

۱۵۳۸۲۹۰

طراحی فیلترهای مجتمع از DC تا RF

مؤلف

دکتر مجتبی عطار دی

نیاز دانش

سرشناسه	عطاردی، مجتبی، ۱۳۳۶
عنوان و نام پدیدآور	طراحی فیلترهای مجتمع از RF تا DC / مولف سیدمجتبی عطاردی.
مشخصات نشر	تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	۴۱۶ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۸۹۰۶-۰۲-۵
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	Integrated circuits -- Design and construction مدارهای مجتمع - طرح و ساختمان
موضوع	مدارهای مجتمع - طرح و ساختمان - مسائل، تمرین‌ها و غیره. (عالی)
	Integrated circuits -- Design and construction -- Problems, exercises, etc. (Higher)
موضوع	Electronic circuit design مدارهای الکترونیکی - طراحی
موضوع	Electric filters, Active پالایه‌های برقی فعال
رده‌بندی - خره	TK۷۸۷۲/۶۵/ع ۱۳۹۶
رده‌بندی دیس	۶۲۱/۹۷۳۲
شماره کتابشناسی ملی	۴۹۱۰۲۶۱



نام کتاب	طراحی فیلترهای مجتمع از RF تا DC
مؤلف	سید مجتبی عطاردی
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	حمیدرضا محمد شیرازی - محمد...
ناشر	نیاز دانش
صفحه آرا	واحد تولید انتشارات نیاز دانش
نوبت چاپ	اول - ۱۳۹۶
شمارگان	۲۰۰ نسخه
قیمت	۳۰۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-8906-02-5

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۹۰۶-۰۲-۵

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراسر، 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: 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 مریانه 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 با عنوان درس فیلتر و ستر مدار ارائه می‌گردد. این خلاصه، یادآوری مناسبی برای دانشجویان بوده و پیش‌نیاز لازم را برای درک فصل‌های بعدی فراهم می‌نماید. در فصل دوم به فیلترهای فعال مقاومتی، از جمله 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 سوراخ‌های ایده‌آل قطعات و عوامل پارازیتی ناشی از مجتمع‌سازی نبوده است. در این فصل، تمامی عوامل غیر ایده‌آل در تقویت‌کننده 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 کلیدخازنی جهت طراحی مدارهای سیگنال-مختلط (Mixed-Signal) ارائه شده است؛ همچنین فیلترهای تمام تفاضلی (Fully Differential) نیز معرفی شده و مزایای آن‌ها نسبت به مدارهای تک ورودی-تک خروجی (Single-ended) بیان شده است. تمامی این مباحث 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 کلیدخازنی (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 ترانس-سازخازن به عنوان ساختاری

از فیلترهای آنالوگ مانند تغییر دهنده فاز و یا تأخیر برای فراکانس‌های بالا و قابل تنظیم بطور مبسوط 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 اعضای 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. به علاوه مراجع مورد استفاده قرار گرفته شده در انتهای هر فصل آورده شده است. چنین اسلایدهای درس به زبان انگلیسی موجود است که اساتید محترم می‌توانند از طریق پست الکترونیک بر آن را دریافت نمایند.

لازم می‌دانم از دانشجویان و محترمان که با اصلاحات خود در بازبینی‌های متعدد کتاب زحمت کشیدند قدردانی نمایم. به خصوص سید رحیم زدا فاضل و آقای سیاوش کنعانیان که زحمت زیادی در تهیه، ویراستاری و چاپ کتاب کشیدند. محقق ستایش ویژه هستند. همچنین از دانشجویان کارشناسی دانشگاه شریف، آقایان محمدعادل و محمد عارف رحیمیان، حمیدرضا نقیب، امیرحسین افشارراد و حسین مقدس برای ویرایش و اصلاح کتاب و 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 دینامیک
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	۱-۲-۲ تقریب باترورث برای فیلترهای پایین‌گذر با اندازه تا حد ممکن تخت (MFM)
۲۷	۲-۱-۲-۱ تقریب چبی‌شف برای فیلترهای پایین‌گذر تمام‌قطب با تموج یکنواخت
۳۱	۳-۱-۲-۱ تقریب فیلترهای پایین‌گذر بیضوی
۳۵	۴-۱-۲-۱ تقریب تاخیر یا فاز: فیلتر پایین‌گذر سل-امسون
۳۸	۳-۱ تحلیل و سستز 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 سستز مدارهای LC به روش طبقات دارلینگتون
۴۶	۲-۲-۳-۱ سستز مدارهای LC به روش حذف متوالی قطبها
۵۰	۳-۳-۱ روش دارلینگتون جهت سستز مدارهای RLC
۵۲	۴-۳-۱ مدار فیلترها
۵۴	۱-۴-۳-۱ مدار فیلتر باترورث
۵۶	۲-۴-۳-۱ مدار فیلتر چبی‌شف
۵۷	۳-۴-۳-۱ مدار فیلتر چبی‌شف معکوس
۵۸	۴-۴-۳-۱ مدار فیلتر کاتر (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 نگذر
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 ۱۱: اجزای فعال مقاومتی - خازنی

۹۶	۱-۲ ساخت اجزای غیر فعال با تقویت کننده
۹۸	۱-۱-۲ جمع کننده ها
۱۰۰	۲-۱-۲ انتگرال گیر وارون باز
۱۰۲	۳-۱-۲ انتگرال گیر غیر وارون ساز
۱۰۳	۴-۱-۲ زیراتور و مبدل امیدانه
۱۱۰	۲-۲ طبقات فعال مرتبه دو
۱۱۳	۱-۲-۲ فیلتر Sallen و Key
۱۱۶	۲-۲-۲ فیلترهای دومجذوری 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 متحنی 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 آب 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 انتگرال‌گیر 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 تریب SC-R
۱۷۰	۲-۳-۳ تحقق اجزای فیلتر دهه مدارهای کلید خازنی
۱۷۳	۳-۳-۳ ساعت‌های بدون پوشانی
۱۷۳	۴-۳-۳ تقویت‌کننده عملیات
۱۷۴	۴-۳ عوامل غیرایده‌آل در فیلترهای کلید خازنی
۱۷۴	۱-۴-۳ ابزارهای تحلیل در مدارهای کلید خازن
۱۷۴	۱-۴-۳ انتگرال‌گیر گسسته در حوزه فرکانس
۱۷۷	۲-۱-۴-۳ تحلیل مدارهای کلید خازنی با استفاده از روابط بار خازن‌ها
۱۷۹	۵-۳ تقریب LDI و DDI در انتگرال‌گیر و تفاوت آن‌ها
۱۷۹	۶-۳ عوامل غیر ایده‌آل در فیلترهای کلید خازنی
۱۸۰	۱-۶-۳ اثر عناصر پارازیتیکی
۱۸۷	۲-۶-۳ اثر تقویت‌کننده عملیاتی غیرایده‌آل
۱۸۷	۱-۲-۶-۳ بهره dc محدود
۱۸۹	۲-۲-۶-۳ پهنای 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 نشست ساعت
۱۹۳	۵-۶-۳ نویز
۱۹۴	۶-۶-۳ عوامل غیر ایده‌آلی ذاتی در فیلتر
۲۰۰	۷-۳ پیاده‌سازی فیلترهای کلید خازنی
۲۰۰	۱-۷-۳ منحنی گذر سیگنال

۲۰۱	۱-۷-۳ انواع شکل موج‌های نمونه‌برداری شده
۲۰۳	۲-۱-۷-۳ روابط میان توابع تبدیل شبکه‌های کلید خازنی
۲۰۴	۳-۱-۷-۳ 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 تقاضلی
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 عملیات ردیف‌های چند مسیره
۲۴۴	۲-۲-۴ پیاده‌سازی یک فیلتر چند مسیره بازن - 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 S. V. روی تراشه
۲۵۵	۳-۴ اثرات مرتبه‌ی دوم
۲۵۶	۱-۳-۴ نویز فاز LO
۲۵۶	۲-۳-۴ نویز حرارتی سونیچ‌ها
۲۵۹	۳-۳-۴ خازن‌های پارازیتی سونیچ‌ها
۲۵۹	۴-۳-۴ تزریق بار سونیچ‌ها
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

۲۷۳	۴-۶-۱-۲ خطای بهره
۲۷۴	۴-۶-۱-۳ بررسی اثر تسهیم بار در حذف تاخوردگی
۲۷۶	۴-۷ طراحی تقویت کننده کم نویز
۲۷۶	۴-۷-۱ تاثیر نویز
۲۷۸	۴-۷-۲ اثرات غیرخطی
۲۸۰	۴-۷-۳ طراحی و شبیه سازی تقویت کننده ی فرکانس بالا قابل تنظیم با ضریب کیفیت بالا
۲۸۴	۴-۸ نگاهی به مدارهای جدید در حوزه فیلترهای چند مسیره

فصل ۵ فیلترهای خان-تراسانا ۲۹۹

۳۰۱	۵-۱ تراسانا و انتگرال گیر برای سیگنال
۳۰۷	۵-۲ طراحی فیلترهای
۳۰۷	۵-۲-۱ طراحی بر اساس روش بایگینی
۳۱۴	۵-۲-۲ طراحی بر اساس روش خنثی در سیگنال (SFG)
۳۲۴	۵-۲-۲-۱ پیاده سازی صفر انتقال با استفاده از روش SFG
۳۳۰	۵-۲-۳ طراحی بر اساس روش اتصال زنجیری
۳۳۴	۵-۳ فیلترهای gm-C دومجذوری عمومی
۳۳۶	۵-۴ عوامل غیرایده آل در سلول های تراسانا [۸]
۳۳۷	۵-۵ طراحی برای حداکثر محدوده پویایی
۳۴۰	۵-۶ ساختارهای تراسانا
۳۴۲	۵-۶-۱ تراسانا های بر مبنای ترانزیستور اشباع
۳۴۲	۵-۶-۱-۱ خطی سازی بر مبنای ثابت نگه داشتن مجموع ولتاژهای بیت و سورس
۳۴۵	۵-۶-۱-۲ استفاده از ساختار وارون ساز
۳۵۰	۵-۶-۲ طراحی تراسانا های بر مبنای ترانزیستور تراپود
۳۵۰	۵-۶-۲-۱ خطی سازی با ثابت نگه داشتن ولتاژ درین سورس
۳۵۲	۵-۶-۲-۲ خطی سازی با مقاومت در سورس
۳۵۵	۵-۶-۲-۳ خطی سازی با تقسیم ولتاژ ورودی
۳۵۶	۵-۶-۲-۴ استفاده از تقویت کننده پسخور
۳۵۹	۵-۶-۲-۵ ثابت نگهداشتن جریان ترانزیستور ورودی
۳۵۹	۵-۶-۲-۶ طراحی تراسانا ی خطی فرکانس بالا
۳۶۲	۵-۶-۳ طراحی تراسانا ی ولتاژ پایین

۳۶۶..... ۵-۶-۴ ساده ترین مدار ترانسانا

فصل ۶ تنظیم خودکار فرکانس و ضریب کیفیت ۳۸۵

۳۸۶..... ۱-۶ کلیت سیستم کنترل کننده عملکرد فیلتر

۳۸۷..... ۲-۶ روش های کنترل فرکانس

۳۸۷..... ۶-۲-۱ روش های تولید سیگنال کنترل

۳۸۷..... ۶-۲-۱-۱ استفاده از نوسان کننده کنترل شونده با ولتاژ (VCO)

۳۸۹..... ۶-۲-۲ استفاده از فیلتر کنترل شونده با ولتاژ (VCF)

۳۹۲..... ۶-۲-۳ استفاده از مقاومت مرجع

۳۹۴..... ۶-۲-۴ استفاده از مقاومت مرجع با منابع جریان نامساوی

۳۹۴..... ۶-۲-۵ استفاده از جریان مرجع

۳۹۶..... ۶-۲-۶ روش مبتنی بر بهره واحد انتگرال گیر

۳۹۶..... ۶-۲-۷ روش اعمال سیگنال کنترل

۳۹۷..... ۶-۳ روش های کنترل Q

۳۹۷..... ۶-۳-۱ روش های تولید سیگنال کنترل

۳۹۷..... ۶-۳-۱-۱ استفاده از خطای دام

۳۹۸..... ۶-۳-۲ استفاده از خطای زمان نسبت (f_s)

۴۰۰..... ۶-۳-۳ استفاده از خطای فاز

۴۰۰..... ۶-۳-۴ روش های اعمال سیگنال کنترل

۴۰۰..... ۶-۳-۵ اعمال سیگنال کنترل به ترانسانای تعیین کننده

۴۰۱..... ۶-۳-۶ استفاده از صفر و قطب قابل تنظیم

۴۰۲..... ۶-۴ مطالعه موردی: بررسی یک مدار تنظیم فرکانس و Q [۱] و [۷-۱]

۴۰۳..... ۶-۴-۱ بررسی تاثیر جابه جایی فاز عناصر ترانسانا بر روی Q یک سیستم درجه دو

۴۰۴..... ۶-۴-۲ بررسی نظریه خشی نمودن جابه جایی فاز توسط مقاومت خروجی ترانسانا

۴۰۸..... ۶-۴-۳ تحقق مقاومت متغیر

۴۱۰..... ۶-۴-۴ سیستم نهایی تنظیم فرکانس و ضریب کیفیت

۴۱۰..... ۵-۶ روش تنظیم تطبیقی ضریب کیفیت [۱۰]