان عزیز و دانشجویان گرامی در قالب اصلاحات جزئی در فصل‌های ۱ تا ۷.
- انتقال فصل دهم مرجع به پیوست کتاب.
- بازنگری کلی فصل هشتم بنا بر اضافه نمودن مبحث مدلسازی ادوات FACTS در مطالعات قابلیت اطمینان.
- اضافه نمودن سه فصل جدید به عنوان:
 - معرفی نمودن ادوات FACTS ترکیبی و ویژه در فصل دهم.
 - مطرح نمودن کاربردهای ادوات FACTS در سیستم‌های توزیع در فصل یازدهم.
 - ارائه نکات تکمیلی در مدلسازی، طراحی و بهره‌برداری جبران‌ساز وار استاتیکی به‌عنوان یکی از پرکاربردترین ادوات FACTS در سیستم‌های قدرت و شبکه‌های صنعتی در فصل دوازدهم.

کتاب حاضر یقیناً خالی از اشکال نخواهد بود، لذا از کلیه صاحب‌نظران و متخصصان صنعت و دانشگاه انتظار می‌رود و موجب امتنان است که در این مقوله رهنمودهای سازنده خود را دریغ ننمایند.

محمود جورایان، گنورگ قره‌پتیان

و

مهتاب خلیلی‌فر

¹ Flexible AC Transmission System

فهرست مطالب

پیشگفتار مؤلفان.....	ج
مقدمه.....	۱

فصل اول

اصول جبران سازی و جبران سازهای متعارف

۱-۱ مقدمه.....	۷
۲-۱ محدودیت های انتقال توان در سیستم های قدرت.....	۸
۱-۲-۱ عبور توان در مسیرهای ناخواسته.....	۹
۲-۲-۱ عدم بهره برداری از ظرفیت واقعی خط انتقال.....	۱۱
۳-۱ راه های معمول افزایش ظرفیت توان انتقالی در سیستم های قدرت.....	۱۳
۱-۳-۱ احداث خطوط انتقال جدید.....	۱۴
۲-۳-۱ بهبود وضعیت بهره برداری از خطوط موجود.....	۱۴
۴-۱ کاربرد ادوات متعارف برای افزایش ظرفیت انتقال.....	۱۵
۱-۴-۱ خازن های سری کنترل شده با کلیدهای مکانیکی.....	۱۵
۲-۴-۱ بانک های خازنی - راکتوری موازی کنترل شونده با کلیدهای مکانیکی.....	۱۷
۳-۴-۱ جابجا کننده فاز کنترل شده با استفاده از کلیدهای مکانیکی.....	۱۹
۴-۴-۱ مشخصه های توان - زاویه خط انتقال در حالات مختلف.....	۲۰
۵-۱ خلاصه.....	۲۱
۶-۱ سوال و تحقیق.....	۲۲

فصل دوم

ادوات FACTS کنترل شده با تریستور

۱-۲ مقدمه.....	۲۵
۲-۲ تریستور.....	۲۷
۳-۲ ادوات FACTS کنترل شده با تریستور.....	۲۹
۱-۳-۲ جبران کننده ی وار ایستا (SVC).....	۳۰
۱-۳-۲-۱ راکتور کنترل شده با تریستور (TCR).....	۳۰

۳۷	۲-۱-۳-۲ خازن سوئیچ شونده با تریستور (TSC)
۳۹	۲-۳-۲ خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC)
۴۳	۳-۳-۲ جایجا کننده فاز کنترل شده با تریستور (TCPS)
۴۶	۴-۲ خلاصه
۴۷	۵-۲ سوال و تحقیق

فصل سوم

ادوات FACTS بر پایه مبدل منبع ولتاژ

۵۱	۱-۳ مقدمه
۵۴	۲-۳ مبدل منبع ولتاژ (VSC)
۵۴	۱-۲-۳ مبانی و اصول
۶۱	۳-۳ جبران ساز سنکرون استاتیکی (STATCOM)
۶۵	۱-۳-۳ روش های کاهش هارمونیک های ولتاژ
۶۵	۱-۱-۳-۳ اتصال سه فاز مبدل به شکل مثلث
۶۶	۲-۲-۳-۳ تغییر در مخرج فاز کلیدزنی
۶۷	۳-۱-۳-۳ مدولاسیون پهنای پالس (PWM)
۶۸	۴-۱-۳-۳ مدار زنجیره ای
۶۸	۵-۱-۳-۳ جایجایی فاز با استفاده از ترانسفورماتور
۶۹	۴-۳ جبران ساز سری سنکرون استاتیکی (SSSC)
۷۳	۵-۳ کنترل کننده ی یکپارچه توان (UPFC)
۷۹	۶-۳ کنترل کننده ی 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
۱۰۲	۳-۱-۴ روش نیوتن رافسن
۱۰۷	۴-۱-۴ روش مجزا شده و مجزه شده سریع
۱۱۳	۲-۴ پخش بار در شبکه هایی 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

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

فصل ششم

کاربرد ادوات FACTS به منظور افزایش پایداری دینامیکی سیستم‌های قدرت

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

فصل هفتم

کاربرد ادوات FACTS به منظور بهبود پایداری گذرا

۱۶۷	۱-۷ مقدمه
۱۶۸	۲-۷ مروری بر مفهوم سطوح معادل
۱۷۵	۳-۷ راهبردهای کلی برای بهبود پایداری گذرا

۱۷۶	۴-۷ بهبود پایداری گذرا توسط SVC
۱۷۹	۵-۷ بهبود پایداری گذرا توسط SSSC
۱۸۱	۶-۷ بهبود پایداری گذرا توسط SPS
۱۸۴	۷-۷ جمع بندی
۱۸۵	۸-۷ خلاصه
۱۸۶	۹-۷ سوال و تحقیق

فصل هشتم

نگاهی به تأثیر ادوات FACTS بر قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت

۱۸۷	۱-۸ مقدمه
۱۹۲	۲-۸ مدل قابلیت اطمینان ادوات FACTS
۱۹۲	۱-۲-۸ مدل قابلیت اطمینان SVC
۱۹۵	۲-۲-۸ مدل قابلیت اطمینان TCSC
۱۹۹	۳-۲-۸ مدل قابلیت اطمینان TCPAR
۲۰۰	۴-۲-۸ مدل قابلیت اطمینان SSSC
۲۰۳	۵-۲-۸ مدل قابلیت اطمینان UPFC
۲۱۲	۳-۸ نگاهی به یک تحقیق
۲۱۴	۱-۳-۸ نتایج تحقیق
۲۲۰	۲-۳-۸ مقایسه‌ی بین ادوات UPFC و TCSC
۲۲۳	۴-۸ خلاصه
۲۲۴	۵-۸ سوال و تحقیق

فصل نهم

کاربرد ادوات FACTS به منظور بهبود کیفیت توان

۲۲۵	۱-۹ مقدمه
۲۳۵	۲-۹ بهبود سیلان توان / کیفیت توان یک پارچه
۲۳۶	۳-۹ جبران‌سازی شنت
۲۴۱	۴-۹ جبران‌سازی سری
۲۴۳	۵-۹ جبران سری - موازی یک پارچه
۲۴۶	۶-۹ خلاصه
۲۴۷	۷-۹ سوال و تحقیق

فصل دهم

ادوات FACTS ترکیبی و ویژه

۲۴۹	۱-۱۰ مقدمه
۲۴۹	۲-۱۰ کنترل‌کننده‌ی یکپارچه تکامل یافته توان (GUPFC)
۲۴۹	۱-۲-۱۰ مقدمه
۲۵۱	۲-۲-۱۰ کنترل‌کننده GUPFC
۲۵۳	۳-۲-۱۰ نقش GUPFC در بهبود قابلیت انتقال توان در دسترس
۲۵۳	۴-۲-۱۰ نمونه‌ای از کاربردهای عملی GUPFC در شبکه الکتریکی چین
۲۵۸	۳-۱۰ کنترل‌کننده‌ی توان بین فازی (IPC)
۲۵۸	۱-۳-۱۰ مقدمه
۲۵۹	۲-۳-۱۰ مفهوم اولیه‌ی IPC
۲۶۲	۳-۳-۱۰ اصلاحات در IPC
۲۶۷	۴-۳-۱۰ کاربرد IPC به عنوان ترانسفورماتور محدودکننده‌ی جریان خطا
۲۶۹	۵-۳-۱۰ کاربردهای IPC
۲۷۱	۴-۱۰ کنترل‌کننده‌ی یکپارچه توان بین فازی (UIPC)
۲۷۱	۱-۴-۱۰ مقدمه
۲۷۳	۲-۴-۱۰ کنترل‌کننده UIPC
۲۷۷	۳-۴-۱۰ مدل‌سازی UIPC در مطالعات حالت ماندگار
۲۷۸	۴-۴-۱۰ بررسی مقایسه‌ای UIPC و UPFC
۲۷۹	۵-۱۰ خلاصه
۲۷۹	۶-۱۰ سوال و تحقیق

فصل یازدهم

کاربرد ادوات FACTS در سیستم‌های توزیع

۲۸۱	۱-۱۱ مقدمه
۲۸۲	۲-۱۱ جبران‌ساز سنکرون استاتیکی توزیع (DSTATCOM)
۲۸۲	۱-۲-۱۱ مقدمه
۲۸۳	۲-۲-۱۱ کاربرد DSTATCOM در جبران‌سازی توان راکتیو و تنظیم ولتاژ
۲۸۵	۳-۲-۱۱ مطالعه موردی DSTATCOM
۳۰۰	۳-۱۱ بازباندی دینامیکی ولتاژ (DVR)
۳۰۰	۱-۳-۱۱ مقدمه
۳۰۱	۲-۳-۱۱ بازبانی دینامیکی ولتاژ
۳۰۵	۳-۳-۱۱ کنترل و حفاظت
۳۰۷	۴-۳-۱۱ فیلترینگ اکتیو سری

۳۱۱	۵-۳-۱۱ مطالعه موردی DVR
۳۱۵	۴-۱۱ کنترل‌کننده‌ی یکپارچه کیفیت توان (UPQC)
۳۲۰	۱-۴-۱۱ مقدمه
۳۲۱	۲-۴-۱۱ عملکرد UPQC
۳۲۵	۳-۴-۱۱ مطالعه‌ی موردی UPQC
۳۳۰	۵-۱۱ خلاصه
۳۳۱	۶-۱۱ سوال و تحقیق

فصل دوازدهم

نکات تکمیلی در مدلسازی، طراحی و بهره‌برداری جبران‌ساز وار استاتیکی

۳۳۲	۱-۱۲ مقدمه
۳۳۳	۲-۱۲ تحلیل SVC
۳۳۹	۳-۱۲ کنترل‌کننده‌ی
۳۴۶	۱-۳-۱۲ ناپایداری در کنترل و مدیریت بهره
۳۴۸	۲-۳-۱۲ رگولاتور سرچشمه‌ای (SR)
۳۴۹	۳-۳-۱۲ کنترل‌کننده‌ی مدولاسیون تکمیلی
۳۵۰	۴-۱۲ حالات حفاظتی SVC
۳۵۵	۵-۱۲ هارمونیک‌ها و فیلترینگ
۳۵۶	۱-۵-۱۲ عکس‌العمل‌های هارمونیک
۳۵۷	۲-۵-۱۲ فیلترهای هارمونیک
۳۵۷	۶-۱۲ خلاصه
۳۵۸	۷-۱۲ سوال و تحقیق
۳۵۹	مراجع
۳۶۷	پیوست (الف): کنترل‌کننده‌ی یکپارچه‌ی توان در پست "اینتر"
۳۸۷	پیوست (ب): مروری بر کاربردهای عملی ادوات FACTS
۳۹۱	پیوست (ج): ترانسفورماتور شیف‌دهنده‌ی فاز (PST/PAR)
۴۱۰	پیوست (د): اینورترهای چند سطحی (با یک مثال نمونه کاربردی)
۴۴۲	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۴۴۷	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

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 تصور 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 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 عکس‌العمل نشان دهند.

اهمیت و 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^۲ و قاعده‌زدایی^۳ در صنعت برق، بهره‌برداری بهینه و اقتصادی از سیستم قدرت اهمیت چشمگیری یافت. بدین ترتیب به مرور زمان، مفهوم انعطاف‌پذیری^۴ در

^۱ Restoration
^۲ Liberalization
^۳ Deregulation
^۴ Flexibility

سیستم‌های قدرت مطرح شد. در نتیجه استفاده از جبران‌کننده‌های توان راکتیو نظیر راکتورها، بانک‌های خازنی سری و موازی، ترانسفورماتورهای تغیردهنده‌ی 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.

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 دوردست احداث شده‌اند، با وجود توسعه‌ی 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 پایداری با 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 به‌نظر 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 به‌اختصار FACTS^۱ را ارائه کنند. این طرح که شامل استفاده از ادوات الکترونیک قدرت در جهت افزایش ظرفیت انتقال و کنترل‌پذیری

^۱ FACTS: Flexible AC Transmission Systems

سیستم‌های قدرت است، در سال ۱۹۹۰ میلادی توسط کمیته‌ی EPRI^۱ 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 بهره برداری از سیستم قدرت ایران کاملاً احساس می‌شود. در این نوشتار تلاش شده است که 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 (نسل اول ادوات FACTS) بیان می‌شوند. در فصل دوم، ضرورت انعطاف‌پذیری توان در سیستم‌های قدرت مطرح شده و ادوات FACTS مبتنی بر ترستور (نسل دوم ادوات FACTS) معرفی و بررسی می‌شوند. در فصل سوم ساختار ادوات نوین FACTS یا ادوات FACTS بر پایه‌ی مبدل منبع ولتاژ (نسل سوم ادوات FACTS) بیان و انواع مختلف آن معرفی و بررسی می‌شوند. در فصل چهارم مدلسازی عناصر FACTS در محاسبات پخش بار مطرح شده و فصل پنجم کاربرد ادوات FACTS به منظور کنترل پخش بار و کاهش تلفات سیستم مورد بررسی قرار گرفته می‌شود. در فصل ششم ابتدا مفاهیم پایه پایداری دینامیکی سیستم قدرت مطرح می‌شود و در ادامه نقش ادوات FACTS به منظور افزایش پایداری دینامیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل هفتم، پس از مرور اجمالی بر مفهوم سطوح معادل، راهبردهای کلی برای بهبود پایداری گذرا معرفی می‌شود و در ادامه نقش ادوات FACTS به منظور افزایش پایداری گذرا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل هشتم، مدل قابلیت اطمینان برای پنج نمونه از ادوات FACTS شناخته شده نسل دوم و سوم ارائه می‌شود و تاثیر ادوات FACTS بر قابلیت اطمینان سیستم قدرت مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل نهم، کاربرد ادوات FACTS به منظور بهبود کیفیت توان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل دهم، یکی از ادوات FACTS ترکیبی تحت عنوان کنترل‌کننده‌ی یکپارچه تکامل یافته توان و دو تجهیز FACTS ویژه تحت عنوان کنترل‌کننده‌ی توان بین فازی و کنترل‌کننده‌ی یکپارچه توان بین فازی معرفی و بررسی می‌پردازد. در فصل یازدهم، کاربرد ادوات FACTS در سیستم‌های توزیع مورد بررسی قرار می‌گیرد. فصل دوازدهم به ارائه نکات تکمیلی در مدلسازی، طراحی و بهره‌برداری جبران‌ساز وار استاتیکی می‌پردازد.

^۱ EPRI: Electric Power Research Institute