



طراحی حلقه های قفل فاز CMOS

از سطح مدار تا سطح معماری

جلد اول

(فصل ۱ تا ۷)

تألیف:

دکتر بهزاد رضوی

(استاد دانشگاه کالیفرنیا UCLA)

مترجمان:

مصطفی یارقلی

(دانشیار گروه برق دانشگاه زنجان)

محمد محمدی

(دانشجوی کارشناسی ارشد گروه برق دانشگاه زنجان)

سرشناسه : بهزاد رضوی .
عنوان و نام پدیدآور : طراحی حلقه های قفل فاز CMOS. از سطح مدار تا سطح معماری
نویسنده : بهزاد رضوی - مترجمان مصطفی یارقلی، محمد محمدی

مشخصات نشر : زنجان: دانشگاه زنجان، انتشارات، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری : ۹۳۰ص: مصور، نمودار
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۶۹۳۳-۲۶-۱

وضعیت فهرست نویسی : فیبا
یادداشت :
موضوع :
موضوع :
موضوع :
شناسه افزوده :
شناسه افزوده :
شناسه افزوده :
شناسه افزوده :
رده بندی کنگره :
رده بندی دیویی :
شماره کتابشناسی ملی :
وضعیت رکورد : فیبا



طراحی حلقه های قفل فاز CMOS

از سطح مدار تا سطح معماری

مترجمان :

دکتر مصطفی یارقلی - محمد محمدی

ویراستار ادبی : دکتر محمد ابراهیم پور نمین

سال چاپ : ۱۴۰۰

نوبت چاپ: اول

قیمت : تومان

ناشر: انتشارات دانشگاه زنجان

صفحه آرای، طراحی جلد و چاپ : ماهان

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۶۹۳۳-۲۶-۱

زنجان، کیلومتر ۵ جاده تبریز، دانشگاه زنجان، حوزه معاونت پژوهشی، واحد انتشارات.

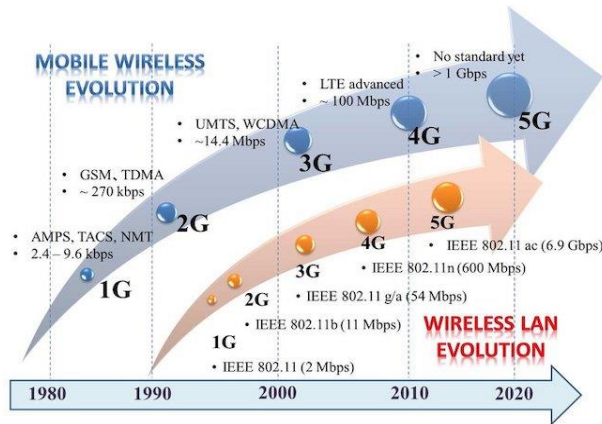
تلفن: ۰۲۴-۳۳۰۵۲۶۴۱ فاکس: ۰۲۴-۳۲۲۸۳۰۷۷

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

پیشگفتار مترجمان

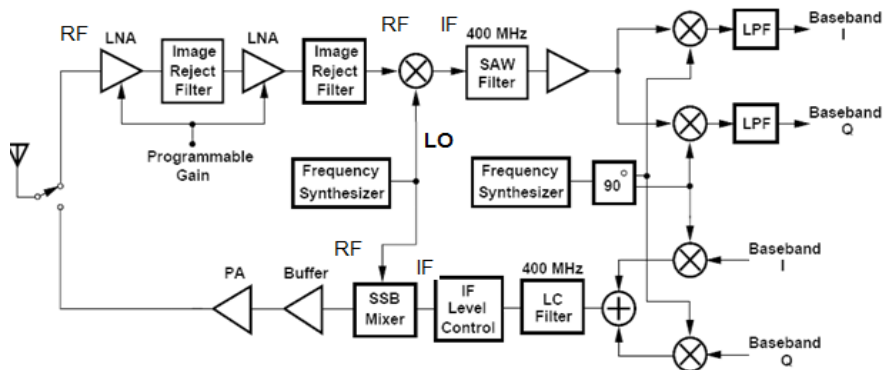
با توجه به پیشرفت روزافزون سیستم‌های مخابراتی فرکانس بالا (RF) و نیاز شدید به استفاده از این تجهیزات، بررسی سیستم‌ها و مدارهای آن‌ها از موضوعات جدید و داغ در حوزه مخابرات و الکترونیک شده‌است. از پایه‌ای‌ترین سیستم‌های رادیویی (مثل رادیو FM) تا پیشرفته‌ترین آن‌ها مثل سیستم‌های ماهواره‌ای، تلویزیون دیجیتال و نسل پنجم موبایل (5G)، از فرستنده-گیرنده‌های RF استفاده کرده‌اند. روند پیشرفت سیستم‌های مخابرات بی‌سیم طی ۲ دهه اخیر قابل ملاحظه بوده‌است. نمونه‌های نسل اول تلفن همراه مثل AMPS عمدتاً به صورت آنالوگ پیاده‌سازی شده بودند؛ نسل دوم سیستم موبایل مثل GSM، PHS، PDC و NADC به صورت دیجیتالی پیاده‌سازی شدند. در نسل‌های بالای سیستم‌های بی‌سیم مثل UMTS، Wi-Fi، WiMax، LTE و MIMO که نسل سوم موبایل (3G) تا نسل پنجم (5G) را تشکیل می‌دهند همگی از ساختار فرستنده-گیرنده‌های پایه‌ای دیجیتال، به همراه مدولاسیون‌ها و تکنیک‌های چندکاربره پیشرفته مثل ASK چندسطحی، CDMA و OFDM استفاده شده‌است.

شکل ۱ روند تحولی سیستم موبایل را نشان می‌دهد که در نسل‌های بالاتر نرخ ارسال و دریافت داده به صورت نمایی افزایش می‌یابد. توانایی انتقال نرخ بالای داده، باعث می‌شود که بتوان امکان ارسال ویدیوی زنده و امکان دریافت سیگنال‌های تلویزیون دیجیتال و سیگنال‌های ماهواره‌ای را در سیستم تلفن همراه داشته باشیم.



شکل (۱) روند تحولی سیستم موبایل و LAN

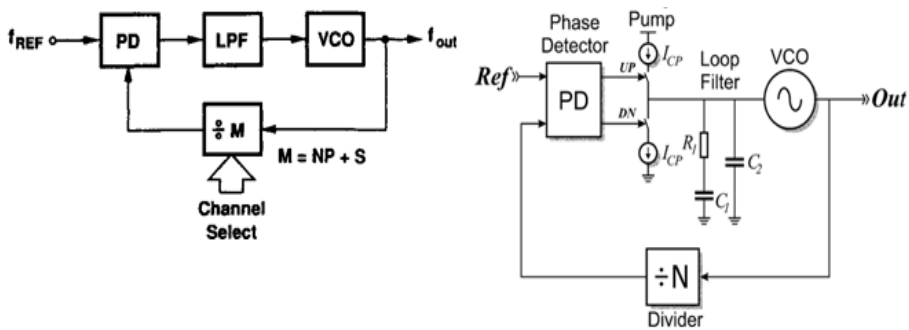
در شکل ۲ نمونه‌ای از یک سیستم فرستنده-گیرنده RF که در سیستم GSM شرکت فلیپس استفاده شده‌است، نشان داده شده‌است. در سیستم فرستنده بعد از انجام پردازش‌های لازم بر روی سیگنال صحبت، مدولاسیون I-Q بر روی آن انجام شده و سیگنال IF بعد از فیلترینگ به پورت ورودی میکسر وارد می‌شود. سیگنال IF قبل از ارسال باید توسط سیگنال اسیلاتور محلی (LO) و به کمک میکسر به فرکانس RF منتقل شود و بعد از تقویت توان توسط PA و عبور از داپلکسر، توسط آنتن ارسال می‌شود.



شکل (۲) یک نمونه از فرستنده-گیرنده GSM فلیپس

در گیرنده نیز سیگنال رسیده به آنتن بعد از داپلکسر و عبور از تقویت‌کننده کم‌نویز (LNA) و فیلترهای خاص (به‌منظور حذف سیگنال تصویر)، به میکسر وارد می‌شود تا توسط سیگنال LO به فرکانس میانی IF منتقل شود. بعد از رسیدن سیگنال به حوزه IF، دمدولاسیون و سپس کارهای پردازشی مثل دکدینگ کانال و منبع و... انجام می‌شود. همان‌گونه که در این شماتیک نوعی نشان داده شده‌است، تولید سیگنال LO در فرستنده و گیرنده به‌منظور انتقال سیگنال IF به RF در فرستنده و انتقال سیگنال RF به IF در گیرنده جزء لاینفک یک فرستنده-گیرنده رادیویی است.

برای تولید سیگنال LO نیاز به یک سنتزکننده فرکانسی (سنتی‌سایزر) است که توسط این سنتی‌سایزر می‌توان ضرایبی از یک سیگنال مرجع را که توسط یک اسیلاتور ایجاد شده‌است، تولید کرد. سنتی‌سایزرها عمدتاً توسط حلقه قفل فاز (PLL) طراحی می‌شوند. علاوه بر PLL می‌توان از حلقه قفل فرکانسی (FLL)، حلقه قفل تأخیر (DLL) و سنتز دیجیتال (DLL) در سنتی‌سایزر استفاده کرد.



شکل ۳) یک نمونه PLL عمومی

در شکل ۳ نمونه‌ای از سنتی‌سایزر که شامل آشکارساز فاز (PD)، آشکارساز فاز-فرکانس (PFD)، پمپ بار (CP) فیلتر حلقه (LF)، اسیلاتور کنترل شده با ولتاژ (VCO) و مقسم

(N) یا ضریب انتخاب کانال در سیستم‌های چندکاربره است، نشان داده شده است. همان‌گونه که بیان شد برای پوشش باندهای مختلف فرکانسی در فرستنده-گیرنده نیاز به PLL یا سنتی‌سایزر است که کتاب حاضر به‌طور مبسوط به این بحث پرداخته است.

از سری کتاب‌های پروفسور رضوی در حوزه میکروالکترونیک، کتاب‌های *اصول طراحی سیستم‌های مبدل داده*، *طراحی مدارهای مجتمع CMOS آنالوگ*، *مبانی میکروالکترونیک* و... همگی برای دانشجویان میکروالکترونیک ضروری هستند و خوشبختانه همه آن‌ها نیز به فارسی ترجمه شده‌اند. کتاب حاضر، اثر پروفسور رضوی که در سال ۲۰۲۰ منتشر شده است از جمله کتاب‌های مهم ایشان است که به‌منظور بهره‌مندی دانشجویان تحصیلات تکمیلی حوزه الکترونیک به ترجمه آن مبادرت شد.

در این ترجمه سعی شده است در عین التزام به اصل امانت‌داری، تا حد امکان از معادل‌های مناسب برای کلمات و عبارات استفاده شود. بی‌شک این ترجمه خالی از نقص‌ها و کاستی‌ها نیست، اما مترجمان در نهایت امتنان و منت‌داری، پذیرای نقدها و اصلاحات پیشنهادی صاحب‌نظران و متخصصان این حوزه به‌منظور بهبود و ارتقای ترجمه این اثر ارزشمند و مرجع هستند.

محمد محمدی

مصطفی یارقلی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه برق

دانشیار گروه برق دانشگاه زنجان

mhmd1375m@gmail.com

yargholi@znu.ac.ir

پیشگفتار نویسنده

یک جستجوی سریع در گوگل، ده‌ها کتاب را در زمینه حلقه‌های قفل فاز پیش روی ما قرار می‌دهد. پس چه نیازی به کتابی دیگر است؟ این کتاب بیانگر احتیاج به منبعی است که به صورت اصولی حلقه‌های قفل فاز CMOS جدید را برای کاربردهای وسیع بیاموزد. هدف این است که به خواننده بیاموزیم تا چگونه به حلقه‌های قفل فاز از سطح ترانزیستوری به توسعه ساختاری برسیم.

بر اساس ۲۵ سال تدریس در این زمینه و تازه‌ترین روش‌ها در صنعت، این کتاب به نوسان‌سازها، نویز فاز، حلقه‌های قفل فاز آنالوگ، حلقه‌های قفل فاز دیجیتال، ترکیب‌کننده‌های فرکانسی، حلقه‌های قفل تأخیر، مدارهای بازیابی داده و ساعت، و تقسیم‌کننده‌های فرکانسی می‌پردازد. هدف این است که طیف وسیعی از خواننده‌ها با حفظ انسجام بتوانند مطالب کتاب را دنبال کنند.

همانند تألیفات گذشته، از ابزارهای آموزشی انبوهی استفاده کردم تا به یادگیری خواننده به‌طور مؤثر کمک کند و خواننده لذت یادگیری را تجربه نماید. یک اصل که در نوشتن به کار می‌برم این است که از ساده‌ترین مباحث شروع می‌کنم، یاد می‌دهم که چگونه آن بلوک کار می‌کند و چه نواقصی دارد، و بعد مؤلفه‌هایی را اضافه می‌کنم تا عملکرد آنرا بهبود دهد. این راه‌حل به خواننده کمک می‌کند تا متوجه شود که چگونه یک معماری پایه به یک سیستم پیچیده اعمال می‌شود. بعد از بین مفاهیم تئوری برای هر مبحث، فرایند طراحی گام‌به‌گام را نشان داده و به طراحی مدار می‌پردازم.

البته همه‌ی فرایندهای طراحی موفقیت‌آمیز نیستند. خواننده به‌طور واضح می‌بیند که چگونه تصمیمات معین به بن‌بست رسیده و چگونه این تصمیمات را بازیابی می‌کنیم تا به یک راه‌حل جدید و عملی‌تر برسیم. این جستجو از لحاظ ذهنی نه تنها فرایند یادگیری را

هیجان‌انگیزتر می‌سازد بلکه به خواننده کمک می‌کند تا ببیند که چرا هر مؤلفه لازم است، چه شاخص‌هایی بر انتخاب آن حکم فرماست، و چه کاری را نباید انجام داد.

یک جنبهٔ منحصربه‌فرد این کتاب استفادهٔ گستردهٔ آن از شبیه‌سازی‌ها برای تدریس طراحی و بررسی مصالحه بین تئوری و عمل است. برای هر طراحی، از مفاهیم تئوری استفاده می‌کنم تا پارامترهای مشخص را انتخاب کرده و عملکرد را پیش‌بینی کنم، و بعد از آن مدار را شبیه‌سازی می‌کنم. اگر شبیه‌سازی مطابق با پیش‌بینی‌ها نباشد، به جزئیات پرداخته و دلیل را مشخص می‌کنم. یک جنبهٔ منحصربه‌فرد دیگر این کتاب این است که به مفاهیم با ارائهٔ دانش گسترده‌ای از این زمینه‌ها از یک زمینه (مثلاً فناوری بی‌سیم) به دیگری (مخابرات با استفاده از سیم) تحت یک عنوان به‌طور عمیق پرداخته است.

وبسایتی برای کتاب وجود دارد که منابع اضافی را به خواننده‌ها و مدرسان می‌دهد که شامل تصاویر، PowerPoint و یک حل‌المسائل است.

بهزاد رضوی

سپتامبر ۲۰۱۹

درباره نویسنده



پروفسور بهزاد رضوی مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۹۸۵ از دانشگاه صنعتی شریف و مدارک کارشناسی ارشد و دکتری خود را به ترتیب در سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۹۲ از دانشگاه استنفورد آمریکا اخذ نمود. ایشان تا سال ۱۹۹۶، در آزمایشگاه‌های AT&T و Bell و Hewlett-Packard فعالیت نموده و از سال ۱۹۹۶، دانشیار و پس از آن استادتمام مهندسی برق دانشگاه کالیفرنیا در لس‌آنجلس (UCLA) است. زمینه تحقیقاتی کنونی وی فرستنده-گیرنده‌های بی‌سیم، مولدهای فرکانسی، حلقه‌های قفل فاز و بازیابی کلاک برای مخابرات داده سرعت‌بالا و مبدل‌های داده است.

پروفسور رضوی در سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ استاد مدعو در دانشگاه پرینستون و در سال ۱۹۹۵ استاد مدعو در دانشگاه استنفورد بود. دکتر رضوی عضو پیوسته IEEE بوده و به‌عنوان مدرس ممتاز IEEE و همچنین مؤلف کتاب‌های اصول طراحی سیستم‌های مبدل داده (انتشارات IEEE، ۱۹۹۵)، میکروالکترونیک RF (انتشارات Prentice-Hall، ۱۹۹۸، ۲۰۱۲) (که به زبان‌های چینی، کره‌ای، ژاپنی، و فارسی ترجمه شده است)، طراحی مدارهای مجتمع CMOS آنالوگ (انتشارات McGraw-Hill، ۲۰۰۱، ۲۰۱۶) (که به زبان‌های چینی، ژاپنی، کره‌ای و فارسی ترجمه شده است)، طراحی مدارهای مجتمع برای مخابرات نوری (انتشارات McGraw-Hill، 2003، Wiley، 2012)، حلقه‌های قفل فاز CMOS از سطح مدار تا سطح معماری (انتشارات دانشگاه کمبریج، 2020) (که اینک به فارسی ترجمه شده است)، و مبانی میکروالکترونیک (انتشارات Wiley، 2006، 2014) (که به کره‌ای، پرتغالی، ترکی و فارسی ترجمه شده است)، و ویراستار *Monolithic Phase-Locked Loops and clock recovery circuits* (انتشارات IEEE، 1996)، و *Phase Locking in high performance systems* (انتشارات IEEE، 2003) است.

دکتر رضوی از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۲ عضو کمیته‌های تخصصی کنفرانس بین‌المللی مدارهای حالت جامد (ISSCC) و از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ عضو همایش تخصصی مدارهای VLSI (VLSI Circuit symposium) بوده‌اند. وی همچنین به‌عنوان ویراستار ارشد مجله بین‌المللی مدارهای حالت جامد IEEE (JSSC)، مجله مدارها و سیستم‌های IEEE (TCAS) و مجله بین‌المللی الکترونیک سرعت بالا (International Journal of high speed electronics) فعالیت نمودند.

دکتر رضوی برنده جوایز و صاحب افتخارات زیادی هستند که تعدادی از آنها عبارت‌اند از جایزه Beatrice برای بهترین ویراستاری در کنفرانس ISSCC در سال ۱۹۹۴، بهترین میزگرد ISSCC در سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۷، جایزه تدریس خلاق TRW در سال ۱۹۹۷، بهترین مقاله در کنفرانس مدارهای مجتمع (CICC) در سال ۱۹۹۸ و بهترین ویرایش اول کتاب McGraw-Hill در سال ۲۰۰۱، برنده مشترک دو جایزه مقاله دانشجویی برجسته Jack Kilby و جایزه Beatrice برای بهترین ویراستاری در کنفرانس ISSCC در سال ۲۰۰۱.

ایشان برنده جایزه Lockheed Martin برای بهترین تدریس در سال ۲۰۰۶، و جایزه بهترین تدریس UCLA در سال ۲۰۰۷ و جایزه CICC برای بهترین مقاله مدعو در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ و دریافت‌کننده مشترک جایزه بهترین مقاله دانشجویی همایش مدارهای VLSI در سال ۲۰۱۲ بوده‌اند. وی همچنین به‌عنوان یکی از ۱۰ نویسنده برتر در تاریخ پنجاه‌ساله ISSCC شناخته شده است. دکتر رضوی جایزه IEEE Donald Pederson در مدارهای حالت جامد را در سال ۲۰۱۲ به دلیل فعالیت پشستانانه خود در زمینه مدارهای مخابراتی CMOS پرسرعت به خود اختصاص داد.

فهرست مطالب

۱	..... فصل ۱: مبانی نوسان ساز
۱	..... ۱-۱ مفاهیم پایه ای
۳	..... ۲-۱ سیستم پس خورد نوسانی
۷	..... ۳-۱ فهم عمیق تر
۱۵	..... ۴-۱ نوسان سازهای حلقوی پایه
۱۹	..... ۱-۴-۱ حلقه ها با ساختار وارون گر
۲۱	..... ۵-۱ نوسان سازهای LC (سلفی - خازنی) پایه
۲۱	..... ۱-۵-۱ ایده مدار سلفی خازنی
۲۹	..... ۲-۵-۱ نوسان سازهای سلفی و خازنی به عنوان سیستم پس خوردی
۳۸	..... ۳-۵-۱ نوسان سازهای سلفی خازنی به عنوان سیستم هایی با یک پایانه ...
۴۵	..... ۶-۱ نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ
۵۰	..... ۷-۱ ضمیمه ۱
۵۷	..... فصل ۲: مقدمه ای بر لرزش و نویز فاز
۵۷	..... ۱-۲ مروری خلاصه بر نویز
۵۸	..... ۱-۱-۲ نویز در حوزه زمان و فرکانس
۶۰	..... ۲-۱-۲ نویز افزاره
۶۳	..... ۳-۱-۲ انتشار نویز
۶۵	..... ۴-۱-۲ توان متوسط نویز
۶۶	..... ۵-۱-۲ تقریب طیف نویز
۶۷	..... ۶-۱-۲ انباشتگی نویز با زمان

۶۸	..... ۲-۲ مبانی نوین فاز و لرزش زمانی
۷۰	..... ۱-۲-۲ لرزش
۷۴	..... ۲-۲-۲ نوین فاز
۸۲	..... ۳-۲-۲ محدودیت تقریب مدولاسیون فرکانسی باندباریک
۸۵	..... ۴-۲-۲ رابطه بین لرزش و نوین فاز
۸۸	..... ۵-۲-۲ انواع لرزش
۹۲	..... ۳-۲ مصالحه بین نوین فاز و توان
۹۴	..... ۴-۲ مکانیسم های نوین فاز پایه
۹۴	..... ۱-۴-۲ نوین فاز برحسب نوین فرکانس
۹۶	..... ۲-۴-۲ نوسان سازهای حلقوی
۹۹	..... ۳-۴-۲ نوسان سازهای سلفی - خازنی
۱۰۰	..... ۵-۲ اثر لرزش بر عملکرد
۱۰۳	..... ۶-۲ اثر نوین فاز بر عملکرد
۱۱۱	..... فصل ۳: طراحی نوسان سازهای حلقوی بر پایه وارون گرها
۱۱۱	..... ۱-۳ نوین فاز در نوسان سازهای حلقوی
۱۱۲	..... ۱-۱-۳ معادله کلی
۱۲۱	..... ۲-۳ ایده طراحی اولیه
۱۲۵	..... ۳-۳ به دست آوردن فرکانس مورد نظر
۱۲۶	..... ۱-۳-۳ خازن های بزرگ تر در گره
۱۲۷	..... ۲-۳-۳ تعداد طبقات بیشتر
۱۲۸	..... ۳-۳-۳ طول بزرگتر برای ترانزیستورها

۱۳۰	..... تقسیم فرکانسی ۴-۳-۳
۱۳۰	..... بررسی نویز فاز ۴-۳
۱۳۳	..... شبیه سازی نویز ترانزیستورها ۱-۴-۳
۱۳۵	..... نویز فاز نوسان ساز مرجع ۲-۴-۳
۱۳۹	..... نویز فاز اولین نوسان ساز 2GHz ۳-۴-۳
۱۳۹	..... نویز فاز دومین نوسان ساز 2GHz ۴-۴-۳
۱۴۰	..... نویز فاز سومین نوسان ساز 2GHz ۵-۴-۳
۱۴۲	..... نویز فاز چهارمین نوسان ساز 2GHz ۶-۴-۳
۱۴۴	..... تنظیم فرکانسی ۵-۳
۱۴۴	..... بررسی های تنظیم فرکانسی ۱-۵-۳
۱۴۶	..... تنظیم پیوسته و گسسته ۲-۵-۳
۱۴۸	..... تنظیم با مقاومت متغیر ۳-۵-۳
۱۵۷	..... تنظیم با خازن متغیر ۴-۵-۳
۱۶۱	..... تنظیم فرکانسی گسسته ۶-۳
۱۶۵	..... مشکل منبع نویز ۷-۳
۱۶۶	..... تنظیم ولتاژ ۱-۷-۳
۱۶۸	..... تنظیم جریان ۲-۷-۳
۱۷۷	..... فصل ۴: طراحی نوسان سازهای حلقوی چند فازه و تفاضلی
۱۷۷	..... ۱-۴ بررسی کلی
۱۸۱	..... ۲-۴ بررسی نویز فاز
۱۸۶	..... ۳-۴ طراحی حلقوی تفاضلی پایه

- ۱۸۶ طراحی اولیه ۱-۳-۴
- ۱۹۲ بهبود طراحی ۲-۳-۴
- ۱۹۴ ۴-۴ به دست آوردن فرکانس مورد نظر
- ۱۹۵ ۱-۴-۴ روش ۱: خازن های گره بزرگ تر
- ۱۹۵ ۲-۴-۴ روش ۲: ترانزیستورهای بزرگ تر
- ۱۹۷ ۳-۴-۴ روش ۳: تعداد طبقات بیشتر
- ۱۹۹ ۵-۴ نوسان سازهای حلقوی دو طبقه
- ۱۹۹ ۱-۵-۴ روش ۱: ایده پایه ای
- ۲۰۵ ۲-۵-۴ روش ۲: مثال طراحی
- ۲۰۷ ۶-۴ درجه بندی خطی
- ۲۰۷ ۷-۴ روش های تنظیم
- ۲۰۸ ۱-۷-۴ تنظیم مقاومتی
- ۲۱۱ ۲-۷-۴ تنظیم ورکتور
- ۲۱۲ ۳-۷-۴ تنظیم تعداد طبقات
- ۲۱۵ ۸-۴ مقایسه نوسان سازهای بر پایه وارون ساز و تفاضلی
- ۲۱۵ ۹-۴ نوسان سازهای بر پایه وارون ساز با خروجی متمم متعامد
- ۲۱۵ ۱-۹-۴ نوسان سازهای مزدوج
- ۲۱۹ ۲-۹-۴ بررسی نویزفاز
- ۲۲۱ ۳-۹-۴ شکل دهی تعامد مستقیم
- ۲۲۳ ۴-۹-۴ شکل دهی تعامد با همراستا سازی
- ۲۲۷ ۱۰-۴ نوسان سازهای حلقوی با بارهای سلفی-خازنی

۲۳۵	..... فصل ۵: طراحی نوسان ساز سلفی - خازنی
۲۳۶	..... ۱-۵ مدل سازی سلف
۲۴۵	..... ۲-۵ تحلیل نویز فاز
۲۴۶	..... ۱-۲-۵ یک حالت ساده
۲۵۰	..... ۲-۲-۵ نویز چرخشی
۲۵۵	..... ۳-۲-۵ نویز تزریق شده توسط جفت تزویج صلیبی
۲۶۲	..... ۴-۲-۵ محاسبه نویز فاز
۲۶۵	..... ۳-۵ نویز دم
۲۶۶	..... ۱-۳-۵ نویز حرارتی دم
۲۷۲	..... ۲-۳-۵ نویز فلیکر دم
۲۷۵	..... ۴-۵ اثر خازن دم
۲۷۷	..... ۵-۵ طراحی گام به گام
۲۷۷	..... ۱-۵-۵ بررسی های اولیه
۲۷۹	..... ۲-۵-۵ مثال طراحی
۲۸۷	..... ۳-۵-۵ تنظیم فرکانسی
۳۰۰	..... ۴-۵-۵ خلاصه فرایند طراحی نوسان ساز
۳۰۹	..... فصل ۶: مفاهیم پیشرفته نوسان ساز
۳۰۹	..... ۱-۶ تحلیل نویز فاز توسط پاسخ ضربه
۳۱۰	..... ۱-۱-۶ پاسخ ضربه فاز
۳۱۹	..... ۲-۱-۶ اثر نویز فلیکر
۳۲۱	..... ۳-۱-۶ نویز ثابت دوره‌ای

۳۲۲	..... ۲-۶ نويز فاز جريان محدود بر حسب نويز فاز ولتاژ محدود
۳۲۲	..... ۳-۶ نوسان سازها با جفت های تزويج صلیبی مکمل
۳۲۵	..... ۱-۳-۶ مشکلات طراحی
۳۲۸	..... ۲-۳-۶ مثال طراحی
۳۳۳	..... ۴-۶ نوسان سازهای کلاس C
۳۳۵	..... ۱-۴-۶ مثال طراحی
۳۳۶	..... ۵-۶ کاهش نويز فاز با تقسيم فرکانسی
۳۳۹	..... ۶-۶ روش‌های شکل دهی متعامد
۳۳۹	..... ۱-۶-۶ تقسيم فرکانسی
۳۴۱	..... ۲-۶-۶ نوسان سازهای سلفی - خازنی متعامد
۳۶۳	..... فصل ۷: ساختارهای پایه حلقه قفل فاز
۳۶۳	..... ۱-۷ آشکار سازهای فاز
۳۶۷	..... ۲-۷ کنترل فاز توسط پس خورد
۳۷۱	..... ۳-۷ تحليل حلقه قفل فاز ساده
۳۷۱	..... ۱-۳-۷ رفتار ایستا
۳۷۴	..... ۲-۳-۷ ضرب فرکانسی
۳۷۶	..... ۳-۳-۷ رفتار پویا
۳۸۲	..... ۴-۳-۷ تابع تبدیل حلقه قفل فاز
۳۸۹	..... ۵-۳-۷ بازخوردهایی از یک حلقه قفل فاز ساده
۳۹۱	..... ۴-۷ آشکارساز فاز / فرکانس
۳۹۷	..... ۵-۷ حلقه های قفل فاز دارای پمپ بار

۳۹۸	..... ۱-۵-۷ پمپ های بار
۳۹۹	..... ۲-۵-۷ اتصال سری خازن ، پمپ بار ، آشکار ساز فاز / فرکانس
۳۹۹	..... ۳-۵-۷ پمپ بار پایه حلقه قفل فاز
۴۰۰	..... ۴-۵-۷ تابع تبدیل خازن، پمپ بار ، آشکارساز فاز / فرکانس
۴۱۲	..... ۵-۵-۷ محاسبه حاشیه فاز
۴۱۶	..... ۶-۷ حلقه های مرتبه بالاتر
۴۲۲	..... ۷-۷ توپولوژی های پایه پمپ بار
۴۲۵	..... ۸-۷ زمان نشست



مبانی نوسان ساز

در درون هر حلقه قفل فاز، یک نوسان ساز وجود دارد که نقش بسیار مهمی را در کارکرد حلقه قفل فاز دارد. به همین دلیل، ما پنج فصل این کتاب را به طراحی نوسان سازها اختصاص می دهیم. هدف این فصل آن است که یک تصویر کلی از نوسان، قبل از وارد شدن به مباحث طراحی با عملکرد بالا، در فصل های ۳ تا ۶ ایجاد کنیم. ابتدا کار خود را با مفاهیم پایه ای آغاز می کنیم و سپس متوجه می شویم که چگونه یک سیستم با پس خورد منفی می تواند نوسان کند. پس از آن بررسی های خود را به نوسان سازهای حلقوی و سلفی-خازنی توسعه می دهیم.

۱-۱ مفاهیم پایه ای

اگر ما یک آونگ را از زاویه ای رها کنیم، برای مدتی نوسان می کند و بعد به تدریج متوقف می شود. نوسان به دلیل این که انرژی پتانسیل اولیه در هنگامی که آونگ به حالت عمودی خود می رسد، به انرژی جنبشی تبدیل می شود، اتفاق می افتد (شکل ۱-۱) که اجازه می دهد مسیر خودش را تا زاویه دیگری ادامه دهد (موقعیت ۳) و انرژی آن قسمت نیز از جنس پتانسیل است.