

کنترل توان راکتیو در سیستمهای الکتریکی

ویراست دوم

(به همراه تجدیدنظر و ضمائم)

تألیف:

تی. جی. ای. میلر

ترجمه:

دکتر رضا قاضی

(استاد دانشگاه فردوسی مشهد)

نیاز دانش

| | |
|---------------------|--|
| سرشناسه | : میلر، تیموتی جان ایستام، ۱۹۴۷-م. Miller, T. J. E. (Timothy John Eastham) |
| عنوان و نام پدیدآور | : کنترل توان راکتیو در سیستمهای الکتریکی/تالیف تی.جی.ای. میلر؛ ترجمه رضا قاضی. |
| وضعیت ویراست | : ویراست ۲. |
| مشخصات نشر | : تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۶. |
| مشخصات ظاهری | : ۴۴۰ص. |
| شابک | : 978-600-8906-08-7 |
| وضعیت فهرست نویسی | : فیپا |
| یادداشت | : عنوان اصلی: Reactive power control in electric systems, C1982. |
| یادداشت | : کتابنامه |
| موضوع | : توان راکتیو (Electrical engineering) Reactive power |
| شناسه افزوده | : قاضی، رضا، ۱۳۳۱ - مترجم |
| رده بندی کنگره | : ۱۳۹۶ ک۹/م۹/TK۳۲۲۶ |
| رده بندی دیویی | : ۶۲۱/۳۱۹ |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۵۰۴۴۳۴۴ |



| | |
|---------------------------|---|
| نام کتاب | : کنترل توان راکتیو در سیستمهای الکتریکی |
| مؤلف | : ویراست دوم (به همراه تجدیدنظر و ضمائم) |
| مؤلف | : تی.جی.ای. میلر |
| ترجمه | : دکتر رضا قاضی (استاد دانشگاه فردوسی مشهد) |
| مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ | : حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس |
| ناشر | : نیاز دانش |
| صفحه آرا | : واحد تولید انتشارات نیاز دانش |
| نوبت چاپ | : اول - ۱۳۹۶ |
| شمارگان | : ۳۰۰ نسخه |
| قیمت | : ۳۸۰۰۰۰ ریال |

ISBN:978-600-8906-08-7

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۹۰۶-۰۸-۷

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

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

آدرس انتشارات: تهران، میدان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، تقاطع وحید نظری، پلاک ۲۵۵، طبقه ۱، واحد ۲

۰۲۱-۶۶۴۷۸۱۰۶-۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵

www.Niaze-Danesh.com

مشاوره جهت نشر: ۲۱۰۶۷۰۹ - ۰۹۱۲

پیشگفتار

کنترل توان راکتیو بعنوان یک عامل حائز اهمیت در طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت الکتریکی جریان متناوب از دیرباز مورد توجه بوده است. در یک بیان بسیار ساده و کلی می‌توان گفت از آنجائی که امپدانس‌های اجزاء سیستم قدرت به‌طور غالب راکتیو می‌باشند، انتقال توان اکتیو مستلزم وجود اختلاف زاویه فاز بین ولتاژهای ابتدا و انتهای خط است (که در یک محدوده نسبتاً وسیع عملی است)، در حالی که برای انتقال توان راکتیو لازم است که اندازه این ولتاژها متفاوت باشد (که فقط در یک محدوده خیلی کوچک عملی است).

اما به چه دلیل می‌خواهیم توان راکتیو را انتقال دهیم؟ آیا این یک مفهوم پردردسر نیست که توسط نظریه پردازان به‌وجود آمده است و باید به آن بی‌اعتنا بود؟ جواب این است که نه تنها اغلب اجزاء سیستم توان راکتیو مصرف می‌کنند بلکه اکثر بارهای الکتریکی نیز توان راکتیو مصرف می‌نمایند، بنابراین توان راکتیو مصرفی بایستی از محلی تأمین گردد. اگر قادر نباشیم آن را به سهولت انتقال دهیم آن‌گاه بایستی در محلی که مورد نیاز است آن را تولید نمائیم.

البته همین مطلب در مورد توان اکتیو نیز صادق است، لیکن قیود و محدودیت مربوط به انتقال آن خیلی ضعیف‌تر و مربوط به جایی (و اندازه) آن شدیدتر است.

درک این موضوع حائز اهمیت است که وقتی راجع به انتقال انرژی الکتریکی صحبت می‌کنیم بایستی راجع به فواصل الکتریکی صحبت کنیم. به‌عنوان مثال، راکتانس ترانسفورماتور می‌تواند به بزرگی راکتانس ۵۰ مایل خط انتقال باشد بنابراین، وقتی فاصله انتقال متوسط در آمریکا را فقط حدود ۱۰۰ مایل در نظر می‌گیریم، واضح است که حقیقتاً ما کاملاً از انتقال اجتناب نمی‌کنیم مگر این‌که تولید توان راکتیو درست در سطح ولتاژی انجام گیرد که مصرف می‌شود. این موضوع نسبتاً این حقیقت را توضیح می‌دهد که می‌توانیم در یک شبکه، جبران موازی را به‌صورت خازن‌های موازی در سیستم توزیع در بین راکتورهای موازی در سیستم انتقال، مشاهده نمائیم.

یک رابطه بنیادی و مهمی بین انتقال توان راکتیو و اکتیو وجود دارد. همان‌طوری که گفتیم انتقال توان اکتیو مستلزم جابه‌جایی فاز ولتاژها می‌باشد. لیکن مقدار ولتاژها نیز به همین میزان حائز اهمیت است. مقدار آن‌ها نه تنها بایستی به قدر کافی بالا باشد که بتواند بارها را حمایت نماید، بلکه لازم است به قدر کافی پایین باشد که منجر به شکست عایق تجهیزات نگردد. بنابراین، بایستی در صورت لزوم ولتاژها را در نقاط کلیدی کنترل کرده و یا حمایت یا محدودیتی را بر آن‌ها اعمال کنیم. این عمل

کنترل می‌تواند در سطح وسیعی به وسیله تولید یا مصرف توان راکتیو در نقاط کلیدی صورت گیرد. گرچه این جنبه از توان راکتیو از دیرباز مورد توجه بوده است لیکن امروزه حداقل به دو دلیل زیر اهمیت زیادی پیدا کرده است: دلیل اول مربوط به فشار روزافزون در جهت بهره‌برداری حداکثر ممکن از سیستم‌های انتقال است و دلیل دوم این‌که انواع جدیدی از جبران‌کننده‌های راکتیو استاتیکی قابل کنترل توسعه یافته است. در سنوات خیلی دور در روند رشد شبکه‌های قدرت الکتریکی برای حمایت ولتاژ و بهبود توانایی انتقال توان از کندانسورهای سنکرون استفاده گردید. هم‌زمان در سیستم توزیع از خازن‌های موازی برای بهبود پروفایل ولتاژ و کاهش بارگیری خط و تلفات (با اصلاح ضریب توان) استفاده شد. توسعه سریع و اقتصادی بودن خازن‌های موازی منجر به جایگزینی آن‌ها با کندانسورهای سنکرون در سیستم‌های انتقال گردید. ملاحظه گردید که عملاً می‌توان آن‌چه را که کندانسورهای سنکرون انجام می‌دادند از سوئیچ کردن خازن‌های موازی با هزینه‌ای خیلی کمتر به دست آورد. هم‌اکنون نشانه‌هایی است که مجدداً شیوه رجعت یافته و تأمین توان راکتیو قابل کنترل در قالب وسایل استاتیکی مطرح شده است. البته از نقطه نظر اقتصادی، هنوز بایستی یک مهندس سیستم تعیین کند که چقدر از خازن ثابت (یا اندوکتانس ثابت) استفاده گردد و چه مقدار سوئیچ گردد و در نهایت چه مقدار به‌طور پیوسته و سریع کنترل گردد (مثلاً در خلال اغتشاش). البته هنوز این سؤال باقی می‌ماند که چه مقدار توان راکتیو توسط ژنراتورهای سنکرون تأمین گردد.

تاکنون راجع به توان راکتیوی که از شبکه و یا به شبکه تأمین می‌گردد را مورد بحث قرار دادیم. البته در ابتدای این پیشگفتار خاطر نشان کردیم که بخشی از توان راکتیو در عناصر سری شبکه - مثلاً در راکتانس خطوط و ترانسفورماتور - مصرف می‌شود. از این رو، یکی از روش‌های مستقیم افزایش توان انتقالی در سیستم انتقال و کاهش افت ولتاژ در سیستم توزیع، جبران بخشی از راکتانس اندوکتیو سری به وسیله خازن‌های سری است. البته عموماً این مسأله را از دیدگاه کاهش راکتانس (به جای توان راکتیو) مورد عنایت قرار می‌دهند. در کاربرد خازن‌های سری مواجه با مسائل بهره‌برداری هستیم و در سیستم‌های توزیع به ندرت کاربرد دارد، لیکن بهترین شیوه افزایش ظرفیت توان انتقالی در موارد متعدد است. هم‌چنین از آن‌ها در متعادل کردن بارگیری خطوط شبکه استفاده می‌شود. بنابراین در یک شبکه حلقوی بایستی کاربرد خازن‌های سری هماهنگ گردد طوری که یک توزیع مناسب بارگیری خطوط به دست آید. در حالی که کاربرد یک خازن موازی (یا هر وسیله حمایت ولتاژ) می‌تواند منجر به مزایایی در یک نقطه معین گردد.

کتاب حاضر مباحث تئوری و عملی مربوط به کنترل توان راکتیو و جبران‌سازی را در بر می‌گیرد و علاوه بر این یک فصل به هارمونیک اختصاص یافته است. بدون شک موضوع کنترل توان راکتیو اهمیت روزافزون می‌یابد و بنابراین این کتاب به خصوص در این زمان مناسب است. نویسندگان این کتاب همگی سال‌ها در زمینه سیستم‌های قدرت و تکنولوژی مربوط به توان راکتیو تجربه کسب کرده‌اند.

مقدمه مؤلف

تقریباً سی درصد منابع انرژی اولیه در جهان برای تولید انرژی الکتریکی به مصرف می‌رسد و تقریباً تمامی این انرژی الکتریکی به وسیله جریان متناوب در فرکانس ۵۰ یا ۶۰ Hz انتقال یافته و توزیع می‌گردد. در حال حاضر بیش از هر زمانی طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های قدرت با حداکثر بازده و بیشترین میزان قابلیت اطمینان و امنیت حائز اهمیت است. این نیازمندی‌ها انگیزه یک سلسله پیشرفت در تکنولوژی انتقال توان ac گردیده است و هدف این کتاب توصیف پاره‌ای از این پیشرفت‌ها از نظر تئوری و عملی می‌باشد.

به دلیل اهمیت کنترل توان راکتیو و به دلیل گستردگی موضوع و هم‌چنین روش بررسی، این کتاب می‌تواند برای بخش وسیعی از مهندسين برق، الکترونیک و کنترل جالب باشد. مهندسين شاغل در مؤسسات برق و مراکز صنعتی، تئوری و توصیف تجهیزات کنترل توان راکتیو را در حل مسائل مربوط به اصلاح ضریب توان، کنترل و تثبیت ولتاژ، متعادل کردن فاز و رفتار هارمونیک، بسیار باارزش یافته‌اند.

در دانشگاه‌ها نیز این کتاب می‌تواند مبنایی ایده‌آل برای دانشجویان لیسانس و فوق لیسانس در دوره آموزشی آن‌ها باشد و بخش‌های متعددی از آن قبلاً به همین منظور در دانشگاه Wisconsin و در دوره آموزشی سیستم‌های قدرت General Electric استفاده گردیده است.

کنترل توان راکتیو که موضوع این کتاب است، به دلایل متعددی که تعدادی از آن‌ها به اختصار در این جا ذکر می‌شود، اهمیت روزافزون یافته است. دلیل اول این‌که با توجه به قیمت سوخت، نیاز به بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های قدرت افزایش یافته است. برای توزیع یک مقدار معین توان، با به حداقل رساندن پخش توان راکتیو کل، تلفات کاهش می‌یابد. این اصل می‌تواند در شکل ساده یک خازن اصلاح‌کننده ضریب توان یک بار اندوکتیو و یا در قالب الگوریتم‌های پیشرفته تشریح شده در فصل ۱۱ که در یک شبکه بزرگ به کار می‌روند و توسط کامپیوتر کنترل می‌شوند، در سراسر سیستم اعمال می‌گردد. دلیل دوم این‌که به واسطه میزان بالای نرخ سود عموماً و مشکلات مربوط به حریم خطوط انتقال در مواردی خاص، از توسعه و احداث شبکه‌های انتقال حتی الامکان جلوگیری می‌شود. در موارد متعددی سعی شده است که با استفاده از وسایل کنترل توان راکتیو و بهبود پایداری، میزان توان انتقالی خطوط موجود را افزایش داد. دلیل سوم این‌که، در بهره‌برداری از منابع آبی، نیروگاه‌های دوردست - نظیر آن‌هایی که در اطراف Hudson Bay و در مناطق کوهستانی آفریقا و آمریکای جنوبی

است- توسعه یافته است. علی‌رغم توسعه تکنولوژی انتقال dc، در بسیاری از این طرح‌ها انتقال ac ترجیح داده شده است. مسائل پایداری و کنترل ولتاژ به مسائل کنترل توان رکتیو ارتباط داشته و راه‌حل‌های زیادی ارائه گردیده است که از کاربرد راکتورها و خازن‌های موازی شروع و تا خازن‌های سری، کندانسورهای سنکرون و جبران‌کننده‌های استاتیکی جدید ادامه می‌یابد. دلیل چهارم این‌که، به‌واسطه مصرف روزافزون وسایل الکتریکی (به‌خصوص کامپیوتر و تلویزیون رنگی) و هم‌چنین رشد صنایع با فرآیند پیوسته، نیاز به داشتن تغذیه با کیفیت بالا افزایش یافته است.

کاهش ولتاژ یا فرکانس اثرات نامطلوبی را برای روی چنین بارهایی اعمال می‌کند و قطع تغذیه می‌تواند خیلی صدمه‌آور و پرهزینه باشد. کنترل توان رکتیو یک ابزار اساسی در حفظ کیفیت برق^۱ می‌باشد، به‌خصوص برای جلوگیری از اغتشاشات ولتاژ که از عمومی‌ترین نوع اغتشاش می‌باشد. انواع معین از بارهای صنعتی، از آن جمله کوره‌های الکتریکی، دستگاه‌های حفاری و دستگاه‌های جوشکاری با دریافت توان اکتیو و رکتیو از سیستم تغذیه تغییرات سریع و وسیعی را بر آن تحمیل می‌نمایند و اغلب لازم است که با به‌کار گرفتن وسایل تثبیت‌کننده ولتاژ نظیر جبران‌کننده‌های توان رکتیو استاتیکی این تغییرات را کاهش داد. دلیل پنجم این‌که، با توسعه و احداث خطوط انتقال dc کنترل توان رکتیو در طرف ac مبدل‌ها ضرورت پیدا کرد تا بدین‌وسیله ولتاژ تثبیت گردیده و به عمل کموتاسیون مبدل مساعدت گردد.

تمامی این جنبه‌های مهندسی از نقطه نظر تئوری و عملی به بحث کشیده می‌شود. در فصول ۱ الی ۳ راجع به تئوری انتقال ac بحث و بررسی می‌شود. بحث از یک خازن اصلاح‌کننده ضریب توان شروع و به سمت اصولی که بر اساس آن جبران‌کننده‌های استاتیک با پاسخ سریع طراحی می‌شود، پیش می‌رود. در فصل ۲ اصول انتقال توان در ولتاژهای بالا و فواصل طولانی مورد بررسی قرار گرفته و در فصل ۳ جنبه‌های مهم دینامیک سیستم و نقش کنترل توان رکتیو در بهبود رفتار آن بحث و بررسی می‌گردد. در فصل ۲ بر روش عام «جبران‌سازی» تکیه می‌شود و سه روش اساسی جبران یعنی جبران با تقسیم‌بندی خط، جبران امپدانس ضربه‌ای و جبران طول خط تعریف و با یکدیگر مقایسه می‌گردد. در فصل ۱ روش عام جبران بار معرفی می‌گردد و شبکه جبران‌کننده برای اصلاح ضریب توان، تثبیت ولتاژ توصیف می‌شود و نهایتاً خواص شبکه جبران‌کننده به‌عنوان شبکه توالی ثابت مثبت و منفی که قادر است ولتاژ را تثبیت و ضریب توان را اصلاح و فازها را متعادل نماید تشریح می‌گردد. (برحسب مقادیر لحظه‌ای و فازور جریان‌ها و ولتاژها).

در فصل ۴ اصول کار جبران‌کننده‌های استاتیکی جدید شامل راکتور کنترل شده با تایریستور، خازن سوئیچ شده با تایریستور و راکتور قابل اشباع به تفصیل تشریح می‌گردد. توجه خاصی به جنبه‌های کنترلی آن‌ها مبذول می‌گردد و راجع به پدیده سوئیچینگ خازن، در جبران‌کننده خازن سوئیچ شده با تایریستور به‌طور مفصل بحث می‌شود.

^۱ Power Quality

در فصول ۵ و ۶ جبران‌کننده‌های استاتیک بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرند. در فصل ۵ کنترلر تاپریستوری قدرت-بالا و سیستم‌های مربوط تشریح می‌گردد. در فصل ۶ تأسیسات یک جبران‌کننده جدید به انضمام سیستم کنترل و آزمایش رفتار آن، به‌طور کامل توصیف می‌گردد.

در فصل ۷ خازن‌های سری تشریح می‌گردد. با حل مسأله رزونانس زیر سنکرون (SSR)، و امکان وارد کردن لحظه‌ای مجدد خازن‌ها به مدار به کمک واریستور، خازن‌های سری به عنوان وسیله‌ای مؤثر و اقتصادی در افزایش توان انتقالی و پایداری خطوط طولی محسوب می‌گردند. نحوه کنترل SSR و عملکرد واریستور هر دو در این فصل تشریح می‌شوند.

به دلیل اهمیت جبران‌سازی با کندانسور سنکرون، در فصل ۸ این نوع جبران‌کننده شرح داده می‌شود. کندانسور سنکرون به عنوان یک ماشین گردان جایگاه طبیعی و مهمی را در تئوری کنترل توان راکتیو ایفا می‌کند و تعداد زیادی از تأسیسات کندانسور سنکرون جدید بسیار بزرگ و پیشرفته می‌باشند. سیستم‌های تحریک پاسخ سریع و استراتژی‌های کنترل جدید رفتار کندانسور را بهتر نموده است.

در فصل ۹ نقش کنترل توان راکتیو در رابطه با کوره‌های الکتریکی به تفصیل تشریح گردیده است. کوره‌های الکتریکی از بارهایی هستند که مسأله جبران‌سازی بار را به خود اختصاص داده و به‌منظور کاهش دادن مسأله چشمک زدن (فلیکر) نیاز به جبران‌کننده با مقادیر نامی بزرگ و پاسخ خیلی سریع دارند. فصل ۹، به‌خاطر بررسی‌های آن بر روی محدودیت‌های سرعت پاسخ روش‌های مختلف کنترل توان راکتیو، برای عموم مطالعه‌کنندگان جالب خواهد بود. همچنین مزایای جبران‌سازی را در فرآیند تولید فولاد به وضوح نشان می‌دهد طوری که رفتار بار به‌وسیله کنترل توان راکتیو و ولتاژ بهبود می‌یابد حتی وقتی که این عمل برای دلایل دیگری (نظیر کاهش فلیکر) صورت گیرد.

موضع کنترل توان راکتیو ارتباط تنگاتنگی با موضوع هارمونیک دارد زیرا کنترل و جبران توان راکتیو در ارتباط با بارها ضرورت پیدا می‌کند که خود نیز مولد هارمونیک هستند. دلیل دیگری که موجب اهمیت مسأله هارمونیک در یک کتاب مربوط به کنترل توان راکتیو می‌گردد این است که تقریباً جبران‌کننده راکتیو همواره بر روی فرکانس‌های رزونانس سیستم قدرت تأثیر می‌گذارد (حداقل در محل) خازن‌ها، راکتورها و جبران‌کننده‌ها بایستی به طریقی آرایش گردند که از وقوع رزونانس‌های هارمونیک اجتناب گردد. فصل ۱۰ راجع به این موضوعات بحث کرده و با مثال‌های عملی نقش فیلترها را بررسی می‌نماید.

فصل نهمایی یعنی فصل ۱۱، راجع به یک موضوع نسبتاً جدیدی تحت عنوان هماهنگی توان راکتیو بحث می‌کند و تعدادی از روش‌های منظم هماهنگ کردن کنترل توان راکتیو در یک سیستم به‌هم پیوسته بزرگ را توصیف می‌نماید. می‌نیمم کردن تلفات سیستم یکی از چندین شرایط بهینه‌ای است که می‌تواند به کمک کنترل و تحلیل کامپیوتری معین گردد. سرانجام خواننده را با این موضوع امیدبخش جدید به آینده می‌سپاریم.

T.J.E. MILLER

مقدمه مترجم

کتاب حاضر ترجمه کتابی است تحت عنوان

Reactive power control in Electric systems

T. J. E Miller

که توسط مؤلف فوق به چاپ رسیده است. این کتاب مشتمل بر یازده فصل است که در به رشته تحریر درآوردن آن، علاوه بر نویسنده فوق، ۸ نویسنده دیگر (که اسامی آن‌ها در ابتدای هر فصل مشخص شده است) مشارکت داشته‌اند. مؤلف و نویسنده اصلی کتاب یعنی T. J. E Miller از اعضای مرکز تحقیق و توسعه مؤسسه جنرال الکتریک (GEC) است و نویسندگان دیگر نیز همگی از اعضای فعال مراکز تحقیقاتی مؤسسات مختلف برق و بخش‌های مهندسی متعدد مربوط به آن‌ها هستند. بنابراین از این نقطه نظر این کتاب علاوه بر این‌که می‌تواند برای دانشجویان دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته برق مفید واقع گردد برای مهندسين برق، الکترونیک و کنترل شاغل در مؤسسات برق، مراکز صنعتی و مؤسسات تحقیقاتی (به‌خصوص در مراکز تحقیقاتی وزارت نیرو) قطعاً قابل استفاده و جالب خواهد بود.

به جرأت می‌توان اظهار کرد که این کتاب تنها کتابی است که در زمینه کنترل توان راکتیو تاکنون به چاپ رسیده است. و به‌منظور آشنا شدن به این زمینه که به دلایل متعدد اهمیت روزافزون یافته است (دلایل آن در مقدمه مؤلف آمده است)، بسیار مؤثر خواهد بود. موضوع کنترل توان راکتیو یکی از دروس دوره کارشناسی ارشد برق است که در دانشگاه‌های مختلف ایران تدریس می‌گردد. کتاب فوق می‌تواند یکی از مراجع مهم این درس قرار گیرد که همراه با مقالات انتشار یافته در سال‌های اخیر، دانشجویان را با مبحث کنترل توان راکتیو، جبران‌سازی (در سیستم توزیع و انتقال)، انواع جبران‌کننده‌ها به‌خصوص در جبران‌کننده‌های استاتیکی (SVC) کاملاً آشنا می‌سازد. این‌جانب عهده‌دار تدریس درس کنترل توان راکتیو برای دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری در دانشگاه فردوسی مشهد هستم.

با توجه به این‌که در زمینه جبران راکتیو و طراحی و ساخت چند نوع SVC در سال‌های متمادی تجربه کسب نموده و هم‌چنین به تدریس این موضوع پرداخته‌ام، بر خود لازم دانستم که به ترجمه کتاب فوق پردازم. امیدوارم که برای مهندسين برق و دانشجویان رشته برق قابل استفاده و مفید باشد. لازم به ذکر است با توجه به پیشرفت‌های حاصل در زمینه الکترونیک قدرت و هم‌چنین در زمینه مدیریت توان راکتیو در سیستم‌های قدرت و اهمیت آن با توجه به تجدید ساختار در سیستم‌های

قدرت، جهت تکمیل کتاب حاضر به ۴ فصل کتاب ضمیمه‌هایی اضافه گردید. در این اضافات سعی شد مثالهایی ارائه شود تا به فهم مسأله کمک بیشتری مبذول گردد.

در خاتمه لازم می‌دانم از مدیریت و مسئولین محترم انتشارات نیاز دانش جناب آقای مهندس شیرازی، جناب آقای شمس و سرکار خانم رفیعی که وسایل چاپ و نشر کتاب را فراهم نموده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و از خداوند متعال آرزوی توفیق روزافزون نمایم. از جناب آقای دکتر پرنیانی استاد محترم دانشگاه صنعتی شریف که اغلاط تایپی ویراست اول را به اینجانب منعکس نمودند نهایت تشکر را دارم. از همسرم به جهت صبر و شکیبایی و مساعدت در تصحیح این اثر سپاسگزارم.

رضا قاضی

(استاد دانشگاه فردوسی مشهد)

فهرست مطالب

| | |
|---|-----------|
| پیشگفتار..... | ۳ |
| مقدمه مؤلف..... | ۵ |
| مقدمه مترجم..... | ۹ |
| ۱ تئوری جبران بار..... | ۱۹ |
| ۱-۱ مقدمه: ضرورت جبران سازی..... | ۲۰ |
| ۲-۱ اهداف در جبران بار..... | ۲۱ |
| ۳-۱ جبران کننده ایده آل..... | ۲۳ |
| ۴-۱ ملاحظات عملی..... | ۲۴ |
| ۱-۴-۱ بارهایی که به جبران سازی نیاز دارند..... | ۲۴ |
| ۲-۴-۱ استانداردهای مورد قبول برای کیفیت تغذیه..... | ۲۶ |
| ۳-۴-۱ مشخصات یک جبران کننده بار..... | ۲۶ |
| ۵-۱ تئوری اساسی جبران: اصلاح ضریب توان و تنظیم ولتاژ در سیستم تک فاز..... | ۲۷ |
| ۱-۵-۱ ضریب توان و اصلاح آن..... | ۲۸ |
| ۲-۵-۱ تنظیم ولتاژ..... | ۳۱ |
| ۶-۱ مشخصه های تقریبی توان راکتیو..... | ۳۶ |
| ۱-۶-۱ تنظیم ولتاژ با بار القایی متغیر..... | ۳۶ |
| ۲-۶-۱ بهبود ضریب توان..... | ۳۸ |
| ۳-۶-۱ بایاس کردن توان راکتیو..... | ۴۰ |
| ۷-۱ مثال..... | ۴۱ |
| ۱-۷-۱ جبران برای ولتاژ ثابت..... | ۴۱ |
| ۲-۷-۱ جبران برای ضریب توان واحد..... | ۴۳ |
| ۸-۱ جبران کننده بار به صورت رگولاتور ولتاژ..... | ۴۳ |

| | |
|-----|--|
| ۴۸ | ۹-۱ متعادل کردن بارهای نامتقارن و اصلاح ضریب توان |
| ۴۸ | ۱-۹-۱ شبکه جبران‌کننده ادمیتانسی ایده‌آل |
| ۵۳ | ۲-۹-۱ جبران بار برحسب مؤلفه‌های متقارن |
| ۵۸ | ۱۰-۱ نتیجه‌گیری |
| ۶۰ | ضمیمه |
| ۶۲ | مراجع |
| ۶۳ | ضمیمه ۲ |
| ۷۵ | ۲ تئوری کنترل توان راکتیو در سیستم‌های انتقال الکتریکی در حالت ماندگار |
| ۷۷ | ۱-۲ مقدمه |
| ۷۷ | ۱-۱-۲ تاریخچه |
| ۷۹ | ۲-۱-۲ نیازمندی‌های اساسی در انتقال توان ac |
| ۸۱ | ۳-۱-۲ فاکتورهای مهندسی که در پایداری و کنترل ولتاژ مؤثرند |
| ۸۲ | ۲-۲ خطوط انتقال جبران نشده |
| ۸۲ | ۱-۲-۲ پارامترهای الکتریکی |
| ۸۳ | ۲-۲-۲ معادله اساسی خط انتقال |
| ۸۴ | ۳-۲-۲ بار طبیعی یا بار امپدانس موج ضربه‌ای |
| ۸۶ | ۴-۲-۲ خط مدار باز جبران نشده |
| ۹۱ | ۵-۲-۲ خط جبران نشده در حالت بارداری: اثر طول خط، بار، ضریب توان بر ولتاژ و توان راکتیو |
| ۹۶ | ۶-۲-۲ خط جبران نشده در حالت بارداری: حداکثر توان انتقال و ملاحظات پایداری |
| ۱۰۴ | ۳-۲ خطوط انتقال جبران شده |
| ۱۰۴ | ۱-۳-۲ انواع جبران‌سازی: z مجازی، θ مجازی و «جبران‌سازی با تقسیم‌بندی خط» |
| ۱۰۶ | ۲-۳-۲ جبران‌کننده‌های اکتیو و پسیو |
| ۱۰۸ | ۳-۳-۲ جبران‌سازی ثابت پخش شده یکنواخت |
| ۱۱۵ | ۴-۳-۲ جبران موازی قابل تنظیم پخش شده یکنواخت |
| ۱۱۸ | ۴-۲ جبران موازی پسیو |
| ۱۱۸ | ۱-۴-۲ کنترل ولتاژ مدار باز با استفاده از راکتورهای موازی |
| ۱۲۳ | ۲-۴-۲ کنترل ولتاژ به وسیله سوئیچ کردن جبران‌کننده موازی |
| ۱۲۴ | ۳-۴-۲ خازن یا راکتور موازی واقع در نقطه میانی خط |
| ۱۲۸ | ۵-۲ جبران سری |
| ۱۲۸ | ۱-۵-۲ اهداف و محدودیت‌های عملی |

| | |
|--|--|
| ۱۲۹ | خط متقارن جبران‌شده با خازن سری نقطه میانی و راکتورهای موازی |
| ۱۳۴ | مثال‌هایی از خط جبران شده سری |
| ۱۳۷ | جبران با تقسیم‌بندی خط (جبران موازی دینامیک) |
| ۱۳۷ | مفاهیم اصلی |
| ۱۳۹ | رفتار دینامیکی جبران‌کننده میانی |
| ۱۴۲ | مثال خطی که به طریق تقسیم‌بندی خط جبران شده است |
| ۱۴۴ | مراجع |
| ۱۴۵ | ضمیمه |
| ۲ جبران توان راکتیو و رفتار دینامیکی سیستم‌های انتقال | |
| ۱۶۵ | مقدمه |
| ۱۶۵ | دینامیک سیستم قدرت الکتریکی |
| ۱۶۶ | ضرورت جبران راکتیو قابل تنظیم |
| ۱۶۷ | چهار مشخصه پریود زمانی |
| ۱۶۹ | پریود گذرا |
| ۱۷۱ | پریود اولین نوسان و پایداری گذرا |
| ۱۷۳ | پریود نوسانی |
| ۱۷۵ | جبران‌سازی و دینامیک سیستم |
| ۱۷۵ | جبران موازی پسیو |
| ۱۷۵ | پریود گذرا |
| ۱۷۸ | پریود اولین نوسان |
| ۱۷۹ | پریود نوسانی |
| ۱۷۹ | خلاصه‌ای از جبران موازی پسیو |
| ۱۷۹ | جبران‌کننده‌های استاتیک |
| ۱۸۰ | پریود گذرا |
| ۱۹۱ | پریود نوسان اول |
| ۱۹۳ | اثر جبران‌کننده موازی استاتیک بر پایداری گذرا |
| ۲۰۲ | پریود نوسانی |
| ۲۰۴ | ممانعت از ناپایداری ولتاژ با استفاده از جبران‌کننده استاتیکی |
| ۲۰۶ | خلاصه - رفتار دینامیکی جبران‌کننده |
| ۲۰۷ | کندانسور سنکرون |

| | |
|----------|--|
| ۲۰۸..... | ۳-۵-۱ پر یود گذرا..... |
| ۲۰۹..... | ۳-۵-۲ پر یودهای اولین نوسان و نوسانی..... |
| ۲۱۰..... | ۳-۶-۶ جبران با خازن سری..... |
| ۲۱۰..... | ۳-۶-۱ پر یود گذرا..... |
| ۲۱۰..... | ۳-۶-۲ پر یود اولین نوسان و پایداری گذرا..... |
| ۲۱۲..... | ۳-۶-۳ پر یود نوسانی..... |
| ۲۱۳..... | ۳-۷ خلاصه..... |
| ۲۱۴..... | مراجع..... |
| ۲۱۵..... | ۴ اصول کار جبران کننده‌های استاتیک..... |
| ۲۱۵..... | ۴-۱ موارد استعمال جبران کننده‌ها..... |
| ۲۱۵..... | ۴-۱-۱ مشخصات جبران کننده‌های استاتیک..... |
| ۲۱۷..... | ۴-۱-۲ انواع اصلی جبران کننده..... |
| ۲۱۹..... | ۴-۲ راکتور کنترل شده با تایریستور کنترل (TCR) و انواع جبران کننده مربوط به آن..... |
| ۲۱۹..... | ۴-۲-۱ اصول کار..... |
| ۲۲۱..... | ۴-۲-۲ مشخصه ولتاژ- جریان..... |
| ۲۲۲..... | ۴-۲-۳ هارمونیک..... |
| ۲۲۶..... | ۴-۲-۴ ترانسفورماتور کنترل شده با تایریستور..... |
| ۲۲۷..... | ۴-۲-۵ TCR همراه با خازن‌های موازی..... |
| ۲۲۹..... | ۴-۲-۶ استراتژی‌های کنترل..... |
| ۲۳۴..... | ۴-۲-۷ مشخصات عملکردی دیگر جبران کننده‌های TCR..... |
| ۲۳۷..... | ۴-۳ خازن سوئیچ شده با تایریستور..... |
| ۲۳۷..... | ۴-۳-۱ اصول کار..... |
| ۲۳۸..... | ۴-۳-۲ گذرای سوئیچ کردن خازن و مفهوم سوئیچ کردن بدون گذرا..... |
| ۲۴۵..... | ۴-۳-۳ مشخصه ولتاژ- جریان..... |
| ۲۴۶..... | ۴-۴ جبران کننده‌های راکتور قابل اشباع..... |
| ۲۴۷..... | ۴-۴-۱ اصول کار..... |
| ۲۴۹..... | ۴-۴-۲ مشخصه‌های ولتاژ- جریان..... |
| ۲۵۱..... | ۴-۵ خلاصه..... |
| ۲۵۳..... | ۴-۶ پیشرفت‌های آتی و نیازمندی‌ها..... |
| ۲۵۵..... | ضمیمه..... |

| | |
|-----|--|
| ۲۸۳ | ۵ طراحی کنترل‌کننده‌های تایریستوری..... |
| ۲۸۳ | ۱-۵ تایریستور..... |
| ۲۸۳ | ۲-۵ نقش تایریستور به‌عنوان سوئیچ؛ مقادیر نامی..... |
| ۲۸۶ | ۳-۵ ملاحظات حرارتی..... |
| ۲۸۷ | ۴-۵ توصیف کنترلر تایریستوری..... |
| ۲۸۷ | ۱-۴-۵ کلیات..... |
| ۲۹۰ | ۲-۴-۵ مدار ضربه‌گیر R-C..... |
| ۲۹۱ | ۳-۴-۵ انرژی آتش‌کننده..... |
| ۲۹۳ | ۴-۴-۵ حفاظت در مقابل اضافه ولتاژ..... |
| ۲۹۳ | ۵-۴-۵ تغییرات تلفات کنترلر تایریستوری در خلال عملکرد آن..... |
| ۲۹۴ | ۵-۵ سیستم خنک‌کننده..... |
| ۲۹۴ | ۱-۵-۵ سیستم خنک‌کننده با هوای فیلتر شده..... |
| ۲۹۶ | ۲-۵-۵ تغییرات سیستم خنک‌کننده با هوای فیلتر شده..... |
| ۲۹۶ | ۳-۵-۵ سیستم هوای سیر کوله شده مجدد..... |
| ۲۹۷ | ۴-۵-۵ سیستم خنک‌کننده با سیال..... |
| ۲۹۷ | ۵-۵-۵ نظریات کلی در کاربرد سیستم‌های خنک‌کننده..... |
| ۲۹۷ | ۶-۵ مثالی از کنترلر تایریستوری..... |
| ۲۹۹ | مراجع..... |
| ۳۰۱ | ۶ مثالی از جبران‌کننده استاتیک جدید..... |
| ۳۰۱ | ۱-۶ مقدمه..... |
| ۳۰۱ | ۲-۶ آرایش اصلی..... |
| ۳۰۳ | ۳-۶ توصیف اجزاء اصلی..... |
| ۳۰۸ | ۴-۶ سیستم کنترلر تایریستوری..... |
| ۳۱۰ | ۵-۶ آزمایش رفتار سیستم..... |
| ۳۱۳ | ۷ خازن‌های سری..... |
| ۳۱۳ | ۱-۷ مقدمه..... |
| ۳۱۴ | ۲-۷ تاریخچه..... |
| ۳۱۵ | ۳-۷ طراحی تجهیزات..... |

| | |
|----------|---|
| ۳۱۵..... | ۱-۳-۷ واحدهای خازن..... |
| ۳۱۶..... | ۲-۳-۷ حفاظت با فیوز..... |
| ۳۱۷..... | ۳-۳-۷ فاکتورهای جبران‌سازی..... |
| ۳۱۷..... | ۴-۳-۷ آرایش فیزیکی..... |
| ۳۱۹..... | ۴-۷ وسایل حفاظتی..... |
| ۳۲۴..... | ۵-۷ روش‌های وارد کردن مجدد خازن..... |
| ۳۲۵..... | ۶-۷ حفاظت با واریستور..... |
| ۳۲۹..... | ۷-۷ اثرات رزونانس با خازن‌های سری..... |
| ۳۳۲..... | ۸-۷ خلاصه..... |
| ۳۳۳..... | مراجع..... |
| ۳۳۵..... | ا کندانسورهای سنکرون..... |
| ۳۳۵..... | ۱-۸ مقدمه..... |
| ۳۳۶..... | ۲-۸ جنبه‌های طراحی کندانسور..... |
| ۳۳۹..... | ۳-۸ مشخصه‌های اصلی الکتریکی..... |
| ۳۳۹..... | ۱-۳-۸ ثابت‌های ماشین..... |
| ۳۴۰..... | ۲-۳-۸ دیاگرام فازوری..... |
| ۳۴۱..... | ۳-۳-۸ منحنی - V..... |
| ۳۴۲..... | ۴-۳-۸ مدار معادل ساده شده..... |
| ۳۴۳..... | ۴-۸ عملکرد کندانسور..... |
| ۳۴۳..... | ۱-۴-۸ کنترل ولتاژ سیستم قدرت..... |
| ۳۴۳..... | ۲-۴-۸ تأمین توان راکتیو اضطراری..... |
| ۳۴۶..... | ۳-۴-۸ تقلیل نوسانات گذرا..... |
| ۳۵۰..... | ۴-۴-۸ کاربردهای HVDC..... |
| ۳۵۱..... | ۵-۸ روش‌های راه‌اندازی..... |
| ۳۵۱..... | ۱-۵-۸ راه‌اندازی با موتور..... |
| ۳۵۲..... | ۲-۵-۸ راه‌اندازی با ولتاژ کاهش یافته..... |
| ۳۵۴..... | ۳-۵-۸ راه‌انداز استاتیکی..... |
| ۳۵۵..... | ۶-۸ ملاحظات در طراحی پست..... |
| ۳۵۵..... | ۱-۶-۸ آرایش تک‌خطی..... |
| ۳۵۶..... | ۲-۶-۸ کنترل و حفاظت..... |

| | |
|--|---|
| ۳۵۶..... | ۳-۶-۸ سیستم‌های کمکی..... |
| ۳۵۷..... | ۷-۸ خلاصه..... |
| ۳۵۸..... | مراجع..... |
| ۹ جبران راکتیو و کوره فوس الکتریکی..... | |
| ۳۵۹..... | ۱-۹ مقدمه..... |
| ۳۶۰..... | ۲-۹ کوره الکتریکی به‌عنوان بار الکتریکی..... |
| ۳۶۰..... | ۱-۲-۹ کوره الکتریکی در تولید فولاد..... |
| ۳۶۱..... | ۲-۲-۹ نیازمندی‌های سیستم تغذیه کوره‌های الکتریکی..... |
| ۳۶۵..... | ۳-۹ فلیکر و اصول جبران‌سازی آن..... |
| ۳۶۵..... | ۱-۳-۹ ماهیت کلی مسأله فلیکر..... |
| ۳۶۹..... | ۲-۳-۹ روش‌های جبران‌سازی فلیکر..... |
| ۳۷۳..... | ۳-۳-۹ انواع جبران‌کننده..... |
| ۳۷۴..... | ۴-۹ جبران‌کننده‌های کنترل شده با تایریستور..... |
| ۳۷۵..... | ۱-۴-۹ ارتباط بین توان راکتیو جبران‌کننده و زاویه آتش تایریستور..... |
| ۳۷۹..... | ۲-۴-۹ تعیین توان راکتیو مورد نیاز..... |
| ۳۸۰..... | ۳-۴-۹ مثالی از نتایج حاصل از جبران فلیکر با استفاده از TCR..... |
| ۳۸۱..... | ۵-۹ جبران‌کننده‌های راکتور قابل اشباع..... |
| ۳۸۱..... | ۱-۵-۹ جبران‌کننده راکتور انشعابی یا دارای تپ /راکتور قابل اشباع..... |
| ۳۸۴..... | ۲-۵-۹ جبران‌کننده راکتور قابل اشباع چند فازه جبران شده هارمونیکی..... |
| ۳۸۶..... | مراجع..... |
| ۱۰ هارمونیک..... | |
| ۳۸۹..... | ۱-۱۰ مقدمه..... |
| ۳۸۹..... | ۲-۱۰ منابع هارمونیک..... |
| ۳۹۴..... | ۳-۱۰ اثر هارمونیک بر تجهیزات الکتریکی..... |
| ۳۹۶..... | ۴-۱۰ رزونانس، خازن‌های موازی، و فیلترها..... |
| ۴۰۱..... | ۵-۱۰ سیستم فیلتر..... |
| ۴۰۵..... | ۶-۱۰ تداخل تلفنی..... |
| ۴۰۸..... | مراجع..... |

| | |
|----------|--|
| ۴۰۹..... | ۱۱ هماهنگی توان راکتیو..... |
| ۴۰۹..... | ۱-۱۱ مقدمه..... |
| ۴۱۰..... | ۲-۱۱ مدیریت توان راکتیو..... |
| ۴۱۱..... | ۱-۲-۱۱ اهداف مؤسسه برق..... |
| ۴۱۲..... | ۲-۲-۱۱ اقدامات مؤسسه..... |
| ۴۱۲..... | ۳-۲-۱۱ مدل ریاضی..... |
| ۴۱۵..... | ۴-۲-۱۱ فواید انتقال..... |
| ۴۱۶..... | ۵-۲-۱۱ تجربه در زمینه پخش توان راکتیو..... |
| ۴۱۶..... | ۶-۲-۱۱ تأثیر بر روی تجهیزات..... |
| ۴۱۷..... | ۳-۱۱ نتیجه‌گیری..... |
| ۴۱۸..... | مراجع..... |
| ۴۱۹..... | ضمیمه..... |
| ۴۳۷..... | مراجع برگزیده..... |