

طراحی فیلترهای مجتمع از DC تا RF

مؤلف

سید مجتبی عطاردی

نیاز دانش

www.ketab.ir

سرشناسه	: عطاردی، مجتبی، ۱۳۳۶
عنوان و نام پدیدآور	: طراحی فیلترهای مجتمع از DC تا RF / مولف سیدمجتبی عطاردی.
مشخصات نشر	: تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ۴۱۶ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-8906-02-5
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: مدارهای مجتمع -- طرح و ساختمان Integrated circuits -- Design and construction
موضوع	: مدارهای مجتمع -- طرح و ساختمان -- مسائل، تمرین‌ها و غیره. (عالی)
موضوع	: Integrated circuits -- Design and construction -- Problems, exercises, etc. (Higher)
موضوع	: مدارهای الکترونیکی -- طراحی Electronic circuit design
موضوع	: پالایه‌های برقی فعال Electric filters, Active
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۶ ط ۴ع/۶۵/TK۷۸۷۴
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱/۹۷۳۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۹۱۰۲۶۸



نام کتاب	: طراحی فیلترهای مجتمع از DC تا RF
مؤلف	: سید مجتبی عطاردی
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	: حمیدرضا احمد شیرازی - محمد شمس
ناشر	: نیاز دانش
صفحه‌آرا	: واحد تولید انتشارات نیازدانش
نوبت چاپ	: سوم - ۱۴۰۱
شمارگان	: ۵۰ نسخه
قیمت	: ۱۸۰۰۰۰۰ ریال

ISBN:978-600-8906-02-5

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۹۰۶-۰۲-۵

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.

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: ۰۹۱۲-۲۱۰۶۷۰۹

پیشگفتار

کتاب پیش‌رو حاصل حدود ۱۰ سال تدریس درس "طراحی فیلترهای مجتمع" در دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف است. با توجه به آن‌که این درس برای دوره‌های تحصیلات تکمیلی کارشناسی ارشد و دکتری تدریس می‌شود، مطالب آن دستخوش تغییرات سالانه بوده است. در نهایت، آنچه در کتاب آمده تقریباً سه سال است بدون تغییر تدریس می‌شود و مطالب آن برای یک نیم سال آموزشی ۱۴ تا ۱۶ هفته‌ای مناسب است. فصل اول کتاب شامل کلیات و مقدمات فیلتر و ستر مدار است که عموماً در دوره کارشناسی به عنوان درس فیلتر و ستر مدار ارائه می‌گردد. این خلاصه، یادآوری مناسبی برای دانشجویان بوده و پیش نیاز لازم را برای درک فصل‌های بعدی فراهم می‌نماید. در فصل دوم به فیلترهای فعال مقاومتی - خازنی مجتمع (Active-RC) پرداخته شده است. اگرچه این بخش یکی از مباحث مورد آموزش در درس فیلتر و ستر مدار است؛ ولی با رویکرد فیلترهای مجتمع و در نظر گرفتن ویژگی‌های مجتمع‌سازی نظیر امور غیر ایده‌آل قطعات و عوامل پارازیتی ناشی از مجتمع‌سازی نبوده است. در این فصل، تمامی عوامل غیر ایده‌آل در تقویت کننده عملیاتی و در مقاومت و خازن مورد بررسی قرار گرفته و ملاحظات لازم در این زمینه در طراحی و ساخت تبیین شده است؛ همچنین به معرفی فیلترهای فعال مختلط نیز پرداخته شده است. در فصل سوم، فیلترهای فعال کلید-خازنی (Switched-Capacitor) و خواص و برتری‌های آن مورد بحث قرار گرفته و بطور کلی تکنیک‌های کلید خازنی جهت طراحی مدارهای سیگنال-مختلط (Mixed-Signal) ارائه شده است؛ همچنین فیلترهای تمام تفاضلی (Fully Differential) نیز معرفی شده و مزیت‌های آن‌ها نسبت به مدارهای تک ورودی-تک خروجی (Single-ended) بیان شده است. تمامی عوامل غیرایده‌آل نیز، مورد بحث و تحلیل قرار گرفته و روش‌های خنثی کردن و یا کاهش آن‌ها جهت بهینه‌سازی طراحی بیان شده است. در فصل چهارم، مدارها و فیلترهای چندمسیره، که ترکیبی از فیلتر زمان پیوسته (مثل RC) و فیلتر زمان گسسته یا کلید-خازنی (Sampled-data) می‌باشد، مورد بحث مفصل قرار گرفته و تمامی مبانی تحلیل و طراحی این نوع جدید از فیلترهای آنالوگ مورد بحث قرار گرفته است؛ همچنین اثرات مخرب و غیرایده‌آل ذاتی این نوع ساختار فیلتری مورد مطالعه قرار گرفته و روابط و مدل‌های ریاضی لازم در این زمینه تبیین شده است. به علاوه استفاده از ساختار مدارهای چندمسیره به عنوان یک تکنیک برای طراحی مدارهای آنالوگ و بلوک‌های مختلف مداری خصوصاً در حوزه‌های فرکانس بالا و فرکانس رادیویی تبیین شده است. در فصل پنجم، فیلترهای فعال ترانس‌انسازن به عنوان ساختاری

از فیلترهای آنالوگ مانند تغییردهنده فاز و یا تأخیر برای فراکانس‌های بالا و قابل تنظیم بطور میسوط مورد بحث قرار گرفته و مثال‌های زیاد طراحی علاوه بر فیلتر در استفاده از این ساختار آورده شده است. علاوه بر طراحی فیلتر با ساختار ترا رسانا-خازن، طراحی ترا رساناهای خطی و نیز با سرعت بالا و تکنیک‌های مختلف طراحی همراه با مثال‌های گوناگون توضیح داده شده است. تمامی عوامل غیرایده‌آل نظیر نویز، خطسانی، عوامل مخرب ناشی از قطب‌های غیرمطلوب و راه‌های اصلاح آن‌ها نیز توضیح داده شده است. در فصل ششم، تنظیم خودکار فرکانس و ضریب کیفیت‌ها فیلترهای مجتمع تشریح شده و مدار کامل یک فیلتر مجتمع همراه با تنظیم فرکانس و ضریب کیفیت نشان داده شده و روش‌های مختلف تنظیم خودکار و دستی مورد بحث قرار گرفته است.

به عنوان مطالب کمک درسی در انتهای کلیه فصل‌ها، مسائل گوناگون آورده شده است که اساتید و اعضاء محترم هیئت علمی که از این کتاب به عنوان مرجع استفاده می‌کنند می‌توانند جزوه حل مسائل را از طریق ارسال ایمیل به مؤلف تهیه نمایند. به‌علاوه مراجع مورد استفاده قرار گرفته شده در انتهای هر فصل آورده شده است. همچنین اسلایدهای درس به زبان انگلیسی موجود است که اساتید محترم می‌توانند از طریق پست الکترونیک زیر آن را دریافت نمایند.

لازم می‌دانم از دانشجویان و اساتید محترمی که با اصلاحات خود در بازبینی‌های متعدد کتاب زحمت کشیدند قدردانی نمایم. به خصوص سرکار محترم زینب فاضل و آقای سیاوش کنعانیان که زحمت زیادی در تهیه، ویراستاری و چاپ کتاب کشیدند مستحق تشکر و تهنیت هستند. همچنین از دانشجویان کارشناسی دانشگاه شریف، آقایان محمدعادل و محمد عارف رحمان، حمیدرضا نقیب، امیرحسین افشارراد و حسین مقدس برای ویرایش و اصلاح شکل‌های کتاب تشکر می‌نمایم.

از اساتید بزرگوار، دانشجویان و مهندسانی که به هر نحوی کتاب را مورد بهره‌برداری قرار می‌دهند خواهشمندم نظرات و رهنمودهای سازنده خود را به آدرس الکترونیک زیر ارسال فرمایند تا در چاپ‌های بعدی کتاب مورد ملاحظه قرار گیرد.

با تشکر

سید مجتبی عطاردی

مردادماه ۱۳۹۶

atarodi@sharif.edu

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۱۱	فصل ۱ مبانی فیلترهای آنالوگ
۱۲	۱-۱ انواع فیلتر
۱۳	۱-۱-۱ مشخصه اندازه فیلترها
۱۵	۱-۱-۲ مشخصه فاز یا تاخیر فیلتر
۱۸	۲-۱ روش‌های تقریب پاسخ فیلترها
۱۸	۱-۲-۱ تقریب اندازه فیلتر پایین‌گذر
۲۲	۱-۲-۱-۱ تقریب باتروورت برای فیلترهای پایین‌گذر با اندازه تا حد ممکن تحت (MFM)
۲۷	۱-۲-۱-۲ تقریب چبی شف برای فیلترهای پایین‌گذر تمام‌قطب با تموج یکنواخت
۳۱	۱-۲-۱-۳ تقریب فیلترهای پایین‌گذر بیضوی
۳۵	۱-۲-۱-۴ تقریب تاخیر یا فاز: فیلتر پایین‌گذر بسل (باسون)
۳۸	۳-۱ تحلیل و سنتز مدارهای غیرفعال LC دو دهانه‌ای
۴۰	۱-۳-۱ ویژگی‌های تابع تبدیل فیلتر غیرفعال LC
۴۲	۲-۳-۱ ویژگی‌های مدارهای LC نردبانی
۴۳	۱-۲-۳-۱ سنتز مدارهای LC به روش طبقات دارلینگتون
۴۶	۲-۲-۳-۱ سنتز مدارهای LC به روش حذف متوالی قطبها
۵۰	۳-۳-۱ روش دارلینگتون جهت سنتز مدارهای RLC
۵۲	۴-۳-۱ مدار فیلترها
۵۴	۱-۴-۳-۱ مدار فیلتر باتروورت
۵۶	۲-۴-۳-۱ مدار فیلتر چبی شف
۵۷	۳-۴-۳-۱ مدار فیلتر چبی شف معکوس
۵۸	۴-۴-۳-۱ مدار فیلتر کانر (بیضوی)
۵۹	۴-۱ تبدیلات فرکانسی
۶۰	۱-۴-۱ تبدیل فیلتر پایین‌گذر به بالاگذر

۶۳	۲-۴-۱ تبدیل فیلتر پایین گذر به میان گذر
۶۶	۳-۴-۱ تبدیل فیلتر پایین گذر به میان گذر
۶۹	۵-۱ حساسیت
۷۱	۶-۱ مقدمه‌ای بر فیلترهای فعال
۷۲	۱-۶-۱ تقویت کننده عملیاتی ایده آل
۷۲	۲-۶-۱ تقویت کننده عملیاتی واقعی
۷۵	۳-۶-۱ تقویت کننده‌های ترانسانای عملیاتی
۷۸	۷-۱ فیلترهای مجتمع

فصل ۲ فیلترهای فعال مقاومتی - خازنی ۹۵

۹۶	۱-۲ ساخت اجزای غیر فعال با تقویت کننده
۹۸	۱-۱-۲ جمع کننده ها
۱۰۰	۲-۱-۲ انتگرال گیر وارون ساز
۱۰۲	۳-۱-۲ انتگرال گیر غیر وارون ساز
۱۰۳	۴-۱-۲ زیراتور و مبدل امپدانس
۱۱۰	۲-۲ طبقات فعال مرتبه دو
۱۱۳	۱-۲-۲ فیلتر Sallen و Key
۱۱۶	۲-۲-۲ فیلترهای دومجدوری بر مبنای انتگرال گیر
۱۱۹	۳-۲ فیلترهای مرتبه بالاتر
۱۲۱	۱-۳-۲ تحقق فیلترهای با اتصال زنجیرهای
۱۲۲	۲-۳-۲ جفت کردن صفرها و قطب ها
۱۲۴	۳-۳-۲ ترتیب طبقات
۱۲۶	۴-۳-۲ تخصیص بهره
۱۳۰	۴-۲ فیلترهای نردبانی بر مبنای انتگرال گیر
۱۳۱	۱-۴-۲ منحنی گذر سیگنال (SFG)
۱۳۶	۵-۲ پیاده سازی تفاضلی
۱۴۰	۶-۲ بهینه سازی محدوده پویا
۱۴۳	۷-۲ اثرات غیر ایده آل
۱۴۳	۱-۷-۲ نویز
۱۴۴	۲-۷-۲ محدودیت های ناشی از آپ امپ

۱۴۴	۳-۷-۲ عوامل ناشی از عدم دقت در فرآیند ساخت بر مقادیر خازن و مقاومت
۱۴۶	۸-۲ نگاهی به فیلترهای فعال مختلط
۱۴۹	۱-۸-۲ انتگرال گیر مختلط

۱۶۳ فصل ۳ فیلترهای کلید خازنی

۱۶۴	۱-۳ نمونه برداری
۱۶۶	۲-۳ تحلیل در حوزه Z
۱۶۸	۳-۳ اساس عملکرد فیلترهای کلید خازنی
۱۶۹	۱-۳-۳ شرایط تقریب SC-R
۱۷۰	۲-۳-۳ تحقق اجزای تشکیل دهنده مدارهای کلید خازنی
۱۷۳	۳-۳-۳ ساعت های بدون هم پوشانی
۱۷۳	۴-۳-۳ تقویت کننده عملیاتی
۱۷۴	۴-۳ عوامل غیر ایده آل در فیلترهای کلید خازنی
۱۷۴	۱-۴-۳ ابزارهای تحلیل در مدارهای کلید خازنی
۱۷۴	۱-۴-۳ انتگرال گیر گسسته در حوزه
۱۷۷	۲-۴-۳ تحلیل مدارهای کلید خازنی با استفاده از روابط بار خازن ها
۱۷۹	۵-۳ تقریب LDI و DDI در انتگرال گیر و تفاوت آن ها
۱۷۹	۶-۳ عوامل غیر ایده آل در فیلترهای کلید خازنی
۱۸۰	۱-۶-۳ اثر عناصر پارازیتیکی
۱۸۷	۲-۶-۳ اثر تقویت کننده عملیاتی غیر ایده آل
۱۸۷	۱-۲-۶-۳ بهره dc محدود
۱۸۹	۲-۲-۶-۳ بهای باند محدود
۱۸۹	۳-۲-۶-۳ نرخ گردش محدود
۱۹۰	۴-۲-۶-۳ مقاومت خروجی غیر صفر
۱۹۰	۳-۶-۳ مقاومت غیر صفر کلیدها در حالت روشن
۱۹۰	۴-۶-۳ تزریق بار و نشت ساعت
۱۹۳	۵-۶-۳ نویز
۱۹۴	۶-۶-۳ عوامل غیر ایده آلی ذاتی در فیلتر
۲۰۰	۷-۳ پیاده سازی فیلترهای کلید خازنی
۲۰۰	۱-۷-۳ منحنی گذر سیگنال

۲۰۱	۱-۷-۳-۱ انواع شکل موج‌های نمونه‌برداری شده
۲۰۳	۲-۷-۳-۱ روابط میان توابع تبدیل شبکه‌های کلید خازنی
۲۰۴	۳-۷-۳-۱ مدل‌های مداری معادل برای بلوک‌های کلید خازنی
۲۰۶	۲-۷-۳ پیاده‌سازی بر مبنای اتصال سری فیلترهای مرتبه پایین
۲۰۶	۱-۲-۷-۳ فیلترهای مرتبه اول
۲۰۸	۲-۲-۷-۳ فیلترهای مرتبه دو یا دو مجذوری
۲۱۱	۳-۲-۷-۳ پیاده‌سازی مستقیم فیلترهای کلید خازنی مرتبه بالا
۲۱۷	۸-۳ فیلترهای تمام تفاضلی
۲۱۹	۹-۳ فیلترهای کلید-خازنی با مساحت کم

فصل ۴ فیلترهای چند مسیره ۲۲۷

۲۲۸	۱-۴ ساختار سیستمی فیلترهای چند مسیره
۲۳۷	۲-۴ دیدگاه مداری فیلترهای چند مسیره
۲۴۱	۱-۲-۴ آشنایی شهودی با عملکرد فیلترهای چند مسیره
۲۴۴	۲-۲-۴ پیاده‌سازی یک فیلتر چند مسیره خازن - مقاومتی دیفرانسیلی
۲۴۴	۳-۲-۴ خاصیت انتقال امپدانس در فیلترهای چند مسیره
۲۵۰	۴-۲-۴ پیاده‌سازی دیفرانسیلی فیلتر M-مسیره با ضریب کیفیت بالا
۲۵۱	۵-۲-۴ کاربرد فیلترهای چند مسیره به جای فیلتر SAW روی تراشه
۲۵۵	۳-۴ اثرات مرتبه‌ی دوم
۲۵۶	۱-۳-۴ نویز فاز LO
۲۵۶	۲-۳-۴ نویز حرارتی سوئیچ‌ها
۲۵۹	۳-۳-۴ خازن‌های پارازیتی سوئیچ‌ها
۲۵۹	۴-۳-۴ تزریق بار سوئیچ‌ها
۲۶۰	۵-۳-۴ عدم تطابق‌ها
۲۶۱	۴-۴ پیاده‌سازی فیلترهای چند مسیره توسط امپدانس مختلط
۲۶۲	۱-۴-۴ انتقال فرکانسی امپدانس مختلط
۲۶۵	۵-۴ تحلیل حوزه زمان فیلترهای چند مسیره
۲۷۱	۶-۴ تضعیف سیگنال‌های تاخوردگی
۲۷۲	۱-۶-۴ اثرات غیر ایده‌آل در حذف تاخوردگی
۲۷۲	۱-۱-۶-۴ چرخه‌ی کار CLK