



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

**دانشگاه تفرش**

دانشکده مهندسی برق

**پایان نامه کارشناسی ارشد**

**طراحی و شبیه‌سازی تقویت‌کننده کم نویز چنداستانداردی**

**با قابلیت پیکربندی مجدد**

**اساتید راهنما:**

دکتر مهدی جعفری پناه

دکتر علی محمد فتوحی

**استاد مشاور:**

مهندس علی پوزیاد

**دانشجو:**

علی نبی‌زاده نظرلو

بِسْمِ ا... الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

## دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی برق

### پایان نامه کارشناسی ارشد

# طراحی و شبیه‌سازی تقویت‌کننده کم نویز چنداستانداردی با قابلیت پیکربندی مجدد

#### اساتید راهنما:

دکتر مهدی جعفری پناه

دکتر علی محمد فتوحی

#### استاد مشاور:

مهندس علی پوزیاد

#### دانشجو:

علی نبی‌زاده نظرلو

۱۳۹۱

تقدیم ہے

پدر، مادر و ہمسرہ عزیزانم

## تقدیر و تشکر

از پدر و مادر بزرگوار و فداکارم نهایت تشکر را دارم. آن‌ها که مهم‌ترین انسان‌ها در زندگی من بوده‌اند، بزرگ‌ترین معلمان زندگی -

ام. حمایت و پشتیبانی بی‌دریغ ایشان بزرگ‌ترین سرمایه زندگی ام بوده است و محبت مینهایتان برایم قابل جبران نیست.

از همسر مهربانم که همیشه پشتیبان من بوده و همواره به من انگیزه داده‌اند، نهایت تشکر را دارم.

لازم می‌دانم از کلیه زحماتی که خانواده ام و اساتید محترم گروه مهندسی برق - الکترونیک دانشگاه‌های تبریز و تفرش که در طی

دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد، برای اینجانب متحمل شدند و همچنین دوست گرانقدرم جناب آقای مهندس امیر

سلطانلو، تشکر و سپاس گزار می‌نمایم.

بهترین تشکراتم را تقدیم به اساتید ارجمندم، دکتر مهدی جعفری پناه، دکتر علی محمد فتوحی و دکتر علی پورزاد می‌نمایم که در طول

این دوره تحصیلی با صبر و حوصله یاریم نموده و همواره پشتیبان و راه‌گشایم بوده‌اند و زحمات راهمایی این پایان نامه را بر عهده

داشتند، سپاس گزار می‌کنم.

## چکیده

**کلمات کلیدی:** گیرنده رادیویی، تقویت کننده کم نویز، CMOS، پارامترهای پراکندگی، چنداستانداردی.

در این پایان نامه یک مدار LNA با قابلیت پیکربندی مجدد برای استانداردهای بی سیم طراحی شده است. برای طراحی این مدار یک طیف فرکانسی ۴ الی ۶ گیگاهرتز در نظر گرفته شده است و یک تقویت کننده با قابلیت پیکربندی مجدد برای این طیف فرکانسی طراحی شده است. این طیف فرکانسی، استانداردهایی مانند WLAN، LAN، Bluetooth و Wi-Fi را پوشش می دهد.

فراهم کردن بهره ولتاژ بالا همزمان با القای نویز کم به سیگنال توسط مدار و همچنین تطبیق امپدانس مناسب در محدوده فرکانسی مورد نظر، مهمترین چالش این پایان نامه است. برای ایجاد بهره مطلوب در باند فرکانسی مورد نظر از دو طبقه LNA متوالی استفاده شده است. ضمناً برای حصول تطبیق امپدانس مطلوب در باند فرکانسی مورد نظر از یک شبکه تطبیق امپدانس استفاده شده است.

LNA طراحی شده در این پایان نامه، در تکنولوژی RF CMOS  $0.24 \mu m$  با استفاده از نرم افزار Advanced Design System 2011.01 شبیه سازی شده است. یک تقویت کننده کم نویز مطلوب باید از نظر پارامترهای پراکندگی (S) دارای  $S_{21}$  بزرگتر از 10dB برای بهره زیاد،  $S_{11}$  و  $S_{22}$  کوچکتر از -10dB برای تطبیق مطلوب امپدانس ورودی و خروجی،  $S_{12}$  کوچکتر از -40dB برای پایداری و ایزولاسیون معکوس بزرگ و در نهایت عدد نویز (NF) کوچکتر از 4dB باشد. برای LNA طراحی شده در این پایان نامه مقادیر  $S_{11} \leq -22.9 dB$ ،  $S_{22} \leq -19.13 dB$  و  $S_{12} \leq -48 dB$ ،  $S_{21} \geq 26.98 dB$  بدست آمده است که مقادیری مطلوب و قابل قبول هستند.

## فهرست

۱	فصل اول: مقدمه و بررسی پیشینه پژوهش.....
۱-۱-۱	مقدمه.....
۲-۱	نویز.....
۱-۲-۱	نویز حرارتی.....
۲-۲-۱	نویز گیت القا شده.....
۳-۲-۱	نویز فلیکر.....
۴-۲-۱	منابع دیگر نویز.....
۳-۱	مفاهیم پایه CMOS LNA.....
۱-۳-۱	اثر غیراستاتیک.....
۲-۳-۱	تئوری نویز دو پایانه‌ای.....
۴-۱	ملزومات و پارامترهای مهم LNA.....
۱-۴-۱	تطبیق امپدانس.....
۲-۴-۱	عدد نویز.....
۳-۴-۱	بهره.....
۴-۴-۱	حساسیت.....
۵-۴-۱	اثرات غیرخطی.....
۱-۵-۴-۱	خطی بودن چند طبقه متوالی.....
۶-۴-۱	پارامترهای S.....
۷-۴-۱	پایداری.....

۳۴	۶-۱- تطبیق امپدانس در طراحی LNA
۳۵	۱-۶-۱- مقاومت موازی در ورودی LNA
۳۶	۲-۶-۱- فیدبک سری - موازی
۳۹	۳-۶-۱- ورودی گیت مشترک
۳۳	۴-۶-۱- ساختار سلف در سورس (Inductive Source Degeneration)
۴۴	۷-۱- ساختارهای تفاضلی
۳۷	۸-۱- معرفی مدارهای تقویت کننده کم نویز چنداستانداردی
۳۷	۱-۸-۱- تقویت کننده برای دو استاندارد IEEE802.11a/b
۴۷	۲-۸-۱- تقویت کننده برای استانداردهای CDMA/WCDMA
۴۲	۳-۸-۱- تقویت کننده inductive source degeneration برای DECT و BLUETOOTH
۴۳	۴-۸-۱- طراحی تقویت کننده برای دو استاندارد DCS1800 و W-CDMA
۵۱	۵-۸-۱- تقویت کننده استانداردهای IEEE802.11a/b
۵۴	۶-۸-۱- تقویت کننده استانداردهای UMTS و GPS
۵۶	۷-۸-۱- تقویت کننده برای IEEE802.11a/b
۵۸	۸-۸-۱- تقویت کننده با استفاده از فیدبک ولتاژ- ولتاژ و تکنیک چند استاندارد کردن
۶۱	۹-۱- معرفی مدارهای تقویت کننده پهن باند
۶۱	۱۰-۱- سیستم های میکروالکترومکانیکی MEMS
۶۷	فصل دوم: مواد و روش ها
۶۷	۱-۲- انتخاب تکنولوژی
۷۲	۲-۲- ساختارهای LNA در تکنولوژی BJT
۷۵	۳-۲- خصوصیات ساختارهای CMOS LNA



۷۶	..... تطبیق ورودی ۱-۳-۲
۷۸	..... عددنویز ۲-۳-۲
۸۰	..... خطی بودن ۳-۳-۲
۸۲	..... بهره ۴-۳-۲
۸۲	..... ایزوالاسیون معکوس و پایداری ۵-۳-۲
۸۲	..... نقطه فشردگی 1-dB ۶-۳-۲
۸۳	..... نقطه تقاطع مرتبه سوم ( $IIP3$ ) ۷-۳-۲
۸۳	..... محدوده دینامیکی ۸-۳-۲
۷۷	..... هدایت انتقالی مؤثر $G_{m,eff}$ ۹-۳-۲
۹۲	..... فصل سوم: تئوری و طراحی LNA چند استاندارد ۹۲
۹۴	..... اهداف طراحی و انتخاب ساختار ۱-۳ ۹۴
۹۴	..... طراحی LNA پیشنهادی ۲-۳ ۹۴
۹۵	..... طراحی هسته LNA ۱-۲-۳ ۹۵
۱۰۳	..... طراحی و شبیه‌سازی دو طبقه متوالی LNA ۲-۲-۳ ۱۰۳
۱۱۰	..... شبیه‌سازی LNA پیشنهادی پایان‌نامه ۳-۲-۳ ۱۱۰
۱۱۷	..... جدول مقایسه ۳-۴ ۱۱۷
۱۱۸	..... نتیجه‌گیری ۴-۴ ۱۱۸
۱۱۹	..... پیشنهاد برای کارهای بعدی ۵-۴ ۱۱۹
۱۲۰	..... مراجع ۱۲۰

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) مدل سیگنال کوچک نویز حرارتی ..... ۴
- شکل (۲-۱) مدل سیگنال کوچک نویز گیت القا شده ..... ۵
- شکل (۳-۱) منابع نویز در ترانزیستور MOS ..... ۷
- شکل (۴-۱) مدل سیگنال کوچک MOS همراه با اثر NQS ..... ۸
- شکل (۵-۱) مدل نویزی شبکه دو پایانه‌ای ..... ۱۰
- شکل (۶-۱) مدل بدون نویز شبکه دو پایانه‌ای ..... ۱۰
- شکل (۷-۱) مدل سیگنال کوچک ترانزیستور MOS ..... ۱۵
- شکل (۸-۱) عدد نویز طبقات متوالی ..... ۱۷
- شکل (۹-۱) نقطه فشردگی 1-dB ..... ۲۰
- شکل (۱۰-۱) تست دو سیگنال مجاور برای سیستم غیر خطی ..... ۲۱
- شکل (۱۱-۱) نقطه تقاطع مرتبه سوم ..... ۲۳
- شکل (۱۲-۱) شبکه دو پایانه‌ای ..... ۲۵
- شکل (۱۳-۱) شرط تطبیق امپدانس ..... ۲۸
- شکل (۱۴-۱) ساختار تطبیق امپدانس با مقاومت موازی در ورودی ..... ۲۹
- شکل (۱۵-۱) ساختار تطبیق امپدانس با مقاومت فیدبک ..... ۳۰
- شکل (۱۶-۱) ساختار Current Reuse LNA ..... ۳۰
- شکل (۱۷-۱) روش خنثی‌سازی خازن گیت درین ..... ۳۱
- شکل (۱۸-۱) ساختار تطبیق ورودی گیت مشترک ..... ۳۳
- شکل (۱۹-۱) ساختار Inductive Source Degeneration و مدل سیگنال کوچک MOS ..... ۳۴
- شکل (۲۰-۱) طرح LNA برای استانداردهای IEEE802.11a/b ..... ۳۸

۳۹	..... شکل (۲۱-۱) مقاومت معادل سلف
۴۱	..... شکل (۲۲-۱) LNA برای استانداردهای [12]CDMA/WCDMA
۴۲	..... شکل (۲۳-۱) تقویت کننده برای [13]DECT/BLUETOOTH
۴۴	..... شکل (۲۴-۱) تقویت کننده برای استانداردهای [14]DCS1800/W-CDM
۴۵	..... شکل (۲۵-۱) مدار برای استاندارد 802.11a/b
۴۵	..... شکل (۲۶-۱) مدار ورودی در فرکانس پایین
۴۵	..... شکل (۲۷-۱) مدار ورودی در فرکانس بالا
۴۶	..... شکل (۲۸-۱) تقویت کننده خود تطبیق دهنده برای استانداردهای 802.11a/b
۴۷	..... شکل (۲۹-۱) قسمت حقیقی امپدانس ورودی در برابر تغییر فرکانس
۴۸	..... شکل (۳۰-۱) تقویت کننده Current Reuse
۴۸	..... شکل (۳۱-۱) اساس طراحی تقویت کننده Current Reuse
۴۹	..... شکل (۳۲-۱) تقویت کننده دو استاندارد برای [18]802.11a/b
۵۱	..... شکل (۳۳-۱) نمای کلی تقویت کننده با استفاده از فیدبک ولتاژ- ولتاژ [19]
۵۲	..... شکل (۳۴-۱) بار پیشنهادی تغییر شکل پذیر برای LNA با فیدبک در حالت Multi-Standard
۵۲	..... شکل (۳۵-۱) بار پیشنهادی برای LNA با فیدبک در حالت Multi-Standard
۵۳	..... شکل (۳۶-۱) نمونه‌ای از مدار تقویت کننده فیدبک ولتاژ- ولتاژ [19]
۵۴	..... شکل (۳۷-۱) ساختار LNA باند باریک [20]
۵۵	..... شکل (۳۸-۱) مدل سیگنال کوچک LNA
۵۵	..... شکل (۳۹-۱) مدار تقویت کننده پهن باند [20]
۵۶	..... شکل (۴۰-۱) مدل سیگنال کوچک LNA
۵۹	..... شکل (۴۱-۱) ورودی مدار Inductive source degeneration

- شکل (۴۲-۱) افزایش پهنای فرکانسی در ورودی مدار. Inductive source deg. [21] ..... ۵۷
- شکل (۴۳-۱) امپدانس ورودی با افزودن LC موازی ..... ۵۸
- شکل (۴۴-۱) جریان و بار خروجی و نحوه طراحی بار برای تنظیم بهره مدار ..... ۵۹
- شکل (۴۵-۱) مدار LNA برای باند فرکانسی ۳ تا ۱۰ گیگا هرتز [21] ..... ۵۹
- شکل (۴۶-۱) مدار تقویت کننده برای فرکانس ۳ تا ۵ گیگا هرتز [22] ..... ۶۰
- شکل (۴۷-۱) مقایسه بین چند نمونه سوئیچ ..... ۶۱
- شکل (۴۸-۱) تحریک الکترواستاتیکی ..... ۶۲
- شکل (۴۹-۱) اتصال اهمی یا فلز به فلز MEMS ..... ۶۵
- شکل (۵۰-۱) حالت باز اتصال خازنی MEMS ..... ۶۵
- شکل (۵۱-۱) حالت بسته اتصال خازنی MEMS ..... ۶۵
- شکل (۱-۲) تقویت کننده امیتر مشترک [6] ..... ۶۷
- شکل (۲-۲) تقویت کننده کسکود [27] ..... ۶۷
- شکل (۳-۲) تقویت کننده بیس مشترک [6] ..... ۶۸
- شکل (۴-۲) تقویت کننده گیت مشترک [28] ..... ۷۰
- شکل (۵-۲) تقویت کننده با ساختار IDCS ..... ۷۱
- شکل (۱-۳) ساختار LNA سورس مشترک ..... ۹۳
- شکل (۲-۳) ساختار LNA پیشنهادی ..... ۹۴
- شکل (۳-۳) ساختار هسته LNA ..... ۹۶
- شکل (۴-۳) نمودار تطبیق امپدانس ورودی هسته LNA ..... ۱۰۱
- شکل (۵-۳) نمودار قسمت حقیقی و موهومی امپدانس ورودی هسته LNA ..... ۱۰۱
- شکل (۶-۳) نمودار بهره هسته LNA ..... ۱۰۲

- شکل (۷-۳) نمودار ایزوالاسیون معکوس هسته LNA ..... ۱۰۲
- شکل (۸-۳) نمودار تطبیق امپدانس خروجی هسته LNA ..... ۱۰۲
- شکل (۹-۳) نمودار عددنویز هسته LNA ..... ۱۰۳
- شکل (۱۰-۳) ساختار دو طبقه متوالی LNA ..... ۱۰۴
- شکل (۱۱-۳) نمودار تطبیق امپدانس ورودی ( $S_{11}$ ) دو طبقه متوالی ..... ۱۰۴
- شکل (۱۱-۳) نمودار قسمت حقیقی و موهومی دو طبقه متوالی ..... ۱۰۵
- شکل (۱۲-۳) نمودار بهره دو طبقه متوالی ..... ۱۰۵
- شکل (۱۳-۳) نمودار ایزوالاسیون معکوس دو طبقه متوالی ..... ۱۰۶
- شکل (۱۴-۳) نمودار عددنویز دو طبقه متوالی ..... ۱۰۶
- شکل (۱۵-۳) مدل سیگنال کوچک شبکه تطبیق ورودی ..... ۱۰۸
- شکل (۱۶-۳) نمودارهای قسمت حقیقی و موهومی امپدانس ورودی شبکه تطبیق ..... ۱۰۹
- شکل (۱۷-۳) نمودارهای تطبیق امپدانس ورودی LNA پیشنهادی ..... ۱۱۰
- شکل (۱۸-۳) نمودار بهره LNA پیشنهادی ..... ۱۱۰
- شکل (۱۹-۳) نمودار ایزوالاسیون معکوس LNA پیشنهادی ..... ۱۱۱
- شکل (۲۰-۳) نمودار عددنویز LNA پیشنهادی ..... ۱۱۱
- شکل (۲۱-۳) نمودار تطبیق امپدانس خروجی LNA پیشنهادی ..... ۱۱۲
- شکل (۲۲-۳) مدل کلی سلف RF MEMS ..... ۱۱۲
- شکل (۲۳-۳) مدار LNA پایان‌نامه با در نظر گرفتن مدل سلف  $L_g$  ..... ۱۱۳
- شکل (۲۴-۳) تطبیق ورودی LNA پیشنهادی پایان‌نامه با در نظر گرفتن مدل کلی  $L_g$  ..... ۱۱۴
- شکل (۲۵-۳) بهره LNA پیشنهادی پایان‌نامه با در نظر گرفتن مدل کلی  $L_g$  ..... ۱۱۵
- شکل (۲۶-۳) ایزوالاسیون معکوس LNA پیشنهادی پایان‌نامه با در نظر گرفتن مدل کلی  $L_g$  ..... ۱۱۵

شکل (۳-۲۷) تطبیق خروجی LNA پیشنهادی پایان‌نامه با در نظر گرفتن مدل کلی  $L_g$  ..... ۱۱۶

شکل (۳-۲۸) عدد نویز LNA پیشنهادی پایان‌نامه با در نظر گرفتن مدل کلی  $L_g$  ..... ۱۱۶

شکل (۳-۲۸) عدد نویز LNA پیشنهادی پایان‌نامه با در نظر گرفتن مدل کلی  $L_g$  ..... ۱۱۶

## فهرست جداول

- جدول (۱-۱) مقایسه ساختارهای تطبیق امپدانس ورودی ..... ۳۶
- جدول (۲-۱) مشخصه‌های LNA طراحی شده برای 802.11a/b ..... ۴۰
- جدول (۳-۱) مشخصه‌های LNA طراحی شده برای CDMA/WCDMA ..... ۴۲
- جدول (۴-۱) مشخصه‌های LNA طراحی شده برای DECT/BLUETOOTH ..... ۴۳
- جدول (۵-۱) حالت سوئیچ‌ها برای کارکرد مدار DCS1800/W-CDMA ..... ۴۴
- جدول (۶-۱) مشخصه‌های LNA طراحی شده برای DCS1800/W-CDMA ..... ۴۵
- جدول (۷-۱) مشخصه‌های LNA طراحی شده برای 802.11a/b ..... ۴۶
- جدول (۸-۱) مشخصه‌های مدار خودتطبیق برای 802.11a/b ..... ۴۸
- جدول (۹-۱) مشخصه‌های مدار در دو باند 2.4 GHz و 5.25GHz ..... ۵۰
- جدول (۱۰-۱) مشخصه‌های گیرنده ۳ تا ۵ گیگاهرتز [22] ..... ۶۰
- جدول (۱-۲) مقایسه بهره و نویز ترانزیستورهای میکروویو [25] ..... ۶۴
- جدول (۱-۳) مقادیر اجزای طبقه کسکودی LNA ..... ۱۰۰
- جدول (۲-۳) مقادیر اجزای LNA پیشنهادی پایان‌نامه ..... ۱۱۳
- جدول (۳-۳) مقایسه مشخصه مدار طراحی شده با دیگر طرح‌های ارائه شده ..... ۱۱۷

## فصل اول

### مقدمه و بررسی پیشینه پژوهش

#### ۱-۱- مقدمه

تقویت‌کننده کم‌نویز (LNA)<sup>۱</sup> یکی از اجزای مهم در طراحی گیرنده‌های فرکانس بالا است. LNA نقش مهمی در نویز کلی سیستم گیرنده دارد و با توجه به اینکه اولین طبقه از یک گیرنده امواج رادیویی است و نویز ناشی از آن مستقیماً به نویز کلی گیرنده افزوده می‌شود. پس این طبقه همزمان با تقویت سیگنال ورودی باید کمترین نویز ممکن را ایجاد نماید. البته طراحی LNA با بهره کافی، برای کاهش نویز طبقات بعدی (مانند میکسر) لازم است. در سال‌های اخیر، گیرنده‌هایی با قابلیت پشتیبانی از چندین استاندارد مختلف مورد توجه قرار گرفته است. استانداردها مشخصه‌های مختلف انتقال اطلاعات، مانند فرکانس کاری، نوع مدولاسیون، نوع داده، میزان نویز قابل قبول و.... را شامل می‌شوند.

---

<sup>۱</sup>Low Noise Amplifier



ساده‌ترین روش برای طراحی این نوع گیرنده‌ها پیاده سازی استانداردها در مسیرهای موازی است که با سوئیچ و به وسیله دستوره‌های واحد کنترل، استاندارد کاری گیرنده تغییر می‌کند. برای طراحان این نوع مدارها، کاهش مساحت تراشه و در نتیجه هزینه ساخت و نیز کاهش توان مصرفی مهمترین هدف است. اشتراک در سخت افزار یکی از روش‌های رسیدن به این هدف است و در این راه، تقویت‌کننده کم‌نویز به عنوان اولین طبقه گیرنده، نقش مهمی دارد.

طراحی تقویت‌کننده کم‌نویز، با توجه به موقعیت آن در مدار با بعضی محدودیت‌ها روبرو است که با پیچیده شدن مدار و افزایش استانداردهای کاری این محدودیت‌ها افزایش خواهند یافت. برای طراحی تقویت‌کننده کم‌نویز در گیرنده‌های با قابلیت کار در چند استاندارد مختلف، روش‌های زیادی پیشنهاد شده است. برای این نوع تقویت‌کننده‌ها دو نوع طراحی در حالت کلی وجود دارد:

اول- طراحی تقویت‌کننده باریک‌باند، به طوریکه تقویت فقط در باندهای استانداردهای کاری تقویت‌کننده باشد و فقط در این باندها مشخصه‌های تقویت‌کننده شامل امپدانس ورودی، بهره، حداقل عدد نویز، خطی بودن و ... رعایت شوند.

دوم- طراحی تقویت‌کننده پهن‌باند، مانند تقویت‌کننده<sup>۲</sup> UWB که در این نوع تقویت‌کننده برای یک پهنای وسیع فرکانسی که شامل فرکانس استانداردهای مطلوب نیز است، طراحی انجام می‌شود.

## ۱-۲-۲- نویز

نویز، کمترین سطح سیگنالی که به ازای آن مدار می‌تواند با کیفیت مطلوب عمل کند را محدود می‌کند. طراحان آنالوگ امروزی به طور دائم با مشکل نویز روبرو هستند، زیرا نویز همیشه در مقابل مصرف توان، سرعت و خطی بودن قرار می‌گیرد.

<sup>۲</sup>Ultra Wide Band

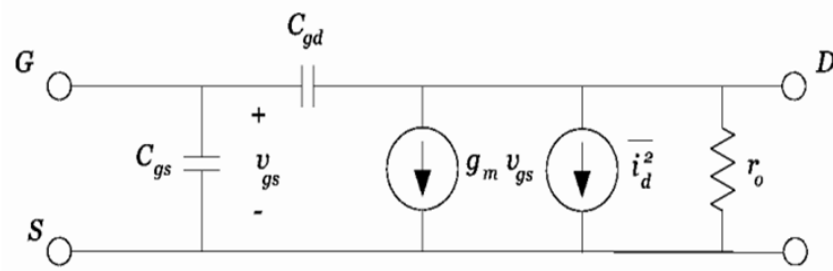
در این بخش، نویز و تاثیر آن در مدارهای آنالوگ بررسی می‌شود. هدف، فراهم کردن درک کافی از مسئله به گونه‌ای است که بتوان نویز را در مدارهای آنالوگ مانند دیگر پارامترها چون بهره، مقاومت ورودی و خروجی و ... به حساب آورد.

در مدارهای آنالوگ دو نوع نویز مطرح می‌شود که عبارتند از: نویز تداخلی و نویز ذاتی. نویز تداخلی نتیجه اثر متقابل ناخواسته میان مدار و دنیای خارج و یا میان قسمت‌های مختلف یک مدار است. این نوع نویز، ممکن است بصورت سیگنال‌های تصادفی ظاهر شود و یا بدین صورت ظاهر نگردد. مثالهایی از این نوع نویز، نویز منبع تغذیه بر روی سیم‌های زمین و یا تداخل الکترو مغناطیسی میان سیم‌ها است. نویز تداخلی را می‌توان با دقت در سیم‌کشی مدار و تهیه طرح‌بندی مناسب، بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

برعکس، نویز ذاتی به سیگنال‌های نویز تصادفی بر می‌گردد به گونه‌ای که این سیگنالها را می‌توان کاهش داد ولی نمی‌توان آنها را کاملاً حذف نمود چرا که این نویز، از خواص اساسی مدارها ناشی می‌شود. مثالهایی از نویز ذاتی، نویز از نوع حرارتی، نویز ضربه‌ای و نویز فلیکر (flicker) است. نویز ذاتی را می‌توان با طراحی مناسب، بطور قابل ملاحظه‌ای، با تغییر ساختار مدار و یا افزایش مقدار مصرف توان، کاهش داد. در این بخش به منابع مهم نویز در ترانزیستورهای CMOS اشاره می‌شود.

### ۱-۲-۱- نویز حرارتی

نویز حرارتی در نتیجه حرکت گرمایی - تصادفی حامل‌ها در کانال ناشی می‌شود که باعث ایجاد نوسان در ولتاژ اندازه‌گیری شده در طول هادی می‌شود [1]. بنابراین طیف نویز حرارتی با دمای مطلق متناسب است. به دلیل اینکه تا فرکانس‌های خیلی بالا (بالا تر از یک تراهرتز) چگالی طیفی توان آن در یک مقدار ثابت می‌ماند، معمولاً به صورت یک منبع نویز سفید است. نویز حرارتی معمولاً به صورت منبع جریان موازی با درین و سورس ترانزیستور مدل سازی می‌شود (شکل ۱-۱).



شکل (۱-۱) مدل سیگنال کوچک نویز حرارتی

چگالی طیف نویز حرارتی به صورت رابطه (۱-۱) به دست می‌آید.

$$\overline{i_{nd}^2} = 4kT\gamma g_{d0}\Delta f \quad (1-1)$$

که در رابطه فوق،  $g_{d0}$  هدایت انتقالی درین با ولتاژ درین سورس صفر است.  $\gamma$  ضریب نویز درین و پارامتری وابسته به تکنولوژی است که در ترانزیستورهای کانال بلند ۲/۳ و در تکنولوژی‌های جدید و کانال کوتاه بین ۲ تا ۳ است.

### ۱-۲-۲- نویز گیت القا شده

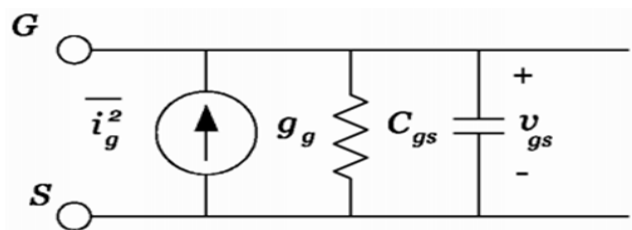
با یک نگاه دقیق به خواص نویزی ترانزیستورهای MOS می‌توان فهمید که نویز ناشی از کانال ترانزیستور را نمی‌توان همه نویز ترانزیستورهای MOS تلقی کرد. نویز جریان گیت القا شده نیز طبق رابطه (۱-۲)، وابسته به فرکانس تعریف می‌شود.

$$\overline{i_{ng}^2} = 4kT\delta g_g\Delta f \quad (2-1)$$

که در آن،  $g_g$  هدایت انتقالی گیت است و به صورت رابطه (۳-۱) تعریف می‌شود.

$$g_g = \frac{\omega^2 C_{gs}^2}{5g_{d0}} \quad (3-1)$$

$\delta$  ضریب نویز گیت پارامتری وابسته به تکنولوژی است. این پارامتر اندازه ۴/۳ در کانال‌های بلند دارد، البته در ادوات کانال کوتاه دو برابر می‌شود. در شکل (۲-۱) مدل سیگنال کوچک گیت القا شده نشان داده شده است.



شکل (۱-۲) مدل سیگنال کوچک نویز گیت القا شده

نویز گیت القا شده به صورت جزئی با نویز گرمایی کانال ارتباط دارد و ضریب تاثیر متقابل طبق رابطه (۱-۴) تعریف می شود.

$$c = \frac{\overline{i_g \times i_d}}{\sqrt{\overline{i_g^2} \times \overline{i_d^2}}} \quad (۱-۴)$$

که C عددی مختلط است و مقدار آن به صورت تئوری در ادوات کانال بلند حدود  $0.395j$  - است ولی برای ترانزیستورهای کانال کوتاه، مقدار  $0.5j$  - را به صورت تجربی برای اندازه گیری نویز به کار می برند [3]. نویز القایی جریان گیت یک نویز گرمایی است که به وسیله نوسانهای محلی در کانال، از طریق تزویج خازنی در اکسید گیت القا می شود. نویز القایی گیت با مجذور فرکانس ( $f^2$ ) متناسب است. در حالیکه نویز درین مستقل از فرکانس است. این وابستگی فرکانسی باعث می شود که نویز القایی گیت در فرکانسهای بالا بر عملکرد نویز MOSFET غلبه داشته باشد.

### ۱-۲-۳- نویز فلیکر

ارتباط بین اکسید گیت و بدنه سیلیکونی در MOSFET پدیده جالبی را منجر می شود. نویز فلیکر که به نام نویز صورتی نیز شناخته می شود، در اثر گیر افتادن بارها در ناخالصیها و عیوب ناحیه کانال ترانزیستورهای MOS ایجاد می شود. به عنوان یک قانون کلی ترانزیستور MOS بزرگتر، نویز فلیکر کمتری تولید خواهد کرد [2].

چگالی طیفی این نویز با رابطه (۱-۵) نشان داده می شود.