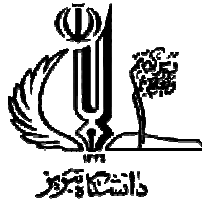


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر گروه الکترونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - الکترونیک

عنوان

طراحی تقویت کننده کم نویز قابل تغییر برای گیرنده مولتی استاندارد

استاد راهنما

دکتر منوچهر بهرامی

اساتید مشاور

دکتر جعفر صبحی

دکتر ضیاءالدین دایی کوزه کنانی

پژوهشگر

محمد جعفری هرستانی

شهریور ۱۳۹۰

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی،  
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است،  
به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید،  
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند،

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

و به خواهرانم  
که سپید اندیش روشنی اند و دستم را به شاخه تجلی رسانند و در زلالی آینه ها و خورشیدها، ثابتهای شفاف  
فریاد سنجی را با جلوه های بی بدیل می آفرینند.

## تقدیر و تشکر

در این فرصت بر خود لازم می‌دانم که مراتب سپاس و قدر دانی خود را از بزرگوارانی که به نحوی در انجام این پروژه یاری رسانده‌اند، ابراز دارم. از جناب آقای دکتر بهرامی که به قبول این پایان‌نامه مفتخر نمودند، صمیمانه سپاسگذارم. بهترین تشکراتم را تقدیم به استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر صبحی می‌نمایم، که در طول این دوره تحصیلی با صبر و حوصله یاریم نموده و همواره پشتیبان و راه‌گشایم بوده‌اند. همچنین از استاد بزرگوار، جناب آقای دکتر کوزه کنانی، که زحمت مشاوره این پایان‌نامه را برعهده داشتند، سپاس‌گزاری می‌کنم.

از دوستان خوبم در خوابگاه و گروه طراحی آی‌سی نهایت تشکر را دارم؛ خاطرات شیرین با آنها بودن، و کمک‌ها و لطف بی‌دریغ ایشان همیشه در یادم خواهد ماند.

نام خانوادگی دانشجو: جعفری هرستانی	نام: محمد
عنوان پایان نامه: طراحی تقویت کننده کم نویز قابل تغییر برای گیرنده مولتی استاندارد	
استاد راهنما: دکتر منوچهر بهرامی	
استادان مشاور: دکتر جعفر صبحی ، دکتر ضیاءالدین دایی کوزه کنانی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی برق گروه: الکترونیک دانشگاه: تبریز	
دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر تاریخ فارغ التحصیلی: ۹۰/۶/۲۰ تعداد صفحه: ۱۰۴	
کلید واژه‌ها: گیرنده رادیویی، تقویت کننده کم نویز، CMOS، چند استاندارد.	
چکیده :	
<p>مدارهای مجتمع فرکانس بالا برای همه وسایل الکترونیکی قابل حمل که در ارتباطات بی سیم استفاده می شوند، لازم هستند. مدارات فرکانس بالای اولیه با استفاده از تکنولوژی های SiGe یا GaAs ، به دلیل خواص فرکانس بالای فوق العاده آنها، پیاده سازی می شدند. اخیراً، سائز ترانزیستور MOS در تکنولوژی CMOS به طور مداوم در حال کم شدن بوده است تا خواص فرکانس بالای آن را بهبود دهد؛ که باعث شده پروسه های CMOS برای استفاده در مدارات مجتمع فرکانس بالا جذاب تر شوند. همراه با مزایای قابلیت مجتمع سازی بالا و هزینه کم برای تولید انبوه، مدارات مجتمع فرکانس بالا با قابلیت کار در باندهای فرکانسی گیگاهرتز، در تکنولوژی CMOS ساخته شده اند.</p> <p>در یک گیرنده فرکانس بالا، تقویت کننده کم نویز به دلیل اینکه در طبقه اول گیرنده فرکانس بالا قرار دارد، نقش مهمی ایفا می کند. در نسل جدید گیرنده ها تقویت کننده کم نویز از مهم ترین چالش های طراحی می باشد. در گیرنده های چند استاندارد LNA باید مشخصه های استانداردهای مختلف مانند تطبیق امپدانس، عدد نویز و خطیت را در شرایطی که مقادیر مختلفی دارند، ارضا کند.</p> <p>در این پایان نامه یک تقویت کننده کم نویز برای استانداردهای بی سیم طراحی شده است. این استانداردها شامل IEEE802.11a/b/g، Bluetooth هستند.</p> <p>پایه طراحی در این کار براساس مدارات حذف نویز می باشد. فراهم کردن بهره ولتاژ بالا همزمان با القای نویز کم به سیگنال توسط مدار، در محدوده فرکانسی پهن باند، مهمترین چالش این شبیه سازی</p>	

ادامه چکیده:

می باشد. برای دست یابی به خطینگی خوب، از یک امپدانس لود با قابلیت تنظیم در دو بانده فرکانسی در خروجی طبقه اول استفاده کرده ایم. تقویت کننده کم نویز، در پروسه 0.18um RF CMOS با استفاده از نرم افزار ADS شبیه سازی شده است.

## فهرست مطالب :

۱.....	مقدمه
۳.....	فصل اول: بررسی منابع و پیشینه پژوهش
۴.....	۱-۱ پارامترهای S
۷.....	۲-۱ پایداری
۷.....	۱-۲-۱ تست $K-\Delta$
۸.....	۲-۲-۱ تست $\mu$
۸.....	۳-۱ نویز
۱۰.....	۱-۳-۱ منابع نویز در ترانزیستورهای MOS
۱۳.....	۲-۳-۱ عدد نویز
۱۵.....	۳-۳-۱ عدد نویز در چند طبقه متوالی
۱۶.....	۴-۱ حساسیت
۱۷.....	۵-۱ اثرات غیر خطی
۱۷.....	۱-۵-۱ محدوده دینامیکی
۱۸.....	۲-۵-۱ نقطه فشردگی
۱۸.....	۳-۵-۱ نقطه تقاطع سوم
۲۱.....	۴-۵-۱ خطینگی در چند طبقه متوالی
۲۲.....	۶-۱ خطی سازی
۲۳.....	۱-۶-۱ روش های خطی سازی
۴۳.....	۲-۶-۱ کاربردهای پهن باند
۴۵.....	۷-۱ تطبیق امپدانس

۵۰.....	۸-۱ معرفی چند مدار تقویت کننده کم نویز چند استاندارد
۵۱.....	۱-۸-۱ تقویت کننده کم نویز دارای فیدبک با سویچ ترانزیستوری
۵۲.....	۲-۸-۱ تقویت کننده کم نویز پهن باند 0.5-11 GHz
۵۴.....	۳-۸-۱ تقویت کننده با رنج تیونینگ 2.4-5.4 GHz
۵۵.....	۴-۸-۱ تقویت کننده پهن باند با رنج 3-10 GHz
۵۸.....	۵-۸-۱ پیاده سازی GSM/WCDMA/WLAN
۶۱.....	۶-۸-۱ مدار برای دو استاندارد CDMA/WCDMA
۶۳.....	۷-۸-۱ مدار برای دو استاندارد DECT/Bluetooth
۶۴.....	۸-۸-۱ تقویت کننده کم نویز برای استانداردهای DCS1800/WCDMA
۶۶.....	۹-۸-۱ مدار برای استانداردهای IEEE802.11a/b
۶۹.....	۱۰-۸-۱ تقویت کننده برای استانداردهای GPS و UMTS
۷۲.....	فصل دوم: مبانی و روش ها
۷۲.....	۱-۲ استانداردهای مخابراتی
۷۷.....	۲-۲ انتخاب تکنولوژی
۸۰.....	۳-۲ مدارات حذف نویز
۸۶.....	۴-۲ تحلیل فیلتر notch
۹۱.....	فصل سوم: نتایج و بحث
۹۱.....	۱-۳ تحلیل نویز
۹۲.....	۲-۳ پارامترهای S
۹۴.....	۳-۳ پایداری
۹۸.....	۴-۳ خطینگی



۹۹.....	۵-۳ جدول مقایسه
۱۰۰.....	۶-۳ نتیجه گیری
۱۰۱.....	۷-۳ پیشنهادات
۱۰۲.....	مراجع

## فهرست اشکال:

- شکل ۱-۱: شبکه دو قطبی [۱]..... ۵
- شکل ۲-۱: مدار معادل نویز گرمایی مقاومت [۱]..... ۱۰
- شکل ۳-۱: منابع نویز در یک ترانزیستور CMOS..... ۱۳
- شکل ۴-۱: مدل سیگنال کوچک ترانزیستور MOS..... ۱۴
- شکل ۵-۱: چند طبقه متوالی تقویت کننده..... ۱۶
- شکل ۶-۱: نقطه فشردگی 1dB بهره..... ۱۸
- شکل ۷-۱: اعوجاج ناشی از دو مولفه در نزدیکی فرکانس اصلی [۳]..... ۱۹
- شکل ۸-۱: نقطه تقاطع مرتبه سوم..... ۲۱
- شکل ۹-۱: تقویت کننده غیر خطی با فیدبک منفی [۴]..... ۲۴
- شکل ۱۰-۱ (a): تقویت کننده کم نویز Inductively source-degenerated..... ۲۶
- شکل ۱۱-۱: تقویت کننده کم نویز سورس مشترک با امپدانس های پایه ها [۴]..... ۲۷
- شکل ۱۲-۱: مشخصات هدایت انتقالی NMOS [۴]..... ۳۰
- شکل ۱۳-۱: دیاگرام روش مسیر پیشخور [۴]..... ۳۱
- شکل ۱۴-۱ (a,b): دو ساختار دیگر مسیر پیشخور [۴]..... ۳۲
- شکل ۱۵-۱: روش خطی سازی پیشخور با دو مسیر کمکی [۴]..... ۳۳
- شکل ۱۶-۱ (a): روش DS با دو ترانزیستور NMOS (b) اعوجاج مرتبه سوم [۴]..... ۳۵
- شکل ۱۷-۱: روش DS با ساختار (a) سورس مشترک [۸] (b) گیت مشترک [۷]..... ۳۶
- شکل ۱۸-۱: مقایسه DS معمولی و تکمیلی از لحاظ ترم های اعوجاج  $g_2$  و  $g_3$ ..... ۳۷
- شکل ۱۹-۱: نمودار گرافیکی اجزاء اعوجاج (a) روش DS معمولی (b) روش DS..... ۳۸
- شکل ۲۰-۱: پیاده سازی مداری روش DS اصلاح شده [۹]، [۱۰]..... ۳۹
- شکل ۲۱-۱: بلوک دیاگرام و اجرای بلوک های اصلی روش تزریق IM2 [۱۱]..... ۴۰
- شکل ۲۲-۱: کنسل کردن نویز/اعوجاج (a) خروجی تفاضلی [۱۲] (b) خروجی تک سر [۷]..... ۴۲
- شکل ۲۳-۱ (a): نمای مفهومی port distortion (b,c,d) ساختارهای پیاده سازی شده..... ۴۳

- شکل ۲۴-۱: طرح های پایه برای تطبیق امپدانس ورودی مدار ..... ۴۷
- شکل ۲۵-۱: مدل سیگنال کوچک Inductively Source Degenerated LNA ..... ۴۹
- شکل ۲۶-۱: تقویت کننده کم نویز دارای فیدبک با سویچ ترانزیستوری [۱۷] ..... ۵۱
- شکل ۲۷-۱: ساختار تقویت کننده کم نویز UWB ارایه شده [۱۸] ..... ۵۲
- شکل ۲۸-۱: مدار پیشنهادی برای LNA قابل تغییر [۱۹] ..... ۵۴
- شکل ۲۹-۱: افزایش پهنای باند در ورودی [۲۰] ..... ۵۶
- شکل ۳۰-۱: امپدانس ورودی با افزودن LC موازی [۲۰] ..... ۵۶
- شکل ۳۱-۱: ورودی مدار inductive source degeneration [۲۰] ..... ۵۶
- شکل ۳۲-۱: مدار برای کار در فرکانس ۳ تا ۱۰ گیگا هرتز [۲۰] ..... ۵۷
- شکل ۳۳-۱: ساختار یک تقویت کننده کم نویز با فیدبک مثبت [۲۱] ..... ۵۸
- شکل ۳۴-۱: تقویت کننده کم نویز مالتی مد با فیدبک مثبت ..... ۶۰
- شکل ۳۵-۱: LNA برای CDMA/WCDMA [۲۲] ..... ۶۱
- شکل ۳۶-۱: تقویت کننده برای DECT/BLUETOOTH [۲۳] ..... ۶۳
- شکل ۳۷-۱: تقویت کننده برای DCS1800/W-CDMA [۲۴] ..... ۶۵
- شکل ۳۸-۱: مدار برای 802.11A/B [۲۵] ..... ۶۶
- شکل ۳۹-۱: مدار ورودی در فرکانس پایین [۲۵] ..... ۶۶
- شکل ۴۰-۱: مدار ورودی در فرکانس بالا [۲۵] ..... ۶۶
- شکل ۴۱-۱: مدار ارائه شده برای دو باند [۲۶] ..... ۶۷
- شکل ۴۲-۱: قسمت حقیقی امپدانس ورودی در برابر تغییر فرکانس [۲۶] ..... ۶۹
- شکل ۴۳-۱: تقویت کننده current Reuse برای دو استاندارد [۲۷] ..... ۷۰
- شکل ۴۴-۱: اساس طراحی تقویت کننده Current Reuse [۲۷] ..... ۷۰
- شکل ۱-۲: مسیر سیگنال و نویز در تقویت کننده [۳۰] ..... ۸۰
- شکل ۲-۲: تقویت کننده کم نویز پهن باند با استفاده از تکنیک حذف نویز ..... ۸۱
- شکل ۳-۲: طرح اولیه پیاده سازی LNA با استفاده از تکنیک حذف نویز [۳۰] ..... ۸۲
- شکل ۴-۲: مدار پیشنهادی برای کار در استانداردهای جدول ۳-۲ ..... ۸۴

- شکل ۲-۵: دو شبکه فیلتر notch با دو فرکانس پیک [۳۱]..... ۸۶
- شکل ۲-۶: امپدانس لود برحسب فرکانس برای فیلتر notch به کار رفته ..... ۸۷
- شکل ۲-۷: نمایش پارامتری فیلتر استفاده شده ..... ۸۸
- شکل ۲-۸: امپدانس لود برحسب فرکانس با Cهای متفاوت ..... ۸۸
- شکل ۲-۹: امپدانس لود برحسب فرکانس با kهای متفاوت ..... ۸۹
- شکل ۳-۱: نمودار عدد نویز (NF) برای دو بازه فرکانسی ..... ۹۲
- شکل ۳-۲: نمودار تطبیق امپدانس ورودی (S11) ..... ۹۲
- شکل ۳-۳: نمودار بهره (S21) در کل باند فرکانسی ..... ۹۳
- شکل ۳-۴: ایزولاسیون معکوس (S12) ..... ۹۳
- شکل ۳-۵: تطبیق امپدانس خروجی (S22) ..... ۹۴
- شکل ۳-۶: نمودار پایداری با استفاده از تست  $\mu$  ..... ۹۴
- شکل ۳-۷: نمودار عدد نویز در گوشه FF ..... ۹۶
- شکل ۳-۸: نمودار عدد نویز در گوشه SS ..... ۹۶
- شکل ۳-۹: تطبیق امپدانس ورودی در گوشه FF ..... ۹۶
- شکل ۳-۱۰: تطبیق امپدانس ورودی در گوشه SS ..... ۹۶
- شکل ۳-۱۱: نمودار پاسخ فرکانسی در گوشه FF ..... ۹۶
- شکل ۳-۱۲: نمودار پاسخ فرکانسی در گوشه SS ..... ۹۶
- شکل ۳-۱۳: ایزولاسیون معکوس در گوشه FF ..... ۹۷
- شکل ۳-۱۴: ایزولاسیون معکوس در گوشه SS ..... ۹۷
- شکل ۳-۱۵: تطبیق امپدانس خروجی در گوشه FF ..... ۹۷
- شکل ۳-۱۶: تطبیق امپدانس خروجی در گوشه SS ..... ۹۷
- شکل ۳-۱۷: نمودار پایداری در گوشه FF ..... ۹۷
- شکل ۳-۱۸: نمودار پایداری در گوشه SS ..... ۹۷

## فهرست جداول:

جدول ۱-۲: سه مسیر ذاتی فیدبک	۲۸
جدول ۲-۲: مشخصه‌های مدار طراحی شده برای CDMA/WCDMA	۶۲
جدول ۳-۲: مشخصه‌های DECT/BLUETOOTH	۶۴
جدول ۴-۲: حالت سویچ‌ها برای کارکرد مدار DCS1800/W-CDMA	۶۵
جدول ۵-۲: مشخصه‌های مدار DCS1800/W-CDM	۶۵
جدول ۶-۲: مشخصه‌های مدار 802.11A/B	۶۷
جدول ۷-۲: مشخصه‌های مدار خودتطبیق برای 802.11a/b	۶۹
جدول ۱-۲: تقسیم بندی استانداردهای مختلف براساس فرکانس کاری	۷۴
جدول ۲-۲: مشخصه‌های عمومی بعضی استانداردها	۷۵
جدول ۳-۲: استانداردهای مورد استفاده در این پایان نامه	۷۶
جدول ۱-۳: نتایج $P_{1dB}$ و $IIP3$ در فرکانسها و گوشه‌های مختلف	۹۸
جدول ۲-۳: مقایسه مشخصه مدار طراحی شده با دیگر طرح‌های ارائه شده	۹۹

مقدمه

اخیرا به خاطر پیشرفت های سریع در تکنولوژی بی سیم استانداردهای مختلفی ارائه شده اند. کاربران فعلی از آنجایی که احتیاج به دسترسی به بیشتر از یک نوع شبکه بی سیم دارند به دنبال ادواتی هستند که بیش از یک استاندارد را پشتیبانی کنند. از این رو تحقیقات بر روی گیرنده-فرستنده های مولتی استاندارد برای برآورده کردن تقاضای بی سیم با سرعت پیشرفت کرد.

با افزایش تعداد استانداردهای مورد نظر، هزینه، اندازه و وزن سیستم افزایش می یابد. یک گیرنده مولتی استاندارد باید از لحاظ اندازه و مصرف توان با یک گیرنده تک استاندارد قابل مقایسه باشد. بنابر این مسیر تحقیقات از گیرنده-فرستنده چند مسیره به گیرنده-فرستنده مولتی استاندارد تک مسیره نزدیکتر به SDR برای استفاده دوباره از اجزا، تغییر یافت.

یکی از بخش های اصلی یک گیرنده مولتی استاندارد تقویت کننده کم نویز می باشد. تقویت

---

کننده کم نویز نوع خاصی از تقویت کننده های الکترونیکی می باشد که در سیستم های مخابراتی برای تقویت سیگنال های ضعیف دریافتی از آنتن استفاده می شود.

طراحی تقویت کننده کم نویز، با توجه به موقعیت آن در مدار، با بعضی محدودیت ها روبرو است، که با پیچیده شدن مدار و افزایش استانداردهای کاری این محدودیت ها افزایش خواهند یافت. برای طراحی تقویت کننده کم نویز در گیرنده های با قابلیت کار در چند استاندارد مختلف، روش های زیادی پیشنهاد شده است. هر کدام از این روش ها مزایا و معایب خاصی دارند.

در این پایان نامه ابتدا روش های مختلف طراحی مدارات کم نویز با قابلیت کارکرد در چند استاندارد مختلف آمده است. این روش ها شامل استانداردهای پهن باند و باریک باند با فرکانس مرکزی نزدیک یا دور از هم می باشد.

در فصل دوم استانداردهای کاری و تکنولوژی مورد استفاده تعریف شده، و در نهایت مدار طراحی و شبیه سازی شده معرفی می شود. در فصل سوم نیز نتایج تحلیل های مختلف روی مدار آمده است.



## فصل اول

# بررسی منابع و پیشینه پژوهش





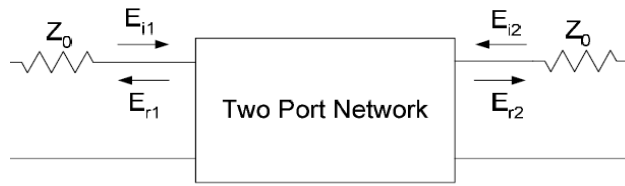
۱-۱ پارامترهای  $S^1$ 

شبکه‌های دو دریچه‌ای با پارامترهای مختلفی تعریف می‌شوند. متداولترین روش تعریف آن‌ها استفاده از نسبت‌های ولتاژ-جریان، ورودی-خروجی به صورت یک ماتریس  $2 \times 2$  می‌باشد. بسته به این که کدام جفت از این چهار متغیر، به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شوند، ماتریس‌های مختلفی شکل گرفته می‌شود. ماتریس امپدانس ( $Z$ )، ماتریس ادمیتانس ( $Y$ )، ماتریس هیبرید ( $H$ )، معروفترین ماتریس‌هایی هستند که برای شبکه دو دریچه‌ای با نسبت‌های ولتاژ-جریان تعریف شده‌اند. برای پیدا کردن عناصر این ماتریس‌ها تست‌های اتصال کوتاه و مدار باز مختلفی، بسته به نوع ماتریس، بر روی شبکه انجام می‌گیرد.

این تست‌ها در فرکانس‌های خیلی بالا، با توجه به وجود خازن‌ها و سلف‌های انحرافی و خواص خطوط انتقال امکان‌پذیر نمی‌باشند.

---

<sup>1</sup> Scattering Parameters



شکل ۱-۲: شبکه دو قطبی [۱]

به علت محدودیت‌ها در انجام تست‌های اتصال کوتاه و مدار باز، و امکان آسیب دیدن این مدارات، راه حل دیگری برای توصیف شبکه در فرکانس‌های بالا ارائه شده است.

یکی از متداول‌ترین روش‌ها تعریف پارامترهای پراکندگی<sup>۱</sup> (پارامترهای S) می‌باشد، که براساس تابش-بازتابش ورودی-خروجی موج ولتاژ یا توان تعریف می‌شود.

اساس تعریف پارامترهای S بر این حقیقت استوار است، که در خروجی خط انتقال اگر امپدانس مشخصه تغییر نکند، بازتاب توانی وجود نخواهد داشت. بلوک دیاگرام شکل ۱-۲ یک شبکه دو دریچه‌ای را نشان داده است.  $Z_0$  امپدانس پایانه‌های منبع و بار شبکه و  $E_{ii}$  و  $E_{ri}$  دامنه تابش و بازتاب، موج ولتاژ است. ضرایب پارامترهای S به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} b_1 &= s_{11}a_1 + s_{12}a_2 \\ b_2 &= s_{21}a_1 + s_{22}a_2 \end{aligned} \quad (1-2)$$

که در آن

$$\begin{aligned} a_1 &= E_{i1}/\sqrt{Z_0} \quad a_2 = E_{i2}/\sqrt{Z_0} \\ b_1 &= E_{r1}/\sqrt{Z_0} \quad b_2 = E_{r2}/\sqrt{Z_0} \end{aligned} \quad (2-2)$$

نرمالیزه کردن به مجذور  $Z_0$  باعث برابر شدن مربع  $a_i$  و  $b_i$  با توان موج تابش و بازتابش در

<sup>۱</sup>Scattering Parameters

دوسر ورودی و خروجی خواهد شد.

اگر سر خروجی در  $Z_0$  قطع شود،  $a_2$  برابر صفر شده و با اعمال یک منبع توان به سر ورودی روابط زیر به دست خواهد آمد.

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} = \frac{E_{r1}}{E_{i1}} S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} = \frac{E_{r2}}{E_{i1}} \quad (۳-۲)$$

$S_{11}$  ضریب بازتاب ورودی نامیده می‌شود و روشی عملی برای انطباق امپدانس در ورودی تقویت کننده کم نویز می‌باشد.  $S_{21}$  نیز بهره مستقیم تقویت کننده می‌باشد.

در طرف مقابل اگر دو سر ورودی شبکه باز باشد و توان از سر خروجی اعمال گردد، خواهیم

داشت:

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} = \frac{E_{r1}}{E_{i2}} S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} = \frac{E_{r2}}{E_{i2}} \quad (۴-۲)$$

که  $S_{12}$  ضریب بهره معکوس و  $S_{22}$  ضریب بازتاب خروجی شبکه، که معیاری برای تطبیق

امپدانس خروجی می‌باشد، هستند. [۱]

با توجه به این تعاریف، معلوم است که یک تقویت کننده مطلوب باید دارای  $S_{21}$  بزرگ برای

بهره زیاد،  $S_{11}$  و  $S_{22}$  کوچک برای تطبیق مطلوب امپدانس ورودی و خروجی، و در نهایت

کوچک برای پایداری و ایزولاسیون معکوس بزرگ، باشد.

مقادیر مطلوب و معمول پارامترهای  $S$  برای یک تقویت کننده کم نویز به صورت  $S_{11}$  و  $S_{22}$

کوچکتر از  $-10\text{dB}$ ،  $S_{21} > 10\text{dB}$  و  $S_{12} < -30\text{dB}$  می‌باشد. این مقادیر برای اکثر استانداردها قابل

قبول می‌باشد.

## ۲-۱ پایداری<sup>۱</sup>

به علت وجود مسیرهای فیدبک بین ورودی و خروجی، احتمال ناپایداری مدار در بعضی از امپدانس‌های خاص بار و ورودی وجود دارد. یک تقویت‌کننده کم نویز که در حالت عادی پایدار می‌باشد، شاید با تغییرات ولتاژ یا فرکانس‌های بالا و پایین شروع به نوسان کند.

### ۱-۲-۱ تست K-Δ

ضریب پایداری اشترن معیاری برای پایداری مدار به دست می‌دهد. این ضریب در رابطه (۶-۲) آمده است.

$$K = \frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{21}||S_{12}|} \quad (5-2)$$

$$\Delta = |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}| \quad (6-2)$$

وقتی  $K > 1$  و  $\Delta < 1$ ، مدار بدون محدودیت پایدار می‌باشد. به بیان دیگر مدار با هیچ ترکیبی از امپدانس بار و منبع ناپایدار نمی‌شود.

با کاهش  $S_{12}$ ، که معادل افزایش ایزولاسیون معکوس است، پایداری افزایش می‌یابد. روش‌هایی مانند استفاده از بار مقاومتی و خنثی‌سازی برای پایداری بیشتر تقویت‌کننده‌های کم نویز به کار می‌رود.

معادله (۵-۲) برای پایداری در حالت سیگنال کوچک استفاده می‌شود. اگر مدار در حالت

<sup>1</sup>Stability