

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
در سبیلی

۲۲۲۰۶۳۲

۱۴۰۰ / ۹ / ۲

مدیریت توان راکتیو در سیستم‌های قدرت

تألیف:

دکتر مهرداد عابدی

استاد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دکتر مهدی ذوالفقاری

استاد پژوهشگر همکار مرکز بهره‌برداری ایمنی شبکه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

پاییز ۱۴۰۰

سرشناسه	مهرداد، مهرباد. ۱۳۲۷-
عنوان و نام پدیدآور	مدیریت توان راکتیو در سیستم‌های قدرت / تألیف مهرداد عابدی، مهدی ذوالفقاری.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	۵۶۸ ص: مصور، چمدول.
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۸۴۱-۱
وضعیت فهرست نویسی	فیبیا
یادداشت	واژه نامه.
یادداشت	کتابنامه: ص. ۵۲۶-۵۲۱.
یادداشت	نمایه.
موضوع	توان راکتیو.
موضوع	Reactive power (Electrical engineering):
موضوع	برق - سیستم‌ها - پایداری.
موضوع	Electric power system stability:
موضوع	برق - سیستم‌ها - کنترل.
موضوع	Electric power systems - Control:
موضوع	برق - تولید.
موضوع	Electric power production:
موضوع	برق نیرو - توزیع.
موضوع	Electric power distribution:
شناسه افزوده	ذوالفقاری، مهدی، ۱۳۶۶-
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر.
شناسه افزوده	Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). Publishing Center.
رده‌بندی کنگره	TK ۲۱۲۴:
رده‌بندی دیویی	۶۲۱/۳۱۹:
شماره کتابشناسی ملی	۸۴۱۹۳۲۲:



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

این کتاب در جلسه مورخ ۱۴۰۰/۰۲/۱۲ شورای چاپ و نشر
دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.

عنوان کتاب	مدیریت توان راکتیو در سیستم‌های قدرت
تألیف	مهرداد عابدی، مهدی ذوالفقاری
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	پاییز ۱۴۰۰
قیمت	۱۵۰۰۰۰ تومان
تیراژ	۱۰۰
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۸۴۱-۱

ISBN : 978-964-463-841-1

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر
دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۸۸
وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>
حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

فصل اول: توان راکتیو: اصطلاحات، تعاریف و وسایل اندازه‌گیری ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۲-۱ اندوکتانس: اندوکتانس‌های سری و موازی ۳

۱-۲-۱ اندوکتانس‌های سری و موازی ۵

۲-۲-۱ راکتانس ناشی از شار سرگردان ۵

۳-۱ تعریف اصطلاحات مورد استفاده در کنترل توان راکتیو ۶

۴-۱ انواع مختلف سیستم‌های قدرت ۸

۱-۴-۱ سیستم‌های سینوسی متعادل تک‌فاز یا سه‌فاز ۸

۲-۴-۱ سیستم‌های غیر سینوسی متعادل تک‌فاز یا سه‌فاز ۸

۳-۴-۱ سیستم‌های سه‌فاز نامتعادل ۹

۴-۴-۱ سیستم‌های مدارات ترسیطوری ۱۰

۵-۱ اهمیت پارامترهای مختلف ۱۰

۱-۵-۱ توانی‌های مثبت، منفی و صفر ۱۰

۲-۵-۱ توان ظاهری - VA ۱۱

۳-۵-۱ توان اکتیو ۱۲

۴-۵-۱ توان راکتیو ۱۲

۵-۵-۱ ضریب توان ۱۴

۶-۱ وسایل اندازه‌گیری در سیستم‌های قدرت ۱۵

۳) وسایل اندازه‌گیری $kVAr Hr$ ۱۷

مراجع ۱۸

فصل دوم: کیفیت منبع توان الکتریکی: مسائل کیفیت توان ۲۳

۲۳	۱-۲ مقدمه
۲۴	۲-۲ نقش خازن‌ها در کنترل کیفیت توان
۲۴	۱-۲-۲ سیستم قدیمی
۲۵	۲-۲-۲ سیستم جدید
۳۲	۳-۲ اغتشاشات
۳۲	۱-۳-۲ ضربه‌ها
۳۲	۲-۳-۲ گذراهای حاصل از کلیدزنی
۳۳	۳-۳-۲ تغییرات کوتاه مدت
۳۳	۱-۳-۳-۲ کاهش ولتاژ کوتاه مدت
۳۴	۲-۳-۳-۲ افزایش ولتاژ کوتاه مدت
۳۴	۴-۲ تغییرات حالت ماندگار
۳۴	۱-۴-۲ اضافه ولتاژها
۳۶	۲-۴-۲ کمبود ولتاژها
۳۷	۵-۲ حدود از پیش تعریف شده برای تنظیم ولتاژ
۴۰	۶-۲ فرکانس سیستم
۴۱	۱-۶-۲ اثرات کاهش فرکانس بر مصرف‌کنندگان
۴۱	۲-۶-۲ اثرات افزایش فرکانس بر مصرف‌کنندگان
۴۱	۳-۶-۲ اثرات کاهش فرکانس بر شبکه
۴۲	۴-۶-۲ اثرات افزایش فرکانس بر شبکه
۴۳	۷-۲ تولید هارمونیک‌ها و اثرات مخرب آن‌ها
۴۳	۱-۷-۲ منابع تولید هارمونیک
۴۴	۲-۷-۲ اثرات مخرب هارمونیک‌ها
۴۶	۱-۲-۷-۲ تداخل در فرکانس‌های رادیویی

۴۷	۲-۲-۷-۲ تداخل الکترومغناطیسی (EMI).....
۴۸	۱-۲-۲-۷-۲ فاکتور تداخل تلفن (TIF).....
۵۰	۳-۲-۷-۲ فیلکرها.....
۵۲	۸-۲ سیستم خنثی زمین برای اهداف حفاظتی (امنیت) و کیفیت توان.....
۵۲	۱-۸-۲ سیستم زمین یکپارچه.....
۵۳	۲-۸-۲ سیستم خنثی محدود شده.....
۵۳	۳-۸-۲ سیستم زمین با هادی خنثی زمین نشده (شناور).....
۵۴	۴-۸-۲ سیستم خنثی زمین تشدیدي.....
۵۴	مراجع.....
۶۱	فصل سوم: کیفیت منبع تغذیه: شاخص‌ها و هزینه‌ی کیفیت توان.....
۶۱	۱-۳ مقدمه.....
۶۳	۳-۲ قابلیت اطمینان.....
۶۴	۳-۳ وقفه‌ها و خاموشی‌ها.....
۶۴	۱-۳-۳ وقفه‌ها.....
۶۴	۱-۳-۳ وقفه‌های لحظه‌ای.....
۶۵	۱-۳-۳ وقفه‌های موقتی.....
۶۵	۲-۳-۳ خاموشی.....
۶۵	۱-۲-۳-۳ مدت زمان خاموشی.....
۶۶	۲-۳-۳ عوامل خاموشی.....
۶۶	۳-۲-۳ عوامل ایجاد خطاها و خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده در سیستم‌های قدرت.....
۶۷	۴-۲-۳-۳ تمهیدات فوری.....
۶۷	۵-۲-۳-۳ هزینه‌ی خاموشی.....

۶۷.....۳-۲-۳-۶مبنای محاسبه‌ی هزینه‌ی خاموشی‌ها.....

۶۸.....۳-۲-۳-۷روش‌های محاسبه‌ی تلفات ناشی از خاموشی‌ها.....

۶۹.....۳-۴-۴شاخص‌های قابلیت اطمینان.....

۷۰.....۳-۵-۴شاخص ارزش قابلیت اطمینان.....

۳-۶-۶هارمونیک‌ها: مروری بر هارمونیک‌ها، شاخص‌های هارمونیک‌ی و روش‌های کاهش

هارمونیک‌ها و هزینه‌ی آنها.....۷۲.....

۳-۶-۱۰مروری بر هارمونیک‌ها.....۷۲.....

۳-۶-۲شاخص‌های اعوجاج هارمونیک‌ی.....۷۵.....

۳-۶-۳مسئولین کاهش مشکلات هارمونیک‌ی.....۷۵.....

۳-۶-۱سمت شبکه.....۷۵.....

۳-۶-۲سمت مصرف‌کننده.....۷۷.....

۳-۶-۴هزینه‌ی هارمونیک‌ها.....۷۷.....

۳-۶-۱۰هزینه‌ی تلفات در ظرفیت.....۷۸.....

مراجع.....۸۰.....

فصل چهارم: هزینه‌ی توان راکتیو تحت سناریوهای متغیر برای تعریف تعرفه.....۸۳

۴-۱مقدمه.....۸۳.....

۴-۲روش قدیمی تعیین هزینه توان راکتیو.....۸۶.....

۴-۲-۱سناریوی متغیر.....۸۷.....

۴-۳مسئولیت تأمین توان راکتیو.....۸۷.....

۴-۴الزامات مربوط به توزیع توان راکتیو (RPD).....۸۸.....

۴-۵اهداف هزینه‌گذاری توان راکتیو.....۹۰.....

۴-۶منابع تأمین توان راکتیو.....۹۰.....

۴-۷هزینه‌ی توان راکتیو.....۹۱.....

پیشگفتار

در گذشته، سیستم‌های قدرت کوچکتر و محلی‌تر بودند؛ بارها غالباً از نوع روشنایی یا گرمایشی بوده و تامین آن‌ها توسط منابع محدود محلی به سادگی صورت می‌گرفت. در طی ۵۰ سال اخیر، با رشد تکنولوژی و افزایش سطح رفاه جامعه، مقدار تقاضا و نوع بارها نیز تغییر یافته‌اند. سیستم‌های قدرت به هم‌پیوسته و درهم‌تنیده شده‌اند و تجهیزات نوظهور زیادی در ساختار آن‌ها رخنه کرده است. از طرفی، در طی چند دهه‌ی اخیر نیز پیشرفت‌های زیادی در حوزه‌ی الکترونیک قدرت صورت گرفته است. این پیشرفت‌ها منجر به استفاده‌ی هر چه بیشتر از مبدل‌های الکترونیک قدرت در کاربردهای مختلف، نظیر کنترل سرعت موتورهای الکتریکی، اتصال منابع توان DC به سیستم‌های AC و... شده است. اتصال بیشتر بارهای موتوری (و یا به طور کلی بارهایی که برای عملکردشان نیازمند میدان مغناطیسی می‌باشند) به معنی افزایش تقاضای توان راکتیو در سیستم قدرت است. مجموعه عوامل فوق و ده‌ها عامل دیگر، منجر به پیچیدگی سیستم قدرت امروزی شده‌اند که ساختار آن و همچنین قابلیت‌های مورد انتظار از آن به طرز شگرفی متفاوت‌تر از سیستم‌های قدرت ساده‌ی اولیه می‌باشد. اکنون با اتصال بارهای حساس رایانه‌ای، سیستم‌های فناوری اطلاعات، ماشین‌های خاص و... در سیستم قدرت کنونی انتظار می‌رود انرژی الکتریکی را با استانداردهای کمی و کیفی بالایی در اختیار این نوع بارها قرار دهد. از طرف دیگر، خود این بارها، بدلیل ایجاد اعوجاج در شکل موج‌های ولتاژ و جریان و نیز تقاضای توان راکتیو، موجب تخریب کیفیت توان سیستم قدرت می‌شوند. این رفتار متناقض موجب شده است که تامین انرژی الکتریکی با کیفیت برای این بارها، حتی برای مهندسان و محققان باتجربه‌ی سیستم‌های قدرت، امری چالش‌برانگیز باشد. در این راستا، در مقالات و کتب مختلف، تلاش‌های زیادی توسط محققان برای حل این چالش‌ها صورت گرفته است. مدیریت توان راکتیو و جبران‌سازی آن، مستقیماً با حفظ کیفیت ولتاژ بارهای سیستم قدرت در ارتباط است. بهبود تنظیم ولتاژ سیستم، اصلاح ضریب توان، یا به عبارت دیگر کاهش اختلاف‌فاز ولتاژ و جریان بارهای سیستم و متعادل‌سازی بار از جمله اهداف مدیریت توان راکتیو در سیستم‌های قدرت پیچیده‌ی امروزی می‌باشند. کتاب حاضر نیز این اهداف را دنبال می‌نماید. هدف این کتاب، ارائه‌ی روش‌های ریاضی کنترل توان راکتیو نیست، بلکه به ارائه‌ی مشکلات اساسی کیفیت توان و روش‌های مدیریت توان راکتیو در سیستم‌های قدرت می‌پردازد. از طرف دیگر، امروزه منابع تولید پراکنده نظیر سیستم‌های فتوولتائیک و توربین‌های بادی، به طور گسترده‌ای در سیستم‌های قدرت در قالب ریزشبکه‌ها مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. رفتار تصادفی این منابع و به‌خصوص نیازمندی نیروگاه‌های بادی

به توان راکتیو نیز یکی دیگر از ویژگی‌های سیستم‌های قدرت مدرن است که در این کتاب مورد توجه قرار گرفته‌اند. این کتاب می‌تواند مرجع مناسبی برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی و مهندسان شاغل در صنعت، از جمله شرکت‌های توزیع و انتقال برق باشد. در خاتمه از خوانندگان محترم تقاضا می‌شود انتقادات و پیشنهادات خود را در جهت غنای مطالب کتاب از طریق رایانامه به اطلاع مولفان برسانند.

دکتر مهرداد عابدی (abedi@aut.ac.ir)

دکتر مهدی ذوالفقاری (mahdizolfaghari@aut.ac.ir)

دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

www.ketab.ir