



به نام خدا



روشهای کنترلی در سیستم های الکترونیک قدرت (تحلیل مدار)

مؤلفان:

مهندس حسین فروزانی

مهندس حنیف فروزانی



هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است. متخلفان به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

◀ عنوان کتاب: **روشهای کنترلی**

در سیستم های الکترونیک قدرت (تحلیل مدار)

◀ مولفان: مهندس حسین فروزانی

مهندس حنیف فروزانی

◀ ویراستار علمی: مهندس مریم رستگارمن

◀ ناشر: موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

◀ صفحه آرای: شبیمن هاشم زاده

◀ طراح جلد: مهندس مریم رستگارمن

◀ نوبت چاپ: اول

◀ تاریخ نشر: ۱۳۹۸

◀ چاپ و صحافی: صدف

◀ تیراژ: ۱۰۰ جلد

◀ قیمت: ۷۲۰۰۰۰ ریال

◀ شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۱۳۱-۴

نشانی واحد فروش: تهران، میدان انقلاب،

خ کارگر جنوبی، روبروی پاساژ مهستان،

پلاک ۱۲۵۱

تلفن: ۲۲۰۸۵۱۱۱-۶۶۴۱۰۰۴۶

فروشگاههای اینترنتی دیباگران تهران:

WWW.MFTBOOK.IR

www.dibagarantehran.com

www.mftdibagaran.ir

نشانی تلگرام: @mftbook

سرشناسه: فروزانی، حسین، ۱۳۶۶-

عنوان و نام پدیدآور: روشهای کنترلی در سیستم های الکترونیک قدرت (تحلیل مدار)

/مولفان: حسین فروزانی، حنیف فروزانی.

مشخصات نشر: تهران: دیباگران تهران: ۱۳۹۸

مشخصات ظاهری: ۲۴۱ص: مصور.

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۱۳۱-۴

وضعیت فهرست نویسی: فیا یادداشت: کتابنامه: ص. ۲۴۱

موضوع: برق-سیستم ها-کنترل

موضوع: electric power systems-control

موضوع: الکترونیک نیرو power electronics

موضوع: مدارهای برقی-تجزیه و تحلیل

موضوع: electric circuit analysis

موضوع: برق-شبکه ها-تجزیه و تحلیل

موضوع: electric network analysis

شناسه افزوده: فروزانی، حنیف، ۱۳۷۰-

رده بندی کنگره: TK ۱۰۰۷

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۷

شماره کتابشناسی ملی: ۵۸۱۹۸۵۸

هر کتاب دیباگران تهران، یک فرصت جدید شغلی

هرگوشی همراه، یک فروشگاه کتاب دیباگران

اپلیکیشن ما را از سایتهای اینترنتی ما دریافت و نصب نمایید.

فهرست مطالب

فصل اول

- آشنایی با الکترونیک قدرت و کاربردهای آن ۱۴
- ۱-۱ الکترونیک قدرت چیست؟ ۱۵
- ۱-۲ دسته‌بندی مبدل‌های سوئیچینگ توان ۱۶
- ۱-۲-۱ مبدل‌های توان DC به DC - برش‌دهنده‌ها ۱۷
- ۱-۲-۲ مبدل‌های AC به DC - یکسوسازها ۱۹
- ۱-۲-۳ مبدل‌های DC به AC - اینورترها ۲۳
- ۱-۲-۴ مبدل‌های AC به AC، سیکلوانورترها و کنترل‌کننده‌های ولتاژ ۲۵
- ۱-۳ تعریف بازده و تأثیرات آن در سیستم‌های الکترونیک قدرت ۳۰
- ۱-۴ اولین مثال از یک مبدل برش‌دهنده ۳۳
- ۱-۴-۱ مدار اول: مدار تقسیم ولتاژ مقاومتی ۳۳
- ۱-۴-۲ مدار دوم: مدار ترانزیستوری به همراه درایور حلقه بسته بیس ۳۴
- ۱-۵ مبدل کاهنده‌ی سوئیچینگ ۳۵
- ۱-۵-۱ طرح اولیه مدار مبدل کاهنده سوئیچینگ ۳۵
- ۱-۵-۲ نقش فیلتر LC در مدار مبدل کاهنده‌ی سوئیچینگ ۳۷
- ۱-۵-۳ تکمیل مدار مبدل کاهنده با حلقه‌ی فیدبک ۳۹
- ۱-۶ مروری بر مباحث مطرح شده در این فصل ۳۹

فصل دوم

- شبیه‌سازی مداری در LTspice ۴۱
- ۲-۱ معرفی مختصر SPICE ۴۲
- ۲-۱-۱ نسخه‌های تجاری SPICE ۴۲

۴۳	۲-۲ بررسی اجمالی ویژگی‌های نرم‌افزار LTspice
۴۵	۲-۳ شروع کار در نرم‌افزار LTspice
۴۸	۲-۳-۱ تحلیل نقطه‌ی کار DC
۵۱	۲-۴ مثالی از تحلیل حالت گذرا در LTspice
۵۲	۲-۴-۱ اعمال پالس کلیدزنی به کمک گزینه‌ی Pulse در LTspice
۵۳	۲-۴-۲ ابزار تحلیل حالت گذرا در LTspice
۵۵	۲-۴-۳ خروجی‌های برنامه‌ی تحلیل حالت گذرا
۵۶	۲-۴-۴ نحوه‌ی مشاهده‌ی نتایج شبیه‌سازی در نمودار
۵۸	۲-۵ المان‌های مورد نیاز برای مدار کاهنده‌ی سوئیچینگ
۵۹	۲-۵-۱ ماسفت IRFS4010 به عنوان سوئیچ قدرت
۶۰	۲-۵-۲ نکات اولیه‌ی درباره‌ی ماسفت‌ها به عنوان سوئیچ‌های قدرت
۶۱	۲-۵-۳ ناحیه‌ی Cut-off یا مود خاموش ماسفت
۶۱	۲-۵-۴ ناحیه‌ی اشباع یا مود روشن ماسفت
۶۲	۲-۵-۵ دیود RF1601NS2D به منظور تکمیل مدار سوئیچینگ
۶۳	۲-۵-۶ بازیابی معکوس در دیود چیست؟
۶۴	۲-۵-۷ معرفی تراشه‌های تولید موج PWM
۶۵	۲-۵-۸ تنظیم فرکانس و دوره‌ی کار موج PWM
۶۹	۲-۵-۹ ایجاد تنظیمات تراشه‌ی LTC6992-1 در نرم‌افزار LTspice
۷۲	۲-۵-۱۰ استفاده از ابزار محاسباتی آنلاین شرکت Analog Devices
۷۴	۲-۶ معرفی تراشه‌های درایور گیت ماسفت
۷۵	۲-۷ مروری بر مباحث طرح شده در این فصل

فصل سوم

۷۶	تکمیل مدار مبدل سوئیچینگ
۷۷	۳-۱ اصول درایو گیت ماسفت‌های قدرت
۷۹	۳-۲ نقش مدار Bootstrap در درایور گیت High-Side

- ۳-۳ نکات تکمیلی در ارتباط با مدار درایور گیت نیم پل ۸۱
- ۳-۳-۱ اهمیت بسیار بالای Dead-Time در زمان‌بندی مربوط به کلیدزنی سوئیچ‌های قدرت.. ۸۲
- ۳-۳-۲ مدل مداری درایور گیت برای بررسی دقیق‌تر عملکرد آن..... ۸۳
- ۳-۳-۳ قرار دادن مقاومت در گیت ماسفت HS برای حذف نوسانات ناخواسته..... ۸۶
- ۳-۳-۴ تکمیل مدار گیت ماسفت HS با قرار دادن دیود معکوس شانت..... ۸۸
- ۳-۳-۵ مبدل کاهنده مبتنی بر مدار درایور گیت نیم پل، سخت یا نرم؟..... ۸۹
- ۳-۴ بررسی دقیق‌تر دیودهای قدرت و اهمیت ماسفت سنکرون..... ۹۳
- ۳-۴-۱ معادله‌ی کنترل بار در حالت ماندگار..... ۹۵
- ۳-۴-۲ اثبات رابط‌هی جریان دیود در بایاس مستقیم از رابط‌هی تراکم بار..... ۹۶
- ۳-۴-۳ رابط‌هی بین جریان بایاس مستقیم با بار اقلیت ذخیره شده در دیود..... ۹۹
- ۳-۴-۴ ارتباط معادله‌ی کنترل بار با جریان، ولتاژ و تراکم بار دیود در حالت گذرا..... ۱۰۱
- ۳-۴-۵ تحلیل توان مصرف شده در حالت گذرا در دیود..... ۱۰۵
- ۳-۵ تلفات توان سوئیچینگ..... ۱۰۷
- ۳-۵-۱ محاسبه‌ی تلفات توان در ماسفت با فرض بر ایده‌آل بودن دیود..... ۱۰۹
- ۳-۵-۲ بررسی دقیق تلفات ناشی از بازیابی معکوس دیود..... ۱۱۱
- ۳-۶ فاکتور S در دیودها..... ۱۱۵
- ۳-۷ مقایسه‌ی دو دیود فوق سریع ISL9R860 و STTH8R06..... ۱۱۸
- ۳-۸ افزایش مقدار I_{rrm} و لزوم استفاده از مدار Snubber..... ۱۲۱
- ۳-۹ مروری بر مباحث مطرح شده در این فصل..... ۱۲۷

فصل چهارم

تحلیل و طراحی مدار اسنابر RC..... ۱۲۹

- ۴-۱ مدار اسنابر و تشکیل معادله‌ی دیفرانسیل ولتاژ دو سر دیود..... ۱۳۰
- ۴-۱-۱-۱ مدار زیرمیرا $1 < \xi \leq \infty$ ۱۳۴
- ۴-۱-۱-۲ مدار میرای بحرانی $\xi = 1$ ۱۳۵
- ۴-۱-۱-۳ مدار فوق بحرانی $\xi > 1$ ۱۳۵

- ۴-۱-۱-۴ مقایسه‌ی ولتاژ دیود به ازای ضرایب میرایی متفاوت..... ۱۳۶
- ۴-۲ یافتن مقدار ماکزیمم شیب نمودار ولتاژ دیود dV_D / dt به ازای مقادیر مختلف ξ ۱۳۷
- ۴-۳ نمودارهای بر واحد ماکزیمم ولتاژ و ماکزیمم شیب ولتاژ دیود به ازای زتای مختلف ۱۴۰
- ۴-۴ انتخاب مقادیر مناسب برای خازن و مقاومت اسنابر..... ۱۴۳
- ۴-۴-۱ فرمول محاسبه‌ی ظرفیت خازن اسنابر..... ۱۵۰
- ۴-۴-۲ فرمول محاسبه‌ی مقاومت اسنابر..... ۱۵۱
- ۴-۴-۳ اثبات فرمول مقاومت اسنابر به روش تقریب مرتبه‌ی دوم..... ۱۵۲
- ۴-۵ حل یک مثال عملی از طراحی گام به گام مدار اسنابر..... ۱۵۵
- ۴-۵-۱ گام اول: اندازه‌گیری فرکانس نوسانات بدون استفاده از خازن خارجی..... ۱۵۵
- ۴-۵-۲ گام دوم: اندازه‌گیری فرکانس نوسانات پس از افزودن یک خازن موازی با دیود..... ۱۵۷
- ۴-۵-۳ گام سوم: محاسبه‌ی ظرفیت خازن پارازیتی و مقدار اندوکتانس پارازیتی و امپدانس
مشخصه‌ی مدار..... ۱۵۸
- ۴-۵-۴ گام چهارم: انتخاب مقادیر خازن و مقاومت مدار اسنابر..... ۱۵۹
- ۴-۵-۵ گام پنجم: محاسبه‌ی توان مصرف شده در مدار اسنابر و انتخاب سائز مقاومت اسنابر ۱۶۰
- ۴-۶ اثبات رابطه‌ی تلفات توان در مدار اسنابر..... ۱۶۲
- ۴-۷ تکنیک شرکت Maxim Inegrated برای طراحی اسنابر..... ۱۶۴
- ۴-۸ مروری بر مباحث مطرح شده در این فصل..... ۱۶۶

فصل پنجم

- ۱۶۷ تحلیل و طراحی مدار اسنابر RCD
- ۵-۱ معرفی اسنابر RCD و موارد استفاده از آن..... ۱۶۸
- ۵-۱-۱ مدار اسنابر RCD کلمپ..... ۱۷۱
- ۵-۱-۲ مدار RCD اسنابر ولتاژ..... ۱۷۱
- ۵-۲ نیاز به اسنابر RCD کلمپ در یک مبدل Flyback..... ۱۷۳

- ۵-۲-۱ اصول کاری مبدل Flyback و تفاوت ترانسفورماتور به کار رفته در آن با ترانسفورماتورهای عادی..... ۱۷۵
- ۵-۲-۲ تبعات ایجاد فاصله‌ی هوایی در هسته‌ی ترانسفورماتور Flyback..... ۱۷۹
- ۵-۲-۲-۱ کاهش اندوکتانس ترانسفورماتور و راه حل آن..... ۱۷۹
- ۵-۲-۲-۲ افزایش اندوکتانس نشتی ترانسفورماتور و راه حل آن..... ۱۸۰
- ۵-۲-۳ تحلیل مداری مبدل Flyback بدون مدار اسنابر..... ۱۸۵
- ۵-۳ تفاوت نمودارهای ولتاژ و جریان ماسفت در حالت‌های هدایت پیوسته و ناپیوسته..... ۱۸۷
- ۵-۴ طراحی مدار اسنابر RCD کلمپ..... ۱۹۰
- ۵-۵ انتخاب مقادیر مقاومت و خازن مدار اسنابر RCD کلمپ..... ۱۹۴
- ۵-۵-۱ اثبات رابطه‌ی دامنه‌ی ریپل ولتاژ بر حسب سایر پارمترها..... ۱۹۵
- ۵-۶ حل یک مثال عملی از طراحی گام به گام مدار اسنابر RCD کلمپ..... ۱۹۸
- ۵-۶-۱ گام اول: انتخاب ماسفت بر اساس ولتاژهای ورودی و خروجی..... ۱۹۸
- ۵-۶-۲ گام دوم: اندازه‌گیری اندوکتانس نشتی ترانسفورماتور Flyback..... ۱۹۹
- ۵-۶-۲-۱ استفاده از LCR متر مدل ۸۷۹B و ۸۸۰..... ۲۰۱
- ۵-۶-۳ گام سوم: انتخاب مقدار مقاومت مدار اسنابر RCD کلمپ..... ۲۰۲
- ۵-۶-۳-۱ محاسبه‌ی توان تلف شده در مقاومت اسنابر..... ۲۰۲
- ۵-۶-۴ گام چهارم: انتخاب مقدار خازن مدار اسنابر RCD کلمپ..... ۲۰۳
- ۵-۷ جایگزینی مقاومت و خازن با یک دیود زنر برای کلمپ ولتاژ..... ۲۰۴
- ۵-۸ مروری بر مباحث مطرح شده در این فصل..... ۲۰۴

فصل ششم

تحلیل حالت ماندگار مبدل‌ها..... ۲۰۶

- ۶-۱ انگیزه‌ی عملی از تحلیل‌های حالت ماندگار..... ۲۰۷
- ۶-۲ تقریب ریپل کوچک و تعادل ولت-ثانیه‌ی در القاگر..... ۲۰۹
- ۶-۲-۱ ولتاژ و جریان القاگر مبدل توان کاهنده در بازه‌ی زمانی روشن بودن سوئیچ اصلی.... ۲۱۰
- ۶-۲-۲ ولتاژ و جریان القاگر مبدل توان کاهنده در بازه‌ی زمانی خاموش بودن سوئیچ اصلی. ۲۱۱

۲۱۲	۶-۲-۳ شکل موج جریان و ولتاژ القاگر در یک دوره‌ی تناوب.....
۲۱۴	۶-۲-۴ اصل تعادل ولت-ثانیه در القاگر.....
۲۱۵	۶-۳ اصل تعادل آمپر-ثانیه (تعادل بار) در خازن.....
۲۱۶	۶-۴ تحلیل حالت ماندگار مبدل افزایشنده Boost.....
۲۱۸	۶-۵ تعادل ولت-ثانیه و آمپر-ثانیه در مبدل افزایشنده Boost.....
۲۱۹	۶-۵-۱ یافتن نسبت تبدیل مبدل Boost.....
۲۲۰	۶-۵-۲ مؤلفه‌ی جریان DC و رابطه‌ی آن با دوره‌ی کار.....
۲۲۱	۶-۶ محاسبه‌ی ریپل جریان و اندوکتانس در القاگر مبدل افزایشنده.....
۲۲۳	۶-۶-۱ مقاومت ESR در مدل واقعی خازن.....
۲۲۶	۶-۶-۲ فاکتور اتلاف خازن‌ها DF- در فرکانس‌های سوئیچینگ بالا.....
۲۲۸	۶-۶-۳ روش محاسبه و اندازه‌گیری مقاومت ESR.....
۲۳۰	۶-۷ تحلیل حالت ماندگار مبدل چوک $\dot{C}uk$
۲۳۱	۶-۷-۱ معادلات حاکم بر مدار مبدل $\dot{C}uk$ در بازه‌ی زمانی روشن بودن سوئیچ اصلی.....
۲۳۲	۶-۷-۲ معادلات حاکم بر مدار مبدل $\dot{C}uk$ در بازه‌ی زمانی خاموش بودن سوئیچ اصلی.....
۲۳۳	۶-۸ تعادل ولت-ثانیه و تعادل آمپر-ثانیه در مبدل توان $\dot{C}uk$
۲۳۳	۶-۸-۱ به کارگیری اصل تعادل ولت-ثانیه برای القاگرهای مبدل $\dot{C}uk$
۲۳۴	۶-۸-۲ به کارگیری اصل تعادل آمپر-ثانیه برای خازن‌های مبدل $\dot{C}uk$
۲۳۶	۶-۸-۳ یافتن مقادیر ماندگار مبدل $\dot{C}uk$ و نسبت تبدیل آن.....
۲۳۷	۶-۹ محاسبه‌ی مقادیر ریپل جریان و ولتاژ.....
۲۳۹	۶-۱۰ مروری بر مباحث مطرح شده در این فصل.....
۲۴۱	مراجع.....

خط مشی کیفیت انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران در عرصه کتاب‌هایی است که بتواند
خواسته‌های به روز جامعه فرهنگی و علمی کشور را تا حد امکان پوشش دهد.
هر کتاب دیباگران تهران، یک فرصت جدید شغلی

حمد و سپاس ایزد منان را که با الطاف بی‌کران خود این توفیق را به ما ارزانی داشت تا بتوانیم در راه ارتقای دانش عمومی و فرهنگی این مرز و بوم در زمینه چاپ و نشر کتب علمی دانشگاهی، علوم پایه و به ویژه علوم کامپیوتر و انفورماتیک گام‌هایی هرچند کوچک برداشته و در انجام رسالتی که بر عهده داریم، مؤثر واقع شویم.

گسترده‌گی علوم و توسعه روزافزون آن، شرایطی را به وجود آورده که هر روز شاهد تحولات اساسی چشمگیری در سطح جهان هستیم. این گسترش و توسعه نیاز به منابع مختلف از جمله کتاب را به عنوان قدیمی‌ترین و راحت‌ترین راه دستیابی به اطلاعات و اطلاع‌رسانی، بیش از پیش روشن می‌نماید.

در این راستا، واحد انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران با همکاری جمعی از اساتید، مؤلفان، مترجمان، متخصصان، پژوهشگران، محققان و نیز پرسنل ورزیده و ماهر در زمینه امور نشر درصدد هستند تا با تلاش‌های مستمر خود برای رفع کمبودها و نیازهای موجود، منابعی پُر بار، معتبر و با کیفیت مناسب در اختیار علاقمندان قرار دهند.

کتابی که در دست دارید با همت "مهندسان حسین فروزانی و حنیف فروزانی" و تلاش جمعی از همکاران انتشارات میسر گشته که شایسته است از یکایک این گرامیان تشکر و قدردانی کنیم.

کارشناسی و نظارت بر محتوا: زهره قزلباش

در خاتمه ضمن سپاسگزاری از شما دانش‌پژوه گرامی درخواست می‌نماید با مراجعه به آدرس dibagaran.mft.info (ارتباط با مشتری) فرم نظرسنجی را برای کتابی که در دست دارید تکمیل و ارسال نموده، انتشارات دیباگران تهران را که جلب رضایت و وفاداری مشتریان را هدف خود می‌داند، یاری فرمایید.

امیدواریم همواره بهتر از گذشته خدمات و محصولات خود را تقدیم حضورتان نماییم.

مدیر انتشارات

مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران
bookmarket@mft.info

تقديم به مادر عزيزمان...

مقدمه مولف

الکترونیک قدرت یکی از شاخه‌های پرکاربرد مهندسی برق است که در زمینه‌های مختلف صنعت بروز و ظهور می‌کند. با توسعه‌ی صنایع مختلف و افزایش نیاز به انرژی، نیاز به تجهیزات با بازده بالا، نیز به طور فزاینده‌ای در حال رشد می‌باشد. انرژی الکتریکی به صورت‌های مختلف، تولید و ذخیره شده و انتقال می‌یابد. در تمام این مراحل شاهد تبدیل پارامترهای مختلف ولتاژ و جریان الکتریکی هستیم. ممکن برق به صورت AC تولید شود و انتقال پیدا کند اما مصرف کننده‌ی نهایی به ولتاژ DC برای تغذیه‌ی خود نیاز داشته باشد؛ مثلاً زمانی که شما از کامپیوتر خود استفاده می‌کنید و منبع تغذیه‌ی آن را به برق شهری متصل می‌کنید، عملاً در حال تبدیل ولتاژ AC به ولتاژ DC هستید؛ فرایندی که به آن یک‌سوسازی یا رکتیفیکیشن گفته می‌شود. ممکن است برق به صورت DC تولید و ذخیره شود ولی به صورت AC مصرف گردد؛ مثال بارز این نوع تبدل، سیستم‌های فوتوولتائیک می‌باشد؛ تجهیزاتی که تبدیل ولتاژ DC به AC را انجام می‌دهند، اینورتر نامیده می‌شوند. ممکن است یک منبع تغذیه‌ی DC وجود داشته باشد ولی مصرف کننده به ولتاژ DC کمتر یا بیشتری نیاز داشته باشد؛ در این صورت باید یک تبدیل DC به DC صورت گیرد. یا این که ممکن است نیاز به تبدیل AC به AC باشد؛ به طور مثال می‌خواهیم از شبکه‌ی برق سراسری که فرکانس آن در هر کشوری ۵۰ یا ۶۰ هرتز می‌باشد، برای تأمین انرژی موتورهای کشنده‌ی لوکوموتیوهای برقی استفاده کنیم؛ در این صورت باید فرکانس را تا حدود ۱۶ الی ۱۷ هرتز کاهش دهیم که این خود یک تبدیل AC به AC محسوب می‌شود. بنابراین تبدل انرژی الکتریکی، یک امر اجتناب‌ناپذیر می‌باشد؛ زیرا همواره در زنجیره‌ی تولید و مصرف انرژی الکتریکی، تقاضاها و کاربردهای متفاوتی از حیث نیاز به نوع ولتاژ و جریان مصرفی وجود دارد.

حال چالشی مهندسی در این حوزه، نه فقط طراحی مبدل‌های توان الکتریکی بر اساس نیاز سیستم بوده، بلکه دست‌یابی به بالاترین بازده در این تجهیزات می‌باشد، به نحوی که هم تبدل توان به بهترین شکل صورت گیرد و هم کمترین تلفات روی دهد. وقتی که قرار است یک تبدل توان در سیستم‌های قدرت با ولتاژهای بالا صورت گیرد، هر درصد تلفات بیشتر یعنی هدر رفت بیشتر انرژی و پول که به هیچ نحو مورد تأیید نمی‌باشد. برای روشن شدن موضوع یک مثال ساده از تبدل ولتاژ DC به DC را در نظر بگیرید. فرض کنی می‌خواهیم یک ولتاژ ۲۴ ولتی را به یک بار مقاومتی متصل کنیم، اما منبع تغذیه‌ی که در دست داریم ۴۸ ولتی می‌باشد. چند روش برای این تبدل ولتاژ وجود دارد که در فصل یک کتاب در مورد آن توضیح داده‌ایم. در این جا بدترین روش با کمترین بازده و روش سوئیچینگ را در نظر بگیرید. ساده‌ترین روش استفاده از یک تقسیم ولتاژ مقاومتی است. در این روش، کافی است از یک مقاومت مساوی با مقاومت بار به صورت سری با آن، بهره بگیریم. مشخص است که نیمی از توان منبع به صورت ناخواسته در مقاومتی که از آن برای تقسیم ولتاژ استفاده می‌شود، هدر می‌رود. این مسأله یک ضعف برای چنین مبدل توانی، محسوب می‌شود. سؤالی که امکان است در ذهن طراح ایجاد شود این است که حالا که قرار است از منبع ۴۸ ولتی برای تأمین تغذیه‌ی ۲۴ ولتی استفاده شود، آیا نمی‌توان از خاموش و روشن کردن این منبع و میانگین زمانی گرفتن از شکل موج خروجی، به هدف خود برسیم؟

پاسخ به این سؤال قطعاً مثبت است و ایده‌ی پیاده‌سازی چنین طرحی، در اصل به پی‌ریزی سیستم‌های مبدل توان سوئیچینگ منجر می‌شود. اگر یک سوئیچ ایده‌آل با تلفات توان صفر داشته باشیم، عملاً توانسته‌ایم یک مبدل کاهنده‌ی DC به DC بسازیم که بازده آن صد در صد می‌باشد. البته در عمل هیچ چیزی ایده‌آل نمی‌باشد، لیکن زمانی که از عناصر نیمه‌هادی به عنوان کلیدهای قدرت استفاده می‌کنیم، به دلیل تلفات کم این سوئیچ‌ها، بازده مبدل‌های توان بسیار بهبود می‌یابد.

سیستم‌های الکترونیک قدرت، مبتنی بر نیمه‌هادی‌های توان بالا مانند BJT ها و ماسفت‌های قدرت، IGBT ها، ترستورها، ترایاک‌ها و دیاک‌ها طراحی می‌شوند. پارامتر دیگری که در کنار بهبود بازده در چنین سیستم‌هایی حائز اهمیت می‌باشد، فرکانس سوئیچینگ می‌باشد. مسلماً یک فرکانس کلیدزنی یکی سوئیچ نیمه‌هادی قدرت (در این جا عمدتاً MOSFET ها و IGBT ها مدنظر می‌باشند) در مقایسه با یک سوئیچ مکانیکی بالاتر است و تعداد دفعات بیشتری می‌توان در یک ثانیه، آن را خاموش و روشن نمود. افزایش فرکانس سوئیچینگ از این حیث که منجر به کوچک شدن سائز المان‌های مداری خصوصاً سلف‌ها و ترانسفورماتورها می‌شود، برای طراحان و مهندسان نقش کلیدی ایفا می‌کند. کوچک شدن سائز المان‌های مداری یعنی ارزان شدن محصول نهایی و کنترل هزینه‌های تولید و این مسأله در کارهای فنی یک پارامتر مهم می‌باشد. البته فرکانس سوئیچینگ در نیمه‌هادی‌های قدرت تحت تأثیر تکنولوژی‌های ساخت این المان‌ها، دارای محدودیتی در مرتبه‌ی چند صد کیلوهرتز می‌باشد. عمده‌ی طراحی‌های با کیفیت در زمینه‌ی طراحی و ساخت مبدل‌های سوئیچینگ در مرتبه‌ی چند صد کیلوهرتز، کار می‌کنند. در کنار محدودیت‌هایی که سوئیچ‌های نیمه‌هادی اعم از MOSFET ها و IGBT های قدرت در افزایش فرکانس سوئیچینگ ایجاد می‌کنند، پارامترهای دیگری نظیر افت بازده و افزایش تلفات توان، افزایش حساسیت سیستم به نویزهای فرکانس بالا و مسائلی نظیر تداخلات الکترومغناطیسی، از عوامل ایجاد محدودیت در فرکانس سوئیچینگ می‌باشد؛ بنابراین یک مهندس طراح مبدل‌های سوئیچینگ باید بین فرکانس کلیدزنی با بازده تبدیل توان و مهار نویز و تداخلات الکترومغناطیسی، یک تعادل ایجاد کند و نقطه‌ی بهینه‌ی طرح خود را بیابد.

با عنایت به آن چه در بالا به آن اشاره شد، می‌توان دریافت طراحی و ساخت سیستم‌های الکترونیک قدرت چالش‌های خاص خود را دارند و پیش از طراحی یک چنین سیستمی نیاز به دانش کافی در حوزه‌های ۱- تحلیل مدار، ۲- پایدارسازی سیستم و ۳- پیاده‌سازی می‌باشد. اگر بخواهیم این موضوع را بهتر تبیین کنیم به نوعی به انگیزه‌ی نگارندگان این کتاب برای تألیف کتاب ”روش‌های کنترلی در سیستم‌های الکترونیک قدرت“ پی خواهیم برد. اجازه دهید ابتدا زیرشاخه‌های الکترونیک قدرت را بررسی کنیم.

الکترونیک قدرت به طور کلی شامل ۳ شاخه‌ی اصلی است که هر یک از آن‌ها خود به زیرشاخه‌های دیگری تقسیم می‌شوند. سه شاخه‌ی اصلی الکترونیک قدرت به شرح زیر هستند:

- شناخت ادوات نیمه‌هادی و مغناطیسی به همراه تحلیل‌های مداری (بخش الکترونیک)
- پایدارسازی سیستم‌های الکترونیک قدرت به کمک روش‌های کنترلی و طراحی‌های فیدبک‌دار (بخش کنترل)
- کاربردهای حوزه‌ی قدرت اعم از طراحی منابع تغذیه‌ی صنعتی، مبدل‌های موجود در شبکه‌ی قدرت و مواردی نظیر درایور و کنترل ماشین‌های الکتریکی (بخش قدرت)

هر سه شاخه‌ی فوق شامل مباحث تئوری و عملی می‌باشد و زمینه‌های تحقیقاتی مناسبی در آن‌ها وجود دارد. اما آن چه بیش از هر چیز دیگری نیاز صنعت می‌باشد، دستیابی به یک سیستم پربازده، کم تلفات و پایدار است. بنابراین غور در فیزیک نیمه‌هادی و تکنولوژی‌های ساخت یا تحلیل‌های صرفاً ریاضی برای طراحی کنترل‌کننده و یا مدل‌سازی بسیار دقیق یک موتور الکتریکی، اگرچه زمینه‌های مناسبی برای پژوهش‌های دانشگاهی و نیاز آینده‌ی کشور می‌باشد، اما در شرایط فعلی و وضعیت موجود نیازهای فعلی صنایع را مرتفع نمی‌سازد. آن چه ما در شرایط فعلی بدان نیاز داریم، به این شرح است:

۱- شناخت سوئیچ‌های قدرت پر کاربرد و تکنیک‌های راه‌اندازی (درایو) آنها، تحلیل‌های مداری به منظور دستیابی به مدل‌های ساده اما کاربردی مدارهای مبدل‌های سوئیچینگ

۲- توانایی طراحی کنترل‌کننده‌های خطی PID برای پایدار سازی سیستم (بر اساس مدل ساده‌ی ریاضی استخراج شده از تحلیل‌های مداری) و استفاده از فیدبک‌های ولتاژی و جریانی برای تنظیم خروجی‌های سیستم

۳- دیجیتال سازی کنترل کننده ی طراحی شده در نرم افزار و پیاده سازی آن بر روی سخت افزارهای طراحی شده به کمک DSC های که در اصل نسل نوین میکروکنترلرها می باشند و بهتر است آنها را کنترل کننده های سیگنال دیجیتال بدانیم. برای فردی که در صنعت کشور فعال می باشد، این سه مرحله ضروری و تحلیل های بیشتر از آن کار پژوهش گران و دانشگاهیان است. شاید در دانشگاه در شاخه ی کنترل، ده ها و صدها تکنیک کنترلی پیشرفته برای انواع پدیده های و کاربردها، مبتنی بر دانش غنی ریاضی، مورد مطالعه قرار گیرد؛ لیکن زمانی که صنعت کشور ما تشنه ی مهارت طراحی کنترل کننده های خطی از نوع PID برای رفع نیازهای خود می باشد، برخی از افراد مانند ما و شما باید برای افزایش تخصص و مهارت خود در این زمینه هایی که شاید ساده و پیش پا افتاده فرض شود، پیش قدم شویم. افرادی که در صنعت دارای تجربه در زمینه ی طراحی و ساخت منابع تغذیه و درایورهای انواع موتور می باشند، قطعاً به حداقلی از دانش کنترل و پایداری سازی سیستم هایی که طراحی می کنند، نیاز دارند. از سوی دیگر بدون تحلیل های مداری اعم از تحلیل های حالت گذرا و حالت مانا و موارد مرتبط با راه اندازی سوئیچ های قدرت، نمی توان مدل مداری ساده ای در دست داشت که به کمک آن به طراحی جبران ساز و کنترل کننده ی PID به پردازیم. دست آخر تمام این موارد باید در عمل پیاده شود؛ بنابراین باید به دیجیتال سازی کنترل کننده ای که طراحی کرده ایم، بپردازیم تا برنامه ی آن مناسب پروگرام شدن روی میکروکنترلرها یا DSC ها باشد. در جلد اول از کتاب ”روش های کنترلی در سیستم های الکترونیک قدرت“ که اکنون در دست دارید، به تحلیل های مداری پرداخته ایم و تمام نکات لازم برای طراحی یک مبدل سوئیچینگ را در خلال فصل های این جلد از کتاب طرح کرده ایم. هر جا که به شبیه سازی نیاز شده است به سراغ نرم افزار قدرتمند LTSpice رفته ایم. این نرم افزار و سورس تمام برنامه های مربوط به این کتاب را می توانید از بخش ”کتاب ها“ در سایت www.INeee.ir دانلود کنید.

در جلد دوم از کتاب ”روش های کنترلی در سیستم های الکترونیک قدرت“ که هم اکنون در دست تألیف است و پس از چاپ جلد اول، چاپ و منتشر می گردد، بر روی بحث های طراحی جبران سازها و کنترل کننده های و روش های تنظیم پارامترهای خروجی مبدل های به کمک تکنیک های فیدبک دار، تأکید شده است. در جلد دوم نیز تحلیل های مورد نیاز در حوزه ی زمان و فرکانس، نمودار بُد، نمودار نایکوئیست، تحلیل های قطب و صفر، طراحی کنترل کننده های خطی PID، پیش فاز و پس فاز بر روی مدل های مداری استخراج شده از مبدل های سوئیچینگ، همگی بر اساس نرم افزار قدرتمند LabVIEW طرح گردیده است تا به تعبیری یک تیر و سه نشان زده باشیم. با مطالعه ی جلد دوم، اول با اصول طراحی جبران سازها و تکنیک های تنظیم سیستم های الکترونیک قدرت بر اساس فیدبک آشنا خواهید شد، دوم مهارت برنامه نویسی خود در یک زبان برنامه نویسی صنعتی به اسم LabVIEW را در خود ارتقا خواهید داد و سوم درمی یابید که چگونه می توان از مدل های مداری که در جلد یک به آن دست یافته اید به مدل های ریاضی مورد نیاز برای طراحی کنترل کننده های خطی، برسید. این سه، نه تنها کاملاً کاربردی مطرح می گردند، بلکه شما به عنوان یک فرد متخصص در صنعت توانایی طراحی جبران سازها را به صورت گام به گام را می آموزید. لازم نیست مهندس کنترل باشید تا لزوم توانایی طراحی کنترل کننده های خطی را در پروژه های خود احساس کنید؛ بنابراین جدای از این که مهندس قدرت یا مهندس الکترونیک می باشید، جلد دوم کتاب بخش عمده ای از نیاز شما به کسب دانش و مهارت در طراحی کنترل کننده های خطی را برطرف خواهد ساخت. در مورد جلد سوم در مقدمه ی جلد دوم توضیحات مقدماتی را مطرح خواهیم نمود. این امکان وجود دارد که جلد دوم کتاب در یک بخش یا در چند بخش مجزا آماده گردد. در این ارتباط اگر ایده ای دارید، حتماً به ما انتقال دهید.

نظرات و پیشنهادات خود را از طریق ایمیل info@ineee.ir با ما در میان بگذارید و در صورت تمایل برای دریافت ده ها آموزش تخصصی در زمینه ی برنامه نویسی با برنامه ی قدرتمند LabVIEW، عضو سایت ما به نشانی www.INeee.ir و کانال تلگرامی ما به نشانی [@LabVIEW_Workshop](https://t.me/LabVIEW_Workshop) شوید تا پیش از چاپ جلد دوم با اصول و تکنیک های برنامه نویسی به این زبان آشنا گردید.