بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی برق

پایان نامه جهت اخذ درجهٔ کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق
گرایش الکترونیک

عنوان پایان نامه

طراحی تقویت کننده های کم نویز با پهنای باند بسیار وسیع

استاد راهنما:
دکتر محسن حیاتی

نگارش:
سیامک ویسی

آبان ماه ۱۳۹۳

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

با کمال سپاس از زحمات . . .

جناب آقای دکتر محسن حیاتی

تقدیم به

خانواده ی عزیزم

چکیده

در این پایان نامه یک تقویت کننده کم نویز(LNA)باولتاژاعمالی کم و توان مصرفی پائین و پهنای باند بیسار (UWB)در باند فرکانسی3.1-10.6GHz با استفاده از تکنولوژی90nm CMOSبا استفاده از نرم افزارADS طراحی و شبیه سازی شده است.در تقویت کننده ی کم نویز ارائه شده برای تطبیق ورودی از ساختار سلف دژنراسیون و برای افزایش پهنای باند از روش کسکود و سلف سری و فیدبک مقاومتی استفاده شده است.برای افزیش خطی سازی(IIP3) از تکنیک جمع آثار مشتق بطوریکه از یک ترانزیستور واقع در ناحیه تریودیک استفاده شده است تا ضریب غیر خطی مرتبه ی سوم به کمترین مقدار خود برسد.ولتاز اعمالی 0.6v با توان مصرفی 3mw در تمام باند فرکانسی می باشد

کلمات کلیدی: تقویت کننده کم نویز–خطی سازی–توان کم–ولتاژ پائین–پهنای باند بسیار وسیع– جمع آثار مشتق

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱-معرفی فناوری فرکانس رادیویی ۲

۱-۲- چالش های طراحی RF ۳

۱-۳-تصویر کلی ۴

فصل دوم: مفاهیم پایه در طراحی تقویت کننده های کم نویز

۲-۱-اثرات غیر خطی ۸

۲-۱-۱-اعوجاج هارمونیکی ۸

۲-۱-۲-فشردگی بهره ۹

۲-۱-۳- مدولاسیون تداخلی ۱۱

۲-۱-۴-نقطه ی برخورد سوم ۱۴

۲-۲-طبقات ناخطی متوالی: ۱۵

۲-۲-۱-طیف IMدر طبقات متوالی ۱۶

۲-۳-نویز در قطعات ۱۸

۲-۳-۱-نویز گرمایی مقاومت: ۱۹

۲-۳-۲-نویز ماسفت: ۱۹

۲-۴-عدد نویز: ۲۱

۲-۴-۱- عدد نویز در طبقات متوالی ۲۳

۲-۴-۲-محاسبه عدد نویز ماسفت ۲۳

۲-۵-حساسیت ۲۶

۲-۶-گستره ی دینامیکی ۲۷

فصل سوم: بررسی تکنیک های طراحی تقویت کننده های کم نویز

۳-۱-نقشLNA در گیرنده ۳۱

۳-۲-ملا حظات عمومی ۳۲

۳-۲-۱-عدد نویز ۳۲

۳-۲-۲-بهره ۳۲
۳-۲-۳-تلفات بازگشتی ۳۲
۳-۲-۴-پایداری : ۳۳
۳-۲-۵-خطینگی ۳۳
۳-۲-۶-پهنای باند ۳۴
۳-۲-۷-توان مصرفی ۳۴
۳-۳-سورس مشترک با تطبیق ترمینال مقاومتی ۳۵
۳-۴-سورس مشترک با فیدبک ۳۷
۳-۵-سورس دژیزاسیون ۴۱
۳-۶-گیت مشترک ۴۴
۳-۶-۱-گیت مشترک با بار القایی ۴۴
۳-۶-۲-گیت مشترک با فیدبک ۴۷
۳-۶-۳-گیت مشترک با پیشخور ۴۸
۳-۷-نویز حذف کن ۴۹

فصل چهارم: بررسی تکنیک های خطی سازی تقویت کننده های کم نویز

۴-۱-عوامل ایجاد کننده ی غیر خطی ۵۴
۴-۲-تکنیک های خطی سازی ۵۵
۴-۲-۲-ترمینال هارمونیکی ۵۸
۴-۲-۳-با یاس بهینه ۶۰
۴-۲-۴-حذف پیشخور ۶۱
۴-۶-جمع آثار مشتق: ۶۴
۴-۶-۱-مکمل DS: ۶۶
۴-۶-۲-اصلاح شده روش DS : ۶۸
۴-۷-تزریق IM2 ..... ۷۱
۴-۲-۷-خنثی سازی نویز/اعوجاج ۷۲
۴-۸- ارسال اعوجاج ۷۴

فصل پنجم: مروری بر کار های پیشین

کار اول ۷۷

کار دوم..... ۷۹
کار سوم..... ۸۱
کار چهارم..... ۸۴

فصل ششم: تقویت کننده کم نویز پیشنهادی

۶-۱-چالش های طراحی..... ۸۷
۶-۲-شماتیک کلی..... ۸۸
۶-۳-شبکه تطبیق ورودی..... ۸۹
۶-۴-آنالیز بهره..... ۹۱
۶-۵-آنالیز نویز..... ۹۲
۶-۶-آنالیز خطی سازی..... ۹۵
۶-۷-توان مصرفی..... ۹۹
۶-۸- مقایسه ی مدار پیشنهادی..... ۱۰۱

فصل هفتم: نتیجه گیری

۷-۱-نتیجه‌گیری..... ۱۰۳
منابع..... ۱۰۶

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل ۱-۱-استادندار های باند فرکانسی ۲
شکل ۱-۲-شش ضلعی طراحی RF ۴
شکل ۱-۳-تصویر کلی یک فرستنده-گیرنده RFنوعی ۵
شکل ۲-۱-مشخصه های(الف)انقباضی و(ب)انبساطی ۹
شکل ۲-۲-تعریف نقطه ی فشردگی 1dB ۱۰
شکل ۲-۳-مولفه های فرکانسی تولید شده در سیستم غیر خطی ۱۲
شکل ۲-۴-خرابی ناشی از اینترمدولاسیون مرتبه ی سوم ۱۳
شکل ۲-۵-(الف)تقریب سیگنال های مدوله کننده با ضربه(ب)به کارگیری در اینترمدولاسیون ۱۳
شکل ۲-۶-(الف)آزمون دوتنی و(ب)آزمون هارمونیکی در یک سیستم باریک-باند ۱۴
شکل ۲-۷-تعریفIP3 ۱۵
شکل ۲-۸-دو طبقه ی ناخطی متوالی ۱۶
شکل ۲-۹-طیف های مربوط به طبقات غیر خطی متوالی ۱۷
شکل ۲-۱۰-(الف)مدار معادل نورتن (ب)تونن نویز گرمایی مقاومت ۱۹
شکل ۲-۱۱-نویز گرمایی کانال یک ماسفت (الف)منبع ولتاژ(ب)منبع جریان مدل شده است ۲۰
شکل ۲-۱۲-نویز در اتصال متوالی دو طبقه ۲۰
شکل ۲-۱۳-(الف)آنتن متصل به LNA(ب) مدار معادل ۲۱
شکل ۲-۱۴-(الف)نویز در طبقات متوالی شده(ب)نمودار ساده شده ۲۳
شکل ۲-۱۵-نویز ارجاع داده شده به ورودی ۲۴
شکل ۲-۱۶-مدل نویزی ترانزیستور شامل نویز گیت ۲۴
شکل ۲-۱۷-تعریف(الف)DR و (ب)SFDR ۲۸
شکل ۲-۱۸-تعریف SFDRبرحسب کف نویز ۲۹
شکل ۲-۱۹-رفتار واقعی مدارهای غیر خطی ۲۹
شکل ۳-۱-نشت گیرنده در یک سیستم دو طرفه ی کامل ۳۴
شکل ۳-۲- سورس مشترک با ترمینال مقاومتی (الف)مدار (ب) مدارسیگنال کوچک ۳۵
شکل ۳-۳-طبقه ی CS با فید بک مقاومتی[31 ۳۷
شکل ۳-۴-طبقه CSبا بار مقاومتی ۳۸

شکل ۳-۵-طبقه ی CS با فید بک مقاومتی با بار فعال ۳۹
شکل ۳-۶-طبقه ی CSبا بار فعال برای افزایش g_m ۴۰
شکل ۳-۷-امپدانس ورودی طبقه ی CSدارای القاگر در سورس ۴۱
شکل ۳-۸-کاربرد سیم اتصال به عنوان القاگر ۴۱
شکل ۳-۹-مدار معادل برای محاسبه ی امپدانس ورودی و بهره ۴۲
شکل ۳-۱۰-LNA سورس –مشترک کاسکود باالقاگر در سورس ۴۴
شکل ۳-۱۱-امپدانس ورودی طبقه ی گیت مشترک ۴۵
شکل ۳-۱۲-طبقه ی CGکاسکود ۴۷
شکل ۳-۱۳-LNA گیت مشترک با فیدبک ۴۷
شکل ۳-۱۴-طبقه ی CGدارای پیشخور ۴۸
شکل ۳-۱۵-نمایش مفهومیLNAنویز حذف کن ۴۹
شکل ۳-۱۷-طبقه ی CS/CGبه عنوانLNAنویز حذف کن ۵۱
شکل ۴-۱-تقویت کننده ی غیر خطی با فیدبک منفی ۵۵
شکل ۴-۲-(الف) LNA با سلف سورس دژنراسیون و(ب)مدل سیگنال کوچک ۵۷
شکل ۴-۳-LNAسورس مشترک با ترمینال امپدانسی ۵۹
شکل ۴-۴-گیت مشترک با منبع جریان RF ۶۰
شکل ۴-۵-مشخصات هدایت انتقالی ترانزیستور NMOS ۶۰
شکل ۴-۶-سه روش ارائه شده تکنیک خطی سازی با پیشخور ۶۲
شکل ۴-۷-تکنیک خطی سازی فیدفوروارد با دو مسیر کمکی ۶۳
شکل ۴-۸-روش DSبا دو ترانزیستورNMOS ۶۵
شکل ۴-۹- اعوجاج مرتبه ی سوم ترانزیستور اصلی و کمکی و خروجی کل ۶۵
شکل ۴-۱۰-روش DSبا اضافه کردن ترانزیستور در ناحیه تریودیک ۶۶
شکل ۴-۱۱-(الف)روش مکمل DSبا ترکیب سورس مشترک(ب)مکمل DSبا ترکیب گیت مشترک ۶۷
شکل ۴-۱۲-مقایسه روش DSمتداول با روش DSمکمل ۶۸
شکل ۴-۱۳-دیاگرام برداری برای مولفه های اعوجاج DSمتداول ۶۹
شکل ۴-۱۴-دیاگرام برداری برای مولفه های اعوجاج DS اصلاح شده ۶۹
شکل ۴-۱۵-مدارهای بکار برده شده در ردش DSاصلاح شده[50] ۶۹
شکل ۴-۱۶-بلوک دیاگرام و سلول بکار رفته در روش تزریق IM2[51] ۷۲

شکل ۴-۱۷-مفهوم کلی خطی سازی با روش خنثی سازی نویز..... ۷۳
شکل ۴-۱۸-خنثی سازی نویز و اعوجاج (الف)تک خروجی(ب)خروجی تفاضلی..... ۷۳
شکل ۴-۱۹-مفهوم کلی روش ارسال اعوجاج..... ۷۴
شکل ۴-۲۰-مدارهای بکار برده شده در روش ارسال اعوجاج..... ۷۵
شکل ۵-۱-توپولوژی مدار ارائه شده کار اول..... ۷۷
شکل ۵-۲-نمودار تلفات ورودی مدار ۷۸
شکل ۵-۳- نمودار بهره مدار ارائه شده کار اول..... ۷۸
شکل ۵-۴- نمودار عدد نویز مدارارائه شده کار اول..... ۷۹
شکل ۵-۵- توپولوژی مدارارائه شده کار دوم..... ۸۰
شکل ۵-۶- نمودارعدد نویز مدار ارائه شده کاردوم..... ۸۰
شکل ۵-۸- نمودار میزان خطینگی مدار ارائه شده کار دوم..... ۸۱
شکل ۵-۹-توپولوژی مدار ارائه شده کار سوم..... ۸۱
شکل ۵-۱۰- تلفات ورودی و خروجی مدار ارائه شده کار سوم..... ۸۲
شکل ۵-۱۱- نمودار بهره مدار ارائه شده کار سوم..... ۸۳
شکل ۵-۱۲- نمودار نویز مدار ارائه شده کار سوم..... ۸۳
شکل۵-۱۳-توپولوژی مدار ارائه شده کار چهارم..... ۸۴
شکل ۵-۱۴- نمودار بهره توان مدار ارائه شده کار چهارم..... ۸۴
شکل ۵-۱۵- نمودار تلفات ورودی مدار ارائه شده کار چهارم..... ۸۵
شکل ۵-۱۶- نمودار عدد نویز مدار ارائه شده کار چهارم..... ۸۵
شکل ۶-۱- شماتیک کلی مدار طراحی شده..... ۸۸
شکل ۶-۲-محاسبه ی امپدانس ورودی..... ۸۹
شکل ۶-۳-نتایج شبیه سازی (الف)تلف بازگشتی(ب) پایداری..... ۹۰
شکل ۶-۴-نتایج شبیه سازی بهره LNAپیشنهادی..... ۹۲
شکل ۶-۵- مدار معادل نویز LNAپیشنهادی..... ۹۲
شکل ۶-۶-نتایج شبیه سازی عدد نویز LNAپیشنهادی..... ۹۵
شکل ۶-۷- مدار معادل خطی سازی LNAپیشنهادی..... ۹۶
شکل ۶-۸-روند بهبود خطی سازی LNAپیشنهادی..... ۹۸
شکل ۶-۹-نتایج شبیه سازیIIP3 LNAپیشنهادی..... ۹۹

فهرست جداول

جدول **صفحه**

جدول ۱-۱-باندهای فرکانسی و کاربرد های آن..... ۳
جدول ۳-۱-آرایش های مختلف LNA..... ۳۴
جدول ۴-۱-دید کلی از منابع نویز و تکنیک های خطی سازی..... ۵۵
جدول ۶-۱-پارامترهای اهداف طراحی..... ۸۸
جدول ۶-۲- پارامترهای دست یافته شده ی مدار پیشنهادی..... ۱۰۱
جدول ۶-۳- مقایسه مدار پیشنهادی با دیگر کارهای انجام شده..... ۱۰۱

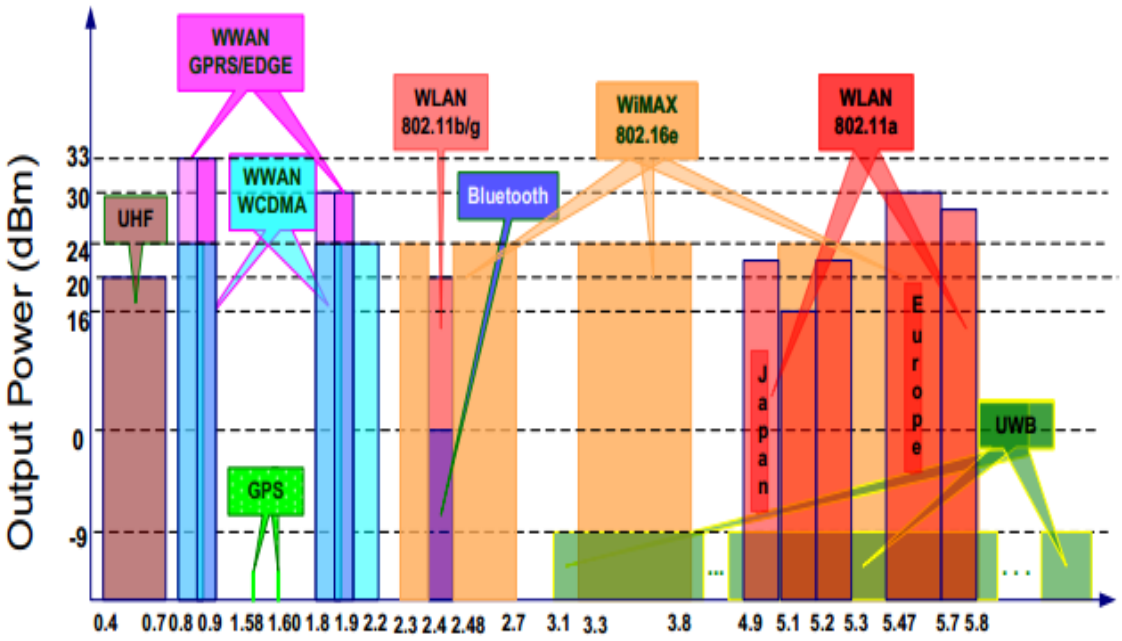
فصل اول

مقدمه

۱-۱-معرفی فناوری فرکانس رادیویی

سیستم های ارتباط رادیویی از جو یا فضای خلاء به عنوان محیط انتقال اطلاعات استفاده می کنند و از این جهت بر سیستم های ارتباطی به وسیله کابل موجبر یا فیبر نوری برتری دارند که برای ره دور به هزینه سرمایه گذاری اولیه کمتر و زیر بنای تجهیزاتی محدودتری نیازمندند.امروزه برای امواج رادیویی کاربردهایی بجز مخابرات نیز به وجود آمده است از جمله کابرد های پزشکی و درمانی با امواج مایکروویو تشخیص و مشاهده منابع زمین توسط ماهواره واز این قبیل.طیف امواج مورد استفاده فرکانس و کاربرد آنها به اختصار در جدول (۱-۱) ملاحظه می شود[1].

مخابرات بی سیم تقریباً به اندازه برق فراگیر شده است. عوامل زیادی در این رشد انفجاری دخیل بوده‌اند.دلیل اصلی وفور مخابره بی سیم و کاهش روز افزون قیمت وسایل الکترونیکی است



شکل (۱-۱) استادندار های باند فرکانسی[1]

امواج بلند LW 30KHz-300KHz	هدایت و ناوبری دریایی-ناوبری هوایی-فرستنده های رایویی
امواج متوسط MW 30KHz-3MHz	پخش برنامه های رادیویی-مخابرات دریایی-ناوبری هوایی
امواج کوتاهHW 3MHz -30MHz	پخش برنامه های رادیویی راه دور-مخابرات دریایی و هوایی
امواج خیلی کوتاهVHW 30MHz -300MHz	پخش برنامه های تلویزیونی-مخابرات نظامی-مخابرات هوایی
امواج فوق العاده کوتاه UHW 300MHz -1GHz	مخابرات فضایی-رایو تلویزیون-مخابرات سیار- پخش برنامه های تلویزیونی-مخابرات نظامی-مخابرات هوایی
امواج مایکروویو 1GHz -30GHz	ارتباط بین شهری-مخابرات ماهواره ای-مخابرات نظامی و رادار-تصویر برداری مایکروویو-مکان یابی جهانی-مخابرات فضایی
امواج میلیمتری 30GHz-300GHz	مخابرات ماهواره ای-ناوبری فضایی-مخابرات نظامی و رادار-ارتباطبین ماهواره ها

جدول (۱-۱)باندهای فرکانسی و کاربرد های آن[6]

۱-۲- چالش های طراحی RF

چالش های موجود در طراحی و پیاده سازی مداری RF و فرستنده-گیرنده سه دلیل می باشد[2]
اول اینکه طراحی RF مستلزم به کارگیری روش های مختلفی است و طراح باید درک خوبی از حوزه های داشته باشد. که در ظاهر به مدار مجتمع ارتباطی ندارند. دوم اینکه مدارهای RF فرستنده- گیرنده با بده بستان های زیادی درگیر هستند که تحت عنوان شش ضلعی طراحی RF خلاصه شده است. بطور مثال برای کاهش نویز تقویت کننده ی طرف ورودی باید توان بیشتری مصرف کنیم یا خطی سازی را فدا کنیم.

شکل(۱-۲) شش ضلعی طراحی RF[2]

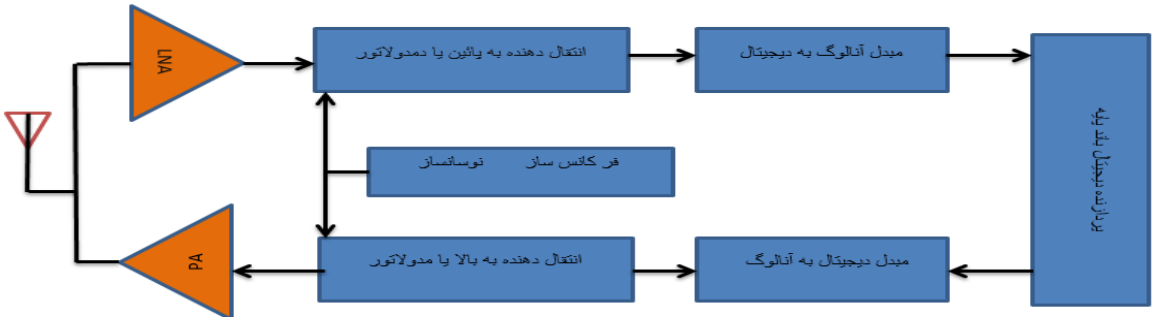
دلیل سوم این است که افزایش تقاضا برای کیفیت بهتر، قیمت بهتر و کارکر برتر چالش های جدیدی را در پی داشته است. هدف فرستنده – گیرنده RFارسال ودریافت اطلاعات می باشد.فرستنده به گونه ای سیگنال صدا یا داده را پردازش می کند و نتیجه را به آنتن میدهد.به نحوی مشابه گیرنده سیگنال دریافت شده توسط آنتن را پردازش میکند تا اطلاعات صدا یا سیگنال اصلی را بازسازی کند.

۱-۳-تصویر کلی

به سادگی میتوانبه دو مطلب مهم پی برد (۱) فرستنده باید توان زیادی به آنتن بدهد تا سیگنال ارسالی با شدت کافی در فاصله دور دریافت شنود(۲)گیرنده سیگنال کوچکی دریافت می کند وباید سیگنال را با نویز کمی تقویت کند. شکل(۱-۳)یک گیرنده RFنوعی را نشان میدهد که در ان سیگنالی که باید ارسال شود ابتدا به یک مدولاتور یا انتقال دهنده به بالا داده می شود تا فرکانس مرکزی ان از صفر مثلا به 2.4GHz منتقل شود[2]

سیگنال حاصل توسط یک تقویت کننده ی توان (PA) به آنتن اعمال می شود و در طرف گیرنده سیگنال ابتدا توسط یک تقویت کننده ی کم نویز تقویت شده سپس به یک انتقال دهنده به پائین یا دمدولاتور داده

می شود.مسیر انتقال دهنده به بالا و انتقال به پائین توسط یک نوسانساز تحریک میشود که خود با یک فرکانس سازکنترل می شود که شماتیک کلی گیرنده –فرستنده در شکل(۱-۳)نشان داده شده است



شکل(۱-۳) تصویر کلی یک فرستنده-گیرنده RFنوعی[2]

این احتیاجات مستلزم استفاده از انتشار تکنیک های طیفی است. هدف از دریافت کننده ی آنالوگ سر جلویی (Front-end) این است که شرایطی برای دریافت سیگنال آنالوگ به دیجیتال شدن مهیا شود تا بالاترین عملکرد بعد از دیکد شدن در دامنه ی دیجیتال قابل دستیابی باشد. [3]

اولین و به احتمال زیاد حیاتی ترین (ضروری ترین) جزء از سیستم های آنالوگ سر جلویی (front-end) ، تقویت کننده ی کم نویز یا LNA است. که هدف از آن تقویت سیگنال های دریافتی از آنتن با مقدار کمی اعواجاج و نویز می باشد و این وسیله ی طراحی یک شبکه ی تطبیق مناسب دست یافتنی است.

اگر چه اخیرا پیشرفت زیادی در کاربرد موثر تقویت کننده های کم نویز با پهنای باند کم بوجود آمده ولی ملزومات تقویت کننده ی کم نویز برای سیستم های با پهنای باند بسیار وسیع(UWB) اختلاف بنیادی با تقویت کننده های کم نویز برای سیستم هایی با پهنای باند باریک دارد.

برخلاف تقویت کننده های کم نویز با پهنای باند باریک، پهنای سیگنال یک رادیو با پهنای باند بالا(UWB Radio)از لحاظ دامنه چندین مرتبه بزرگ تر است. از این رو ، فرض به کار بردن چنین سیگنالی در تقویت کننده های کم نویز با پهنای باند باریک اساس بی اعتبار و دارای اشکال می باشد و نیز ساخت بسیاری از سیستم های دارای پهنای باند باریک که طراحی آن ها مبنی بر این فرض است نیز نامناسب می باشد.[4]

معیار عمومی به کاربرده شده برای تعیین عملکرد تقویت کننده های کم نویز (LNA) نویزفیگر (NF) یا همان ضریب نویز است. که به عنوان نسبت SNR در ورودی تقویت کننده ی کم نویز به SNR در خروجی

تقویت کننده ی کم نویز تعریف می شود. اگر چه استفاده از معیار نویز فیگر در سیستم هایی با پهنای باند باریک درست و آسان می باشد، اما استفاده از آن در سیستم هایی با پهنای باند بالا مشکل تر و سخت تر می شود.

مشکل اصلی از تعریف SNR ناشی می شود. در یک سیستم با پهنای باند باریک، آن جایی که سیگنال ورودی و نویز تلفیق شده تا به یک سیگنال در فرکانس حامل تبدیل شود، SNR به سادگی توسط جدا کردن ضریب سیگنال و ضریب نویز به دست آورده می شود.[4]

فصل دوم

مفاهیم پایه در طراحی

تقویت کننده های کم نویز