

مفاهیم و کاربردهای سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر

(FACTS)

در انتقال و توزیع

مؤلفان:

دکتر محمود جوزاییان

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

دکتر گنورگ قره‌پتیان

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	: فیاپی مختصر
یادداشت	: فهرست‌نویسی کامل این اثر در نشانی: http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شناسه افزوده	: قره‌پتیان، 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 قره‌پتیان - 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 شمس
ناشر	: نیاز دانش
صفحه‌آرا	: واحد تولید انتشارات نیازدانش
نوبت چاپ	: ششم - ۱۴۰۰
شمارگان	: ۵۰ نسخه
قیمت	: ۱۱۰۰۰۰۰ 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. آدرس انتشارات: تهران - میدان انقلاب - خیابان ۱۲ فروردین - تقاطع وحید نظری - پلاک ۲۵۵ - طبقه ۱ - واحد ۲. کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

تماس با انتشارات: ۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵-۰۸-۶۶۴۷۸۱۰۶-۰۲۱-۶۶۴۷۸۱۰۶

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 نیمه هادی‌های 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 "کنترل‌کننده‌های FACTS در انتقال و توزیع توان" [۱-۲] 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)" [۲]، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- اعمال نقطه‌نظرات و پیشنهاد‌های مدرسان عزیز و دانشجویان گرامی در قالب اصلاحات جزئی در فصل‌های ۱ تا ۷ و ۹.
- انتقال فصل دهم مرجع به پیوست کتاب.
- بازنگری کلی فصل هشتم با اضافه نمودن مبحث مدلسازی ادوات FACTS در مطالعات قابلیت اطمینان.
- اضافه نمودن سه فصل جدید به قرار:
 - معرفی ادوات FACTS ترکیبی و ویژه در فصل دهم.
 - طرح 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 نمایند.

محمود جورایان، گنورگ قره‌پنجان

و

مهتاب خلیلی‌فر

^۱ Flexible AC Transmission System

فهرست مطالب

پیشگفتار مؤلفان.....	ج
مقدمه.....	۱

فصل اول

اصول جبران سازی و جبران سازهای متعارف

۱-۱ مقدمه.....	۵
۲-۱ محدودیت های انتقال توان در سیستم های قدرت.....	۵
۱-۲-۱ عبور توان در مسیرهای ناخواسته.....	۶
۲-۲-۱ عدم بهره برداری از ظرفیت واقعی خط انتقال.....	۷
۳-۱ راه حل های معمول افزایش ظرفیت توان انتقالی در سیستم های قدرت.....	۹
۱-۳-۱ احداث خطوط انتقال جدید.....	۹
۲-۳-۱ بهبود وضعیت بهره برداری از خطوط موجود.....	۹
۴-۱ کاربرد ادوات متعارف برای افزایش ظرفیت انتقال.....	۱۰
۱-۴-۱ خازن های سری کنترل شده با کلیدهای مکانیکی.....	۱۰
۲-۴-۱ بانک های خازنی - راکتوری موازی کنترل شونده با کلیدهای مکانیکی.....	۱۱
۳-۴-۱ جابه جا کننده ی فاز کنترل شده با استفاده از کلیدهای مکانیکی.....	۱۲
۴-۴-۱ مشخصه های توان - زاویه ی خط انتقال در حالات مختلف.....	۱۳
۵-۱ خلاصه.....	۱۳
۶-۱ سوال و تحقیق.....	۱۴

فصل دوم

ادوات FACTS کنترل شده با تریستور

۱-۲ مقدمه.....	۱۷
۲-۲ تریستور.....	۱۸
۳-۲ ادوات FACTS کنترل شده با تریستور.....	۱۹
۱-۳-۲ جبران کننده ی وار ایستا (SVC).....	۲۰
۱-۱-۳-۲ راکتور کنترل شده با تریستور (TCR).....	۲۰
۲-۱-۳-۲ خازن سوئیچ شونده با تریستور TSC.....	۲۵

۲۷	۲-۳-۲ خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC)
۲۹	۳-۳-۲ جابه‌جا کننده فاز کنترل شده با تریستور (TCPS)
۳۱	۴-۲ خلاصه
۳۲	۵-۲ سوال و تحقیق

فصل سوم

ادوات FACTS بر پایه مبدل منبع ولتاژ

۳۵	۱-۳ مقدمه
۳۷	۲-۳ مبدل منبع ولتاژ VSC
۳۷	۱-۲-۳ مبانی و اصول
۴۲	۳-۳ جبران‌ساز سنکرون استاتیکی (STATCOM)
۴۵	۱-۳-۳ روش‌های کاهش هارمونیک‌های ولتاژ
۴۵	۱-۱-۳-۳ اتصال سه‌فاز مبدل به شکل مثلث
۴۵	۲-۲-۳-۳ تغییر در تاخیر فاز کلیدزنی
۴۶	۳-۱-۳-۳ مدولاسیون پهنای پالس (PWM)
۴۷	۴-۱-۳-۳ مدار زنجیره‌ای
۴۸	۵-۱-۳-۳ جابجایی فاز با استفاده از ترانسفورماتور
۴۸	۴-۳ جبران‌ساز سری سنکرون استاتیکی (SSSC)
۵۱	۵-۳ کنترل‌کننده یکپارچه توان (UPFC)
۵۵	۶-۳ کنترل‌کننده مدیریت انتقال توان (IPFC)
۵۸	۷-۳ خلاصه
۵۹	۸-۳ سوال و تحقیق

فصل چهارم

مدل سازی عناصر FACTS در محاسبات پخش بار

۶۵	۱-۴ پخش بار AC
۶۵	۱-۱-۴ مقدمه
۶۶	۲-۱-۴ روابط اصلی
۶۹	۳-۱-۴ روش نیوتن رافسن
۷۳	۴-۱-۴ روش مجزا شده و مجزا شده سریع
۷۷	۲-۴ پخش بار در شبکه‌هایی که تجهیزات FACTS دارند
۷۷	۱-۲-۴ روابط اساسی
۸۰	۲-۲-۴ روش پخش بار همزمان
۸۳	۳-۲-۴ روش پخش بار ترتیبی