بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق و الکترونیک- مدار و سیستم

کاهش نویز فاز اسیلاتورها توسط تقویت کننده‌های پارامتری

دانشجو:

ابوذر قربانی نژاد

استاد راهنما:

دکتر عبدالرضا نبوی

بهمن ۱۳۹۱

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای ابوذر قربانی نژاد پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **کاهش نویز فاز اسیلاتورها توسط تقویت کننده های پارامتری** در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد الکترونیک پیشنهاد می کنند.

استاد راهنما	دکتر عبدالرضا نبوی لیشی	~~دانشیار~~ استاد	
استاد ناظر	دکتر ابومسلم جان نثاری	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سعید سعیدی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمود کمره ای	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر ابومسلم جان نثاری	استادیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه مورد تائید است

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان‌ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آن‌ها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی به صورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت‌رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

((اینجانب **ابوذر قربانی نژاد** دانشجوی رشته برق-الکترونیک ورودی سال تحصیلی **۱۳۸۹** مقطع **کارشناسی ارشد** دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان نامه/رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدین وسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم.))

تاریخ و امضا: ابوذر قربانی نژاد

۹۱/۱۲/۱۵

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته **مهندسی برق-الکترونیک** است که در سال **۱۳۹۱** در **دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر عبدالرضا نبوی** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتاب‌های عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶: اینجانب **ابوذر قربانی نژاد** دانشجوی رشته **مهندسی برق-الکترونیک** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: ابوذر قربانی نژاد

تاریخ و امضا: ۹۱/۱۲/۱۵

به او که :

چون هستی من ز هستی

اوست

تا هستم و هست دارمش دوست

تقدیر و تشکر

از رهگذر خاک سر کوی شما بود

هر نافه که در دست نسیم سحر افتاد

(حافظ)

سپاس خدای عزوجل را که در سایه الطاف او توانستم به این مرحله از دوران تحصیلم برسم و در تمام مراحل زندگی‌ام مرا قوت قلب بود.

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از تمام عزیزان که مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند، تقدیر و تشکر نمایم:

پدر و مادر مهربان و دلسوزم که همواره امید به موفقیت را در من زنده نگه داشتند.

استادگران‌قدر و عزیزم **جناب دکتر عبدالرضا نبوی** که در طی تدوین این رساله، بزرگوارانه حامی و راهنمایی علمی و اخلاقی بی نظیر برایم بوده‌اند.

و تمامی دوستان عزیزم که در طی انجام این مطالعه، صبورانه مرا یاری نمودند.

چکیده:

تا کنون روش‌های متعددی برای کاهش نویز فاز اسیلاتورها ارائه شده است. معمولاً اکثر این روش-ها منحصر به نوع خاصی از اسیلاتورها بوده و همه جا قابل استفاده نیستند. در این پایان نامه برای اولین بار با استفاده از تقویت کننده‌های پارامتری حساس به فاز، روشی کاملاً جامع برای کاهش نویز فاز اسیلاتورها ارائه نموده‌ایم. در این روش اسیلاتور به عنوان یک بلوک در نظر گرفته شده و سیگنال خروجی آن پس از عبور از یک تقویت کننده حساس به فاز پارامتری، در شرایطی خاص، نویز فاز آن به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

تقویت کننده‌های پارامتری نوع خاصی از تقویت کننده‌ها هستند که به جای تأمین توان لازم جهت تقویت از منابع DC، این توان را از منابع سیگنال متناوب با فرکانس خاصی که منبع Pump نامیده می‌شوند، تأمین می‌نمایند. در این پایان نامه پس از معرفی و بررسی انواع ساختارهای تقویت کننده‌های پارامتری، بر روی ساختارهای حساس به فاز پارامتری متمرکز شده و ایده کاهش نویز فاز را توسط آنان شرح نموده‌ایم. بدین منظور چهار ساختار مختلف حساس به فاز را از نظر تأثیر بر روی نویز فاز سیگنال، مورد بررسی قرار داده و برای هر یک مدل تحلیلی مناسبی استخراج نموده‌ایم. سپس مدل‌های تحلیلی ارائه شده برای هر ساختار را با نتایج شبیه سازی نرم‌افزاری مقایسه و صحت آن‌ها را تایید نموده‌ایم.

یکی از ساختارهای جدیدی که مورد بررسی قرار داده‌ایم ساختارهای پارامتری Upconverter حساس به فاز می‌باشند. خاصیت جالب توجه این ساختارهای جدید این است که سیگنال Upconvert شده خروجی آن‌ها می‌تواند نویز فازی بهتر از نویز فاز سیگنال ورودی داشته باشد. با بیان این خاصیت، این تقویت کننده‌ها قابلیت تولید سیگنال‌های با نویز فاز کم، در فرکانس‌های بالا را به وسیله اسیلاتورهای فرکانس پایین‌تر ایجاد می‌کنند به طوری که می‌توان انتظار داشت که در محدوده فرکانسی موج میلی‌متری و تراهرتز کاربردهای وسیعی پیدا کنند. روش مطرح شده همچنین

در تکنولوژی‌های مدار مجتمع که ساخت مدار به طور یکپارچه بسیار حائز اهمیت است کاربردی بوده و توسط آن می‌توان اسیلاتورهای با نویز فاز مناسب و کاملاً یکپارچه طراحی نمود.

پس از تشریح روش پیشنهادی و یافتن مدل‌های تحلیلی، برای نشان دادن کاربرد روش پیشنهادی دو ساختار از این تقویت کننده‌های پارامتری را با استفاده از عناصر موجود در پروسه 0.18µm CMOS و به عنوان نمونه طراحی نموده‌ایم. تقویت کننده‌های طراحی شده از نوع تقویت کننده‌های پارامتری توزیع شده هستند. مدار اول، تقویت کننده تبهگنی همدوس موج رونده با فرکانس 2.5GHz و مدار دوم از نوع موج ایستان با فرکانس 10GHz می‌باشد. در ساختار اول، نویز فاز خروجی 8dB و در ساختار دوم 10dB نسبت به نویز فاز سیگنال ورودی بهبود یافته است.

کلید واژه‌ها: اسیلاتور، تقویت کننده پارامتری حساس به فاز، خط انتقال غیر خطی، نویز فاز.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د
فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل ۱- کلیّات ۲
۱-۱- پیشگفتار ۲
۱-۲- بیان مسأله و اهداف تحقیق ۳
۱-۳- ساختار پایان نامه ۵

فصل ۲- تقویت کننده‌های پارامتری ۸
۲-۱- مقدمه ۸
۲-۲- مقدمه‌ای کوتاه بر تقویت کننده‌های پارامتری ۹
۲-۲-۱- ظهور و فراز و نشیب‌های تقویت کننده‌های پارامتری ۱۰
۲-۳- اساس عملکرد تقویت کننده‌های پارامتری ۱۲
۲-۴- روابط توان Manely-Rowe برای مدارهای شامل راکتانس‌های غیر خطی ۱۷
۲-۵- تقسیم بندی انواع تقویت کننده‌های پارامتری ۱۸
۲-۵-۱- تقویت کننده‌های پارامتری Upconverter ۱۹
۲-۵-۲- تقویت کننده‌های مقاومت منفی ۲۰
۲-۵-۲-۱- تقویت کننده‌های مقاومت منفی Lower-sideband upconverter ۲۰
۲-۵-۲-۲- تقویت کننده پارامتری مقاومت منفی غیر تبهگنی ۲۰
۲-۵-۲-۳- تقویت کننده‌های مقاومت منفی تبهگنی ۲۲
۲-۵-۳- تقویت کننده‌های پارامتری با ساختارهای توزیع شده ۲۳
۲-۵-۳-۱- تقویت کننده‌های پارامتری توزیع شده از نوع موج رونده ۲۳
۲-۵-۳-۲- تقویت کننده‌های پارامتری توزیع شده موج ایستان ۲۴
۲-۵-۴- ساختارهای دیگر تقویت کننده‌های پارامتری ۲۵
۲-۵-۴-۱- تقویت کننده‌های پارامتری چهار فرکانسی ۲۶
۲-۵-۴-۲- Harmonic Pumping ۲۷
۲-۶- روابط حاکم بر تقویت کننده‌های پارامتری ۲۸
۲-۶-۱- واراکتورها و روابط حاکم بر آن‌ها ۲۹
۲-۶-۱-۱- واراکتورهای دیودی ۲۹
۲-۶-۱-۲- واراکتورهای MOS ۳۰
۲-۶-۱-۳- تقریب روابط واراکتورها ۳۱
۲-۶-۱-۴- مقایسه تقریب واراکتور به صورت غیر خطی و متغیر با زمان ۳۲

۲-۶-۲- روابط تقویت کننده‌های پارامتری Upconverter ۳۴
۲-۶-۳- روابط تقویت کننده‌های پارامتری مقاومت منفی ۳۸
۲-۶-۳-۱- تقویت کننده‌های پارامتری مقاومت منفی غیر تبهگنی ۳۸
۲-۶-۳-۲- تقویت کننده‌های پارامتری مقاومت منفی تبهگنی ۴۰
۲-۷- نتیجه گیری ۴۳

فصل ۳- تحلیل عملکرد تقویت کننده‌های پارامتری حساس به فاز بر روی نویز فاز سیگنال ورودی ۴۵

۳-۱- مقدمه ۴۵
۳-۲- تقویت کننده‌های پارامتری تبهگنی غیر توزیع شده و مدل تحلیلی نویز فاز آن‌ها ۴۶
۳-۲-۱- حساسیت فاز سیگنال خروجی به اختلاف فاز سیگنال‌های ورودی تقویت کننده ۴۷
۳-۲-۲- مدل تحلیلی نویز فاز ۴۹
۳-۲-۲-۱- ارتباط نویز فاز خروجی با بهره تقویت کننده ۵۲
۳-۲-۳- ارزیابی صحت روابط تحلیلی با شبیه سازی ۵۳
۳-۳- نمایش شهودی عملکرد تقویت کننده پارامتری تبهگنی بر روی نویز فاز: نمایش به صورت فیلتر فعال با ضریب کیفیت متغیر ۵۶
۳-۴- تقویت کننده‌های پارامتری تبهگنی توزیع شده و مدل تحلیلی نویز فاز آن‌ها ۵۷
۳-۴-۱- تقویت کننده‌های پارامتری توزیع شده موج رونده از نوع تبهگنی ۵۸
۳-۴-۱-۱- مدل تحلیل نویز فاز تقویت کننده‌های موج رونده ۶۰
۳-۴-۱-۲- ارزیابی روابط تحلیلی با شبیه سازی ۶۱
۳-۴-۲- تقویت کننده پارامتری توزیع شده تبهگنی همدوس موج ایستان ۶۳
۳-۴-۲-۱- مدل تحلیلی بهره و نویز فاز ۶۶
۳-۴-۳- مقایسه تقویت کننده‌های توزیع شده با تقویت کننده غیر توزیع شده (Lump) ۶۷
۳-۵- پدیده فشردگی نویز در تقویت کننده‌های پارامتری تبهگنی و ارتباط آن با نویز فاز ۶۹
۳-۶- تقویت کننده‌های پارامتری Upconverter حساس به فاز ۷۱
۳-۶-۱- رابطه تحلیلی بهره تقویت کننده‌های پارامتری Upconverter ۷۳
۳-۶-۲- مدل تحلیلی نویز فاز ۷۵
۳-۶-۳- ارزیابی صحت روابط تحلیلی با شبیه سازی ۷۵
۳-۶-۴- مقایسه تقویت کننده‌های پارامتری تبهگنی با Upconverter های حساس به فاز ۷۷
۳-۷- مقایسه تقویت کننده‌های پارامتری حساس به فاز با قفل کننده‌های فاز ۷۸
۳-۸- نتیجه گیری ۷۹

فصل ۴- طراحی و شبیه سازی مداری ۸۲

۴-۱- مقدمه ۸۲
۴-۲- طراحی تقویت کننده پارامتری توزیع شده تبهگنی همدوس 2.5GHz از نوع موج رونده ۸۳
۴-۲-۱- تعیین تعداد بخش‌های سلف و خازنی تشکیل دهنده خط انتقال غیر خطی ۸۳

۴-۲-۲- تعیین مقدار عناصر سلف و خازن مدار ۸۳
۴-۲-۳- محاسبه ضریب کیفیت خط انتقال ۸۵
۴-۲-۴- نتایج شبیه سازی ۸۷
۴-۲-۴-۱- بهره تقویت کننده ۸۹
۴-۲-۴-۲- نویز فاز سیگنال خروجی ۹۰
۴-۳- منبع سیگنال 10GHz با نویز فاز بسیار پایین با استفاده از تقویت کننده پارامتری توزیع شده تبهگنی همدوس موج ایستان ۹۵
۴-۳-۱- طراحی تقویت کننده پارامتری تبهگنی همدوس موج ایستان ۹۶
۴-۳-۱-۱- تعیین تعداد بخش‌های سلف و خازنی خط انتقال تقویت کننده ۹۶
۴-۳-۱-۲- تعیین مقادیر عناصر سلف و خازن ۹۷
۴-۳-۱-۳- محاسبه ضریب کیفیت خط انتقال ۹۸
۴-۳-۲- طراحی اسیلاتور ۹۹
۴-۳-۳- طراحی تقویت کننده هارمونیک دوم اسیلاتور ۱۰۲
۴-۳-۴- طراحی مدار شیفت دهنده فاز ۱۰۴
۴-۳-۵- ترکیب و اتصال بلوک‌ها ۱۰۶
۴-۴- نتیجه‌گیری ۱۰۸

فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۱۱

۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۱۱
۵-۲- پیشنهادها ۱۱۴

ضمیمه أ -راکتانس‌های غیر خطی و برخی اصول آن‌ها ۱۱۷

ضمیمه ب -اثبات روابط Manely-Rowe برای مدارهای شامل راکتانس‌های غیر خطی ۱۱۹

فهرست مراجع ۱۲۳

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: مقادیر عناصر تقویت کننده پارامتری شکل ۲-۱۲ برای شبیه سازی. ۵۴
جدول ۳-۲: مقادیر عناصر مورد استفاده برای شبیه سازی تقویت کننده پارامتری موج رونده شکل ۳-۷. ..... ۶۲
جدول ۳-۳: مقادیر عناصر مورد استفاده برای شبیه سازی تقویت کننده پارامتری Upconverter شکل ۲-۱۱. ..... ۷۵
جدول ۴-۱: مشخصات سلف استفاده شده از تکنولوژی 0.18µm CMOS در تقویت کننده. ۸۵
جدول ۴-۲: مشخصات واراکتور MOS استفاده شده در تقویت کننده. ۸۶
جدول ۴-۳: عناصر به کار رفته در طراحی اسیلاتور شکل ۴-۸. ..... ۱۰۱
جدول ۴-۴: مشخصات اسیلاتور طراحی شده. ۱۰۲
جدول ۴-۵: مشخصات عناصر به کار رفته در تقویت کننده سه طبقه. ۱۰۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: نمایش شهودی عملکرد تقویت کننده پارامتری توسط کودک در حال تاب بازی ۱۲
شکل ۲-۲: نمایش اساس عملکرد تقویت کننده‌های پارامتری. فاصله صفحات خازن در زمانی که خازن کاملاً شارژ شده است به و صورت پله‌ای از یکدیگر افزایش یافته در نتیجه ولتاژ و انرژی ذخیره شده آن افزایش می‌یابد. در زمان‌های $q = 0$ صفحات خازن به مکان اولیه خود باز گردانده می‌شوند. این عمل در هر نیم سیکل نوسان رزوناتور ادامه می‌یابد [۲]. ۱۵
شکل ۲-۳: شکل موج‌های تقویت کننده پارامتری تبهگنی. فاز میان Pump و Signal بسیار مهم است به گونه‌ای که با فاز مناسب انرژی می‌تواند به Signal منتقل شود (منحنی‌های توپر) و یا در فازهای دیگر از آن گرفته شود (منحنی‌های نقطه چین) [۱۲]. ۱۶
شکل ۲-۴: مدار استفاده شده جهت استخراج روابط Manley-Rowe [۱۶]. ۱۷
شکل ۲-۵: طیف سیگنال بر روی راکتانس غیر خطی. سیگنال‌های Upconvert شده به طور شهودی قابل مشاهده است [۲]. ۲۰
شکل ۲-۶: تقویت کننده پارامتری موج رونده. این مدار یک خط انتقال را نشان می‌دهد که خازن‌های موازی آن متغیر با زمان و مکان بوده (همچنین خازن‌های غیر خطی نیز می‌توانند این کار را انجام دهند) و با انتشار Pump در طول خط مقدار آن‌ها با مکان و زمان تغییر کرده و سبب انتقال توان از Pump به Signal و Idler خواهند شد [۳]. ۲۴
شکل ۲-۷: رزوناتور پارامتری توزیع شده و شکل موج‌های تشکیل شده برای Signal و Pump جهت استفاده در تقویت کننده پارامتری [۱۳]. ۲۵
شکل ۲-۸: طیف فرکانسی تقویت کننده پارامتری چهار فرکانسی [۱]. ۲۷
شکل ۲-۹: تقسیم بندی کلی انواع تقویت کننده‌های پارامتری. ۲۸
شکل ۲-۱۰: منحنی تغییرات خازن نسبت به ولتاژ بایاس دو سر آن‌ها در واراکتور الف) دیودی ب) MOS در تکنولوژی 0.18µm CMOS ۳۱
شکل ۲-۱۱: شمای کلی تقویت کننده‌های پارامتری سه فرکانسی ۳۵
شکل ۲-۱۲: طرح شماتیک تقویت کننده‌های پارامتری تبهگنی. ۴۰
شکل ۲-۱۳: بهره تقویت کننده پارامتری تبهگنی به ازاء مقادیر مختلف γ. حساسیت بهره نسبت به اختلاف فاز سیگنال‌های ورودی مشاهده می‌شود. ۴۲
شکل ۳-۱: شمای کلی سیستم کاهش نویز فاز توسط تقویت کننده پارامتری تبهگنی. ۴۷
شکل ۳-۲: تغییرات فاز خروجی تقویت کننده پارامتری تبهگنی نسبت به تغییرات اختلاف فاز میان Signal و Pump. فاز سیگنال خروجی در جاهایی که بهره حالت بیشینه خود را دارد، کم‌ترین میزان تغییرات را دارد. ۴۹

شکل ۳-۳: منحنی تغییرات ExPN به ازاء تغییرات اختلاف فاز ϕ. ۵۳
شکل ۳-۴: نتایج شبیه سازی نویز فاز ورودی به همراه دو حالت حداکثر و حداقل نویز فاز خروجی. ۵۵
شکل ۳-۵: نتایج شبیه سازی و مقادیر محاسبه شده برای نویز فاز سیگنال خروجی و بهره تقویت کننده. ۵۵
شکل ۳-۶: نمایش شهودی عملکرد تقویت کننده پارامتری تبهگنی. ۵۷
شکل ۳-۷: ساختار تقویت کننده موج رونده از نوع تبهگنی. سیگنال به صورت تفاضلی و Pump به صورت مشترک به دو خط انتقال غیر خطی متصل شده‌اند. خازن C_C، تلفات ناشی از پراکندگی سیگنال Pump را جبران می‌کند [۱۲]. ۵۹
شکل ۳-۸: نتایج شبیه سازی نویز فاز ورودی و حداکثر و حداقل نویز فاز خروجی تقویت کننده پارامتری موج رونده. ۶۲
شکل ۳-۹: نتایج شبیه سازی و مقادیر محاسبه شده برای نویز فاز سیگنال خروجی و بهره تقویت کننده پارامتری موج رونده. ۶۳
شکل ۳-۱۰: طرح مداری تقویت کننده پارامتری پیشنهادی [۱۳]. ۶۵
شکل ۳-۱۱: امواج ایستان تشکیل شده برای فرکانس‌های Signal و Pump [۱۳]. ۶۵
شکل ۳-۱۲: منحنی تغییرات بهره تقویت کننده پارامتری توزیع شده موج رونده به ازاء تغییرات تعداد بخش‌های LC خطوط انتقال برای ضریب کیفیت‌های متفاوت [۱۳]. ۶۸
شکل ۳-۱۳: نمایش شهودی پدیده فشردگی نویز و نمایش تفاوت عملکرد تقویت کننده‌های معمولی با تقویت کننده‌های پارامتری تبهگنی [۱۳]. ۷۱
شکل ۳-۱۴: نتایج شبیه سازی و مقادیر محاسبه شده برای نویز فاز سیگنال خروجی و بهره تقویت کننده پارامتری Upconverter حساس به فاز. ۷۶
شکل ۳-۱۵: ساختار کلی حلقه قفل کننده فاز که از بخش‌های: آشکار کننده فاز، فیلتر، تقسیم کننده فرکانسی، اسیلاتور کنترل شده با ولتاژ و منبع سیگنال مرجع تشکیل شده است. ۷۹
شکل ۴-۱: منحنی شبیه سازی تغییرات خازن واراکتور پروسه 0.18µm CMOS با پارامترهای جدول ۴-۲ به ازاء مقادیر مختلف ولتاژ بایاس. ۸۶
شکل ۴-۲: طرح مداری تقویت کننده پارامتری توزیع شده تبهگنی موج رونده با شش بخش سلف و خازن. ۸۸
شکل ۴-۳: نتایج شبیه سازی و محاسبه شده بهره تقویت کننده توزیع شده تبهگنی موج رونده. ۹۰
شکل ۴-۴: نویز فاز سیگنال ورودی و خروجی تقویت کننده توزیع شده تبهگنی موج رونده. ۹۱
شکل ۴-۵: نتایج شبیه سازی و تحلیلی نویز فاز سیگنال خروجی تقویت کننده توزیع شده تبهگنی موج رونده به ازاء تغییرات فاز در آفست 1MHz. ۹۳
شکل ۴-۶: نمایش تغییرات نویز فاز سیگنال خروجی به ازاء تغییرات دامنه سیگنال ورودی (نویز فاز خروجی در آفست 1MHz و در زاویه ۴۵- درجه اندازه گیری شده است). ۹۵

شکل ۴-۷: ساختار تقویت کننده پارامتری موج ایستان طراحی شده به همراه موج‌های ایستان تشکیل یافته روی آن. ۹۸
شکل ۴-۸: شماتیک مداری اسیلاتور طراحی شده. ۹۹
شکل ۴-۹: نویز فاز سیگنال خروجی اسیلاتور طراحی شده در پروسه 0.18µm CMOS..... ۱۰۱
شکل ۴-۱۰: شماتیک مدار تقویت کننده سه طبقه برای تقویت هارمونیک دوم تولید شده توسط اسیلاتور و اعمال خروجی آن به عنوان Pump به تقویت کننده پارامتری. ۱۰۳
شکل ۴-۱۱: نمودار بهره تقویت کننده سه طبقه. ۱۰۴
شکل ۴-۱۲: مدار شیفت دهنده فاز. ۱۰۵
شکل ۴-۱۳: منحنی تغییرات فاز خروجی نسبت به ورودی در مدار شیفت دهنده فاز. ۱۰۶
شکل ۴-۱۴: بلوک دیاگرام منبع سیگنال 10GHz با نویز فاز کم. ۱۰۶
شکل ۴-۱۵: نتایج شبیه سازی نویز فاز سیگنال خروجی بر حسب تغییرات فاز. ۱۰۷
شکل ۴-۱۶: نتایج شبیه سازی نویز دامنه سیگنال خروجی بر حسب تغییرات فاز. ۱۰۸

فصل اول:

کلیّات

فصل ۱– کلیّات

۱–۱– پیشگفتار

در بسیاری از سیستم‌های الکترونیکی خصوصاً فرستنده‌ها و گیرنده‌ها، اسیلاتورها نقش اساسی در عملکرد مدارها ایفا می‌کنند. یکی از ملزومات این مدارها داشتن اسیلاتورهایی با فرکانس دقیق و ثابت و پایدار می‌باشد. اما همه اسیلاتورهای واقعی دارای ناپایداری موقت[1] در فرکانس تولیدی خود هستند که نویز فاز نامیده می‌شود. حضور این نویز فاز در بسیاری از سیستم‌ها تأثیر منفی بر عملکرد آن‌ها داشته و لذا همواره سعی بر این بوده تا اسیلاتورهایی با نویز فاز بسیار پایین طراحی گردند. اسیلاتورهای با نویز فاز بسیار مناسبی تولید شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. اسیلاتورهای YIG، اسیلاتورهای با رزوناتورهای دی الکتریک[2] و اسیلاتورهای با رزوناتورهای کریستالی و سرامیکی را می‌توان از این‌گونه اسیلاتورهای با نویز فاز بسیار مناسب دانست. اگر چه این اسیلاتورها در بسیاری از جاها نیاز سیستم‌ها را بر طرف نموده‌اند، اما به دلایلی همچون گران بودن و حجیم بودن در بسیاری از موارد نمی‌توان از آن‌ها استفاده نمود؛ لذا همواره (خصوصاً در مدارها مجتمع) سعی شده تا با ارائه روش‌ها و راه‌حل‌های جدید از آن‌ها اجتناب شود. به همین دلیل دیده می‌شود که از سال‌های بسیار قبل تا کنون بحث کاهش نویز فاز سیگنال اسیلاتورها مطرح بوده و امروزه شاهد تحقیقات و مقالات فراوانی در این زمینه می‌باشیم.

[1] Short-term instability
[2] Dielectric Resonant Oscillator (DRO)

۱–۲– بیان مسأله و اهداف تحقیق

تا کنون روش‌های بسیاری برای کاهش نویز فاز اسیلاتورها ارائه شده است. اکثر روش‌های مطرح شده را از دیدگاهی می‌توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود

- روش‌هایی که توپولوژی‌های مداری جدید برای ساختار اسیلاتور ارائه داده‌اند.
- روش‌هایی که به بهینه سازی و تکمیل توپولوژی‌های قبلی پرداخته‌اند که طیف وسیعی را شامل می‌شوند.
- روش‌هایی که مختص پروسه‌های خاص هستند.
- سایر روش‌ها

با توجه به اینکه اکثر این روش‌ها منحصر به نوع خاصی از اسیلاتورها بوده‌اند، لذا استفاده از آن‌ها فراگیر نبوده و همه جا قابل استفاده نیستند. لذا در صورتی که بتوان روشی ارائه نمود که به توپولوژی اسیلاتور و یا عوامل دیگر منحصر نبوده یا به زبان ساده‌تر روشی جامع و عام باشد، گام بزرگی در این مسأله برداشته‌ایم. یکی از روش‌هایی که می‌توان به عنوان نمونه ذکر نمود حلقه‌های قفل فاز[1] هستند. این ساختارها اسیلاتور را به عنوان یک بلوک دیده و از مدارها جانبی برای ثابت نمودن فرکانس اسیلاتور و بهبود نویز فاز آن استفاده می‌نمایند. لذا قصد ما در این پایان نامه ارائه روشی جامع و نوین برای کاهش نویز فاز اسیلاتورها می‌باشد.

تقویت کننده‌های پارامتری[2] نوع خاصی از تقویت کننده‌ها هستند که به جای تأمین توان لازم جهت تقویت از منابع DC، این توان را از منابع سیگنال متناوب با فرکانس خاصی که منبع Pump نامیده می‌شوند تأمین می‌نمایند. این تقویت کننده‌ها دارای ویژگی‌های منحصر به فردی بوده و به

[1] Phase-Locked Loop (PLL)
[2] Parametric Amplifier (Paramp.)

دلیل استفاده از عناصر غیر فعال و غیر مقاومتی، می‌توانند دارای سطح نویز بسیار کمی باشند و به خاطر همین ویژگی از ابتدا به عنوان تقویت کننده‌های کم نویز[1] در گیرنده‌ها مورد استفاده قرار می-گرفتند. این تقویت کننده‌ها دارای ساختارهای بسیار گوناگونی می‌باشند اما نوع خاصی از آن‌ها که همدوس[2] و حساس به فاز[3] هستند دارای قابلیت‌های جالب‌تری هستند که از آن جمله می‌توان بهره بزرگ‌تر آن‌ها را نام برد. ویژگی بسیار جالب دیگر اینکه این تقویت کننده‌ها در حالت تئوری و ایده‌آل می‌توانند عدد نویز[4] بسیار پایین و حتی منفی‌ای (حدود 3dB-) داشته باشند[5] [۱]. با توجه به اینکه بهره این تقویت کننده‌ها به فاز سیگنال ورودی حساس بوده و همچنین نیاز دارند تا رابطه فرکانسی دقیقی میان سیگنال ورودی و منبع Pump وجود داشته باشد، معمولاً این تقویت کننده‌ها کمتر از ساختارهای دیگر تقویت کننده‌های پارامتری مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در این تحقیق سعی داریم که از همین ویژگی حساس بودن به فاز این نوع تقویت کننده‌های پارامتری استفاده کنیم و با بررسی نحوه عملکرد این تقویت کننده‌ها بر روی نویز فاز سیگنال ورودیشان، ایده جدید کاهش نویز فاز را توسط آن‌ها ارائه نماییم. با توجه به این که در این حالت سیگنال ورودی این تقویت کننده‌ها، سیگنال اسیلاتور می‌باشند، مشخصات سیگنال ورودی برای طراح مشخص بوده و لذا محدودیت‌های ذکر شده که سبب مجهور ماندن این نوع تقویت کننده‌ها شده بودند را نخواهیم داشت.

[1] Low-Noise Amplifier (LNA)
[2] Phase-coherent
[3] Phase sensitive
[4] Noise Figure
[5]- البته اگر بخواهیم دقیقتر نگاه کنیم، عدد نویز برای این ساختار تعریف نمی‌شود چرا که پهنای باند این ساختار اساسا صفر است. اما اگر همان تعریف معمول عدد نویز را برای آن بیان نماییم این صحبت که عدد نویز می تواند منفی باشد امکان پذیر خواهد بود. لذا در فصل سوم تعریف دیگری به نام Squeezing factor به جای عدد نویز ارائه خواهیم نمود و به توضیح آن خواهیم پرداخت.