

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی الکترونیک

**مدلسازی، طراحی و شبیه سازی فرستنده گیرنده های**

**کم مصرف برای گره های شبکه حسگر بی سیم**

تهیه کننده:

علیرضا بهروج

استاد راهنما:

دکتر محمد باقر غزنوی قوشچی

تابستان ۱۳۸۹

## تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای:

را با عنوان:

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما			
۲- استاد مشاور			
۳- استاد مشاور			
۴- استاد ممتحن			
۵- استاد ممتحن			
۶- نماینده گروه			

## تقدیم

به همسر مهربانم که با تشویقهای خود باعث ایجاد شور و انگیزه در من می شدند و خانواده ام بخصوص مادر دلسوزم که زحمت کشیدن برای دیگران را به من آموختند و پدر فداکارم که از خود گذشتگی برای عقیده و آموختن به دیگران از طریق عمل خود را به من آموختند و خانواده همسرم که باعث دلگرمی ام در تهیه این پایان نامه گشتند و تمام دانشجویان کشور عزیزمان ایران که قصد تحقیق در این زمینه را دارند، امیدوارم این اثر بتواند کمکی هر چند کوچک به پیشرفت دانش این مرز و بوم باشد.

## تشکر و قدردانی

در ابتدای سخن سپاس فراوان از خداوند مهربان بر همه انعام بیحسابش و لطف بیکرانیش بر این بنده پرورده اش. در ادامه از استاد راهنمای زحمتکش و پرفراز و نشیب خود، آقای دکتر غزنوی قوشچی، که زحمت زیادی را برای این پایان نامه به ایشان تحمیل کردم و ایشان صبورانه بنده را از علم و تجربه خویش بهره مند می کردند، سپاسگزاری می کنم. از کلیه دوستان، دانشجویان و اساتید گرانقدر در دانشگاه خودمان و دیگر دانشگاههای کشورمان که از تجربه ها و راهنماییها و کمکهایشان بهره برده ام تشکر می کنم بخصوص آقای دکتر جلالی که هوشمندانه، دلسوزانه و با حوصله زیاد بنده را از راهنماییهای مفید خود بهره مند می نمودند نیز سپاسگزاری می کنم. قدردانی ویژه ای نیز از همسر فداکارم دارم که سختیهای زیادی را در جهت تهیه این سمینار متحمل شدند. از همکاران تلاشگر، گرامی و خوب خود نیز که شرایط کاری خوبی را برای تهیه این پایان نامه فراهم کردند سپاس فراوان دارم. از شرکت پالایش نفت اصفهان که در انجام این پروژه حمایتهای لازم را مبذول داشتند نیز تشکر می کنم.

## چکیده

شبکه حسگر بی سیم متشکل از تعداد زیادی گره های حسگری گسترده می باشد و در سالهای اخیر کاربردهای زیادی در زمینه های مختلف صنعتی، نظامی، کشاورزی، صنایع نفتی و پزشکی و غیره به خود اختصاص داده است. به همین دلیل تحقیقات زیادی روی آنها برای بهبود عملکرد و افزایش کارایی آنها انجام شده است. شبکه حسگر بی سیم بسته به نوع کاربرد، ممکن است برای سالها بدون نیاز به نگهداری و تعمیرات و تعویض قطعات مانند منبع تغذیه و غیره به فعالیت خود ادامه دهند. به همین دلیل این شبکه ها باید دارای حداکثر مجتمع سازی باشد و کل آن روی یک تراشه پیاده سازی شود و نیز هزینه پیاده سازی آن بسیار ارزان باشد زیرا به تعداد بسیار زیادی باید تولید شود و همچنین مصرف توان آن نیز بسیار پایین بوده و دارای بیشترین بازدهی انرژی باشد.

یک گره حسگر از بخشهای حسگر، پردازشی و مخابراتی تشکیل می شود. حدود ۹۸٪ از توان مصرفی یک گره حسگر مربوط به بخش مخابراتی می باشد که خود دارای قسمت‌های اصلی فرستنده و گیرنده می باشد که به ترتیب ۴۶ و ۵۲ درصد از کل توان مصرفی گره حسگری را به خود اختصاص می دهند. ریزپردازنده ۱ درصد از کل توان گره حسگری را مصرف می کند و حسگر و رگولاتور توان مصرفی در حد صفر دارند. ملاحظه می گردد که از میان این قسمت‌ها، توان مورد نیاز بخش مخابراتی، توان مصرفی گره را مشخص می کند. برای غلبه بر این تنگنا، کاهش توان مصرفی فرستنده گیرنده بسیار تعیین کننده می باشد. بنابراین کاهش درصد کمی از توان بخشهای فرستنده و گیرنده تأثیر بسیار زیادی روی کاهش مصرف توان کلی شبکه حسگری بی سیم دارد. از اینرو تکنیکهایی برای کاهش مصرف توان در فرستنده گیرنده های شبکه حسگر بی سیم بررسی گردیده است.

این پایان نامه بطور کلی شامل سه قسمت طراحی از گیرنده، فرستنده و سوئیچ آنتن می باشد. در قسمت گیرنده تحت تکنولوژی 0.13 میکرون، منبع فرکانسی ارائه گردیده است که شامل مدارهای VCO و ضرب کننده فرکانسی می باشد که این دو نیز با تکنولوژی 0.13 میکرون و با ولتاژ تغذیه 0.5V کار می کنند. مدار VCO دارای جریان بایاس 0.07mA و مدار ضرب کننده فرکانسی دارای جریان بایاس 0.1mA بسیار کم مصرف می باشند. همچنین دو معماری مداری Front-End شامل یک تقویت کننده کم نویز و میکسری برای کاربردهای شبکه حسگر بی سیم ارائه شده است که هر دو با استفاده از تکنیک باز استفاده کردن از جریان می باشند با این تفاوت که در تقویت کننده کم نویز مدار دوم از یک ترانزیستور آبخاری نیز استفاده شده است. هر دو مدار Front-end پیشنهاد شده با فرکانس کاری (RF) 2.4GHz کار می کنند. مدار Front-end پیشنهاد شده اول بهره تبدیلی برابر 36.371dB دارد و در فرکانس میانی (IF)=50MHz عدد نویز 8.1dB دارد و P1dB آن برابر با -9dBm می باشد و همچنین با ولتاژ تغذیه 0.9V دارای توان مصرفی 1.5mW می باشد که بسیار کم مصرف می باشد. و مدار Front-end پیشنهاد شده دوم بهره تبدیلی برابر با 25dB دارد. نقطه P1dB آن نیز -22.5dBm می باشد و عدد نویز پایینی در حدود 4.6dB در فرکانس IF با مقدار 50MHz

دارد. با داشتن ولتاژ تغذیه بسیار پایین  $0.6V$  و توان مصرفی DC حدود  $0.4mW$  بسیار مصرف توان کمی دارد.

یک فرستنده با معماری تزریق قفل شده با بازدهی بالا نیز برای کاربردهای شبکه های بی سیم حسگر (WSN) ارائه شده است. نتایج اندازه گیری از Front-End فرستنده ساخته شده در فن آوری CMOS با مقیاس  $0.13$  میکرون، نشان می دهد که فرستنده پیشنهادی بسیار مناسب برای کاربردهای توان ارسال پایین از جمله WSN می باشد. برای پیاده سازی با بازدهی بالا و توان مصرفی پایین فرستنده، اسیلاتور توان کلاس-E، با تزریق قفل شده و تکنیک مداری استفاده مجدد از جریان، بکار گرفته شده است. با منبع ولتاژ  $1V$ ، فرستنده ساخته شده و PAE مربوط به فرستنده  $50\%$ ، و توان خروجی ارسالی  $10dBm$  می باشد. مصرف توان در VCO و پیش تقویت کننده به ترتیب تنها  $112\mu W$  و  $789\mu W$  می باشد.

برای شبیه سازی مدارهای پیشنهادی توسط نرم افزار ADS با وارد کردن مدلی با مقیاس تکنولوژی  $0.13$  میکرون استفاده شده است.

**کلید واژه:** فرستنده گیرنده، شبکه حسگر بی سیم، کم مصرف، گیرنده front end، تکنیک باز استفاده کردن از جریان، کم توان، فرستنده تزریق قفل شده، نوسانگر توان کلاس E

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها.....	ه
فهرست شکل‌ها.....	و
فهرست علائم و نشانه‌ها.....	ک
<b>فصل ۱- مقدمه.....</b>	<b>۱</b>
۱-۱- پیشگفتار.....	۱
۲-۱- کلیاتی راجع به شبکه های حسگر بی سیم.....	۱
۱-۲-۱- تاریخچه شبکه های حسگر.....	۱
۲-۲-۱- ساختار کلی شبکه های حسگر بی سیم.....	۳
۳-۲-۱- ساختمان گره های حسگر بی سیم.....	۳
1-2-4- تفاوت های عمده شبکه های ad hoc و شبکه های حسگر بی سیم.....	۴
۵-۲-۱- ویژگیهای خاص شبکه های حسگر بی سیم.....	۵
۳-۱- کاربردهای عمومی شبکه های حسگر بی سیم.....	۷
۱-۳-۱- مقدمه.....	۷
۲-۳-۱- سیستم کنترل دما و تهویه مطبوع در ساختمانها.....	۷
۳-۳-۱- هشدار زمین لرزه.....	۸
۴-۳-۱- کاربرد شبکه های حسگر بی سیم زیر آبی.....	۸
۵-۳-۱- تشخیص نفوذ.....	۸
۶-۳-۱- کنترل دقیق نیروی انسانی.....	۸
۷-۳-۱- اتوماسیون خانگی.....	۸
۸-۳-۱- کاربرد های نظامی_امنیتی.....	۹
۹-۳-۱- کشاورزی و دامداری هوشمند.....	۹
۱۰-۳-۱- تحقیق روی پدیده های غیر قابل دسترس.....	۹
۱۱-۳-۱- کاربرد شبکه های حسگر بی سیم در پزشکی.....	۱۰
۱۲-۳-۱- نظارت بر محیط.....	۱۰
۱۳-۳-۱- محافظت از آثار تاریخی.....	۱۰
۱۴-۳-۱- جاده های هوشمند.....	۱۰
۱۵-۳-۱- کاربردهای شبکه های حسگر بی سیم در صنایع نفتی.....	۱۱
۴-۱- فرستنده گیرنده های شبکه حسگر بی سیم.....	۱۱
۱-۴-۱- احتیاجات سیستم.....	۱۳
1-4-2- احتیاجات فرستنده گیرنده های RF.....	۱۴
۵-۱- ساختار پایان نامه.....	۲۲



۲۴	فصل ۲- فرستنده گیرنده ها
۲۴	2-1- مقدمه
۲۴	۲-۲ معماریهای گیرنده
۲۴	۱-۲-۲ گیرنده های هترودین
۲۷	۲-۲-۲ گیرنده های هومودین
۲۸	۳-۲-۲ گیرنده های حذف تصویر
۲۹	2-2-4 گیرنده های دیجیتال IF
۳۰	2-2-5 گیرنده های زیر نمونه بردار Sub-sampling
۳۲	۳-۲ معماریهای فرستنده
۳۲	۱-۳-۲ فرستنده های تبدیل مستقیم
۳۳	۲-۳-۲ فرستنده های دومرحله ای
۳۴	۴-۲ تقویت کننده های کم نویز
۳۷	۱-۴-۲ تطبیق امپدانس در ورودی
۴۰	۵-۲ میکسرهای پایین آورنده
۴۱	۱-۵-۲ میکسرهای فعال و غیرفعال
۴۲	۲-۵-۲ بهره تبدیل
۴۲	۳-۵-۲ میکسرهای تک بالانس و دوبل بالانس
۴۵	۶-۲ نوسان سازها
۴۵	۱-۶-۲ توپولوژیهای پایهی نوسان ساز
۴۸	2-6-2 نوسان سازهای کنترل شونده با ولتاژ
۴۹	۳-۶-۲ نویز فاز
۵۰	۴-۶-۲ اثر pulling و pushing در نوسان ساز
۵۲	2-6-5 نوسان سازهای LC از نوع دوقطبی و CMOS
۵۲	۶-۶-۲ نوسان سازهای $G_m$ -منفی
۵۴	۷-۶-۲ مشکلات تنظیم
۵۶	۸-۶-۲ نوسان سازهای انترپولاتیو
۵۷	۹-۶-۲ VCO های بدون تشدیدکننده
۵۸	۷-۲ تقویت کننده های توان
۵۹	۱-۷-۲ طبقه بندی تقویت کننده های توان
۶۳	۲-۷-۲ تقویت کننده های توان پر بازده
۶۸	فصل ۳- فرستنده گیرنده های شبکه حسگر بی سیم
۶۸	۱-۳ مقدمه
۶۸	۲-۳ روشهای کم مصرف کردن مدارها
۶۸	۱-۲-۳ CMOS معکوس ضعیف فرکانس بالا
۶۹	۲-۲-۳ کاهش ولتاژ منبع تغذیه

۷۰.....	۳-۲-۳	روش باز استفاده کردن از جریان و روش ادغام کردن
۷۶.....	3-3-	کارهای جدید از بخشهای مختلف فرستنده گیرنده ها
۸۳.....	۱-۳-۳	گیرنده ها
۹۰.....	۲-۳-۳	تقویت کننده کم نویز های دوقطبی
۹۴.....	۳-۳-۳	تقویت کننده های کم نویز CMOS
۹۷.....	۴-۳-۳	فرستنده های شبکه حسگر بی سیم
۱۰۳.....	3-3-5-	میکسرها
۱۱۰.....	۴-	<b>فصل ۴ - فرستنده گیرنده طراحی شده پیشنهادی</b>
۱۱۰.....	۱-۴-	مقدمه
۱۱۰.....	۲-۴-	گیرنده پیشنهادی
۱۱۲.....	۳-۴-	طراحی قسمتهای مختلف مدار Front-End و منبع فرکانسی:
۱۱۳.....	۱-۳-۴-	طراحی VCO
۱۱۵.....	4-3-2-	طراحی ضرب کننده فرکانسی
۱۱۹.....	۳-۳-۴-	گیرنده FRONT-END پیشنهاد شده
۱۱۹.....	۴-۳-۴-	توپولوژی FRONT-END
۱۲۰.....	۵-۳-۴-	طرح Front-End پیشنهاد شده اول:
۱۲۱.....	۶-۳-۴-	طرح Front-End پیشنهاد شده دوم:
۱۲۲.....	۴-۴-	فرستنده پیشنهاد شده:
۱۲۲.....	۱-۴-۴-	معماری فرستنده
۱۲۴.....	4-4-2-	نوسانگر توان کلاس E- پیشنهادی
۱۲۶.....	۳-۴-۴-	تزریق قفل شده:
۱۲۷.....	۴-۴-۴-	بخش front-end از فرستنده RF تزریق قفل شده پیشنهادی
۱۲۸.....	۵-۴-	سوئیچ آنتن پیشنهاد شده
۱۳۰.....	۵-	<b>فصل ۵ - نتایج و شبیه سازیها</b>
	5-1-	مقدمه ۱۳۰
۱۳۰.....	5-2-	نتایج شبیه سازیهای مدارهای گیرنده
۱۳۳.....	۳-۵-	نتایج شبیه سازی مدار VCO و ضرب کننده فرکانسی:
۱۳۴.....	۴-۵-	نتایج شبیه سازیها برای طرح پیشنهادی اول:
۱۳۶.....	۵-۵-	نتایج شبیه سازیها برای طرح پیشنهادی دوم:
۱۳۷.....	5-6-	نتایج اندازه گیری فرستنده پیشنهادی
۱۳۸.....	۱-۶-۵-	اندازه گیری
۱۴۳.....	۷-۵-	نتایج حاصل از شبیه سازی سوئیچ آنتن
۱۴۵.....	۶-	<b>فصل ۶ - نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
	6-1-	مقدمه ۱۴۵

۱۴۵.....	نتیجه‌گیری از گیرنده	6-2-
۱۴۷.....	نتیجه‌گیری از فرستنده	۳-۶-
۱۴۸.....	نتیجه‌گیری از سوئیچ آنتن	۴-۶-
۱۴۹.....	پیشنهاداتی برای ادامه کار	6-5-
۱۵۰.....	فهرست مراجع	
۱۵۶.....	واژه نامه فارسی به انگلیسی	
۱۵۷.....	واژه نامه انگلیسی به فارسی	

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: مصرف جریان نامی در جدیدترین تکنولوژی گره حسگری در حالت فعال [۱۳].....	۱۹
جدول ۲-۱: توازنهای مصرف توان و مجتمع سازی سلف.....	۲۱
جدول ۱-۲: مقایسه کارآیی و خطسانی برای کلاسهای مختلف تقویت کننده توان [۴۴].....	۵۹
جدول ۱-۶: مقایسه طرح Front-End پیشنهاد شده اول با کارهای قبلی.....	۱۴۶
جدول ۲-۶: مقایسه طرح Front-End پیشنهاد شده دوم با کارهای قبلی.....	۱۴۷
جدول ۳-۶: مقایسه عملکرد فرستنده طراحی شده با فرستنده های کارهای قبلی.....	۱۴۸
جدول ۴-۶: نتایج شبیه سازی پارامترهای S برای سوئیچ مرجع [۱۱۳].....	۱۴۹
جدول ۵-۶: نتایج حاصل از شبیه سازی پارامترهای S مدار سوئیچ آنتن طراحی شده پیشنهادی:.....	۱۴۹

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: رخداد نگاری شبکه حسگر بی سیم.....	۲
شکل ۲-۱: نمونه‌هایی از پیاده‌سازی سخت‌افزاری گره‌های شبکه حسگر بی سیم [۱].....	۳
شکل ۳-۱: ساختمان داخلی گره حسگر.....	۴
شکل ۴-۱: تست‌های بلوکر در GSM. (الف) انترمدولاسیون درون باند، (ب) انترمدولاسیون خارج از باند و مرتبه دوم، (ج) مدولاسیون متقابل خارج از باند [۱۶].....	۱۵
شکل ۵-۱: ماسک مدولاسیون GSM همراه با طیف سیگنال معمولی [۱۶].....	۱۶
شکل ۱-۲: (الف): هترودین ساده (ب): وارد کردن یک تقویت‌کننده کم‌نویز برای عدد نویز کمتر [۱۶] ۲۴	۲۴
شکل ۲-۲: مسأله تصویر درگیرنده هترودین [۱۶].....	۲۵
شکل ۳-۲: حذف تصویر با فیلتر [۱۶].....	۲۶
شکل ۴-۲: حذف تصویر در مقایسه با تداخل‌کننده‌ها در (الف) IF بالا، (ب) IF پایین [۱۶].....	۲۶
شکل ۵-۲: (الف) گیرنده هومودین ساده، (ب) گیرنده هومودین با پایین‌آورنده متعامد [۱۶].....	۲۸
شکل ۶-۲: سه جایگشت مختلف از عملیات باند پایه [۱۶].....	۲۸
شکل ۷-۲: گیرنده دیجیتالی IF [۱۶].....	۲۹
شکل ۸-۲: معماری IF نمونه بردار [۱۶].....	۳۰
شکل ۹-۲: زیر نمونه برداری در (الف) حوزه زمان، (ب) حوزه فرکانس [۱۶].....	۳۱
شکل ۱۰-۲: (الف) مدار معادل نمونه بردار، (ب) همپوشانی نویز در زیر نمونه بردار [۱۶].....	۳۱
شکل ۱۱-۲: فرستنده تبدیل مستقیم [۱۶].....	۳۲
شکل ۱۲-۲: نشت خروجی تقویت‌کننده توان به نوسانساز [۱۶].....	۳۲
شکل ۱۳-۲: فرستنده دو مرحله‌ای [۱۶].....	۳۳
شکل ۱۴-۲: مدل کردن نویز ترانزیستور دو قطبی با مقاومت معادل [۱۶].....	۳۴
شکل ۱۵-۲: پایدار سازی با (الف) خنثی کردن، (ب) کاسکود کردن [۱۶].....	۳۶
شکل ۱۶-۲: طبقه سورس مشترک [۱۶].....	۳۷
شکل ۱۷-۲: (الف) اتصال مقاومتی، (ب) محاسبه نویز فیگر مقاومت ترمینال [۱۶].....	۳۸
شکل ۱۸-۲: (الف) اتصال مقاومتی در ورودی با فیدبک، (ب) پیاده‌سازی ساده شکل (الف) [۱۶].....	۳۹
شکل ۱۹-۲: (الف) طبقه گیت مشترک (ب) احتساب نویز کانال، (ج) مدار معادل (ب).....	۳۹
شکل ۲۰-۲: اتصال مقاومتی با دژنراسیون سلفی [۱۶].....	۴۰
شکل ۲۱-۲: (الف) سوئیچ ساده به عنوان میکسر، (ب) ساخت سوئیچ با ترانزیستور NMOS.....	۴۰
شکل ۲۲-۲: میکسر فعال [۱۶].....	۴۱
شکل ۲۳-۲: انتقال نویز RF و تصویر به باند IF [۱۶].....	۴۲
شکل ۲۴-۲: (الف) میکسر تک-بالانس، (ب) میکسر دوپل-بالانس [۱۶].....	۴۳

- شکل ۲-۲۵: میکسرهای ساده با (الف) خروجی تک سر و (ب) خروجی دیفرانسیلی [۱۶]..... ۴۴
- شکل ۲-۲۶: تبدیل جریانهای دیفرانسیل خروجی به تک سر [۱۶]..... ۴۵
- شکل ۲-۲۷: فیدبک از (الف) کالکتور به بیس، (ب) کالکتور به امیتر [۱۶]..... ۴۶
- شکل ۲-۲۸: (الف) فیدبک مستقیم از کالکتور به امیتر، (ب) قرار دادن مبدل امپدانس، (ج) استفاده از ترانس ایده آل [۱۶]..... ۴۶
- شکل ۲-۲۹: (الف) نوسان سازهای کلیپتس و (ب) هارتلی [۱۶]..... ۴۷
- شکل ۲-۳۰: توپولوژیهای بدست آمده با زمین کردن یکی از سه گره در مدار شکل ۷-۸ (ج) (بایاس نشان داده نشده است) [۱۶]..... ۴۸
- شکل ۲-۳۱: دیودهای واراکتور افزوده شده به تانک [۱۶]..... ۴۸
- شکل ۲-۳۲: طیف خروجی نوسان سازهای واقعی و ایده آل [۱۶]..... ۴۹
- شکل ۲-۳۳: پدیده *Injection pulling* در نوسان ساز وقتی که دامنه نویز بزرگ می شود. [۱۶] .. ۵۰
- شکل ۲-۳۴: اثر *Injection pulling* به خاطر تداخل کننده بزرگ [۱۶]..... ۵۱
- شکل ۲-۳۵: اثر *Loud pulling* بدلیل تغییرات امپدانس [۳۹]..... ۵۱
- شکل ۲-۳۶: (الف) افزودن بافر فعال به حلقه فیدبک نوسان ساز کلیپتس، (ب) پیاده سازی بافر با امیتر فالور، (ج) پیاده سازی دیفرانسیل مدار (ب) [۴۰]..... ۵۲
- شکل ۲-۳۷: مدار محاسبه امپدانس ورودی روج ضربدری [۴۲]..... ۵۳
- شکل ۲-۳۸: تقسیم ولتاژ خازنی در مسیر فیدبک نوسان ساز [۴۲]..... ۵۳
- شکل ۲-۳۹: نوسان سازهای CMOS، (الف) خروجی نسبت به  $V_{DD}$  سنجیده می شود، (ب) خروجی نسبت به زمین سنجیده می شود، (ج) نوع دیفرانسیلی با یک سلف [۱۶]..... ۵۴
- شکل ۲-۴۰: (الف) افزودن واراکتور برای کنترل فرکانس، (ب) ساخت واراکتور در فناوری CMOS [۱۶]..... ۵۵
- شکل ۲-۴۱: نوسان ساز انتریولاسیون [۱۶]..... ۵۵
- شکل ۲-۴۲: نوسان ساز انتریولاتیو با دو تانک [۱۶]..... ۵۶
- شکل ۲-۴۳: بهره حلقه باز و فاز نوسان ساز انتریولاتیو [۱۶]..... ۵۷
- شکل ۲-۴۴: نوسان ساز حلقوی [۴۰]..... ۵۷
- شکل ۲-۴۵: نوسان ساز Relaxation [۲۷]..... ۵۸
- شکل ۲-۴۶: طبقات گروه A با استفاده از (الف) ترانزیستور MOS، (ب) ترانزیستور دو قطبی [۴۵]..... ۵۹
- شکل ۲-۴۷: طبقه خروجی Push-Pull [۴۵]..... ۶۱
- شکل ۲-۴۸: طبقه گروه B با استفاده از ترانس [۴۵]..... ۶۲
- شکل ۲-۴۹: طبقه گروه C [۴۷]..... ۶۲
- شکل ۲-۵۰: (الف) تقویت کننده توان با امپدانس خروجی برای هارمونی بالا، (ب) شکل موج ولتاژ درین [۵۰]..... ۶۴
- شکل ۲-۵۱: طبقه خروجی سوئیچینگ [۴۸]..... ۶۴
- شکل ۲-۵۲: طبقه گروه E [۵۱]..... ۶۵

- شکل ۲-۵۳: شکل موجهای جریان و ولتاژ در طبقه گروه E [۵۰]..... ۶۵
- شکل ۲-۵۴: پاسخ طبقه گروه E وقتی ترانزیستور خاموش می شود [۵۰]..... ۶۶
- شکل ۲-۵۵: مدار گروه F [۵۳]..... ۶۷
- شکل ۳-۱: کارآیی هدایت انتقالی بر حسب ضریب معکوس [۱۳]..... ۶۹
- شکل ۳-۲: سیر تکاملی تقویت کننده کم نویز - a توپولوژی کسکود معمولی. b: توپولوژی تقویت کننده CMOS. c: توپولوژی با باز استفاده کردن از جریان تکمیلی با دو طبقه بهره آبخاری شده. d: توپولوژی با باز استفاده کردن از جریان تکمیلی با سه طبقه بهره آبخاری شده [۵۷]..... ۷۱
- شکل ۳-۳: سیر تکاملی میکسر پایین آورنده. a: میکسر سلول گیلبرت معمولی. b: توپولوژی آبخاری ناشده. c: توپولوژی باز استفاده کردن از جریان. d: توپولوژی با تکنیک current bleeding و باز استفاده کردن از جریان [۵۷]..... ۷۲
- شکل ۳-۴: دیاگرام مداری تقویت کننده کم نویز [۶۲]..... ۷۳
- شکل ۳-۵: دیاگرام مداری میکسر [۶۲]..... ۷۴
- شکل ۳-۶: معماری میکسر+تقویت کننده کم نویز پیشنهاد شده در [۶۳]..... ۷۴
- شکل ۳-۷: میکسر و تقویت کننده کم نویز ادغام شده [۶۴]..... ۷۵
- شکل ۳-۸: میکسر I/Q و تقویت کننده کم نویز ادغام شده [۶۵]..... ۷۶
- شکل ۳-۹: فرستنده-گیرنده DECT فیلیپس [۳۳]..... ۷۷
- شکل ۳-۱۰: نمودار زمانی با نمایش عملیات در بازه کور [۳۳]..... ۷۷
- شکل ۳-۱۱: فرستنده-گیرنده GSM از لوسنت تکنولوژی..... ۷۸
- شکل ۳-۱۲: فرستنده-گیرنده GSM فیلیپس..... ۷۹
- شکل ۳-۱۳: معماری فرستنده گیرنده [۷۴]..... ۸۱
- شکل ۳-۱۴: پارامترهای اندازه گیری شده از دو آنتن عملکردی بصورت پشت به پشت [۷۴]..... ۸۲
- شکل ۳-۱۵: گیرنده حذف تصویر هارتلی [۱۶]..... ۸۳
- شکل ۳-۱۶: گیرنده حذف تصویر ویور [۱۶]..... ۸۵
- شکل ۳-۱۷: آنالیز گرافیکی معماری ویور [۱۶]..... ۸۵
- شکل ۳-۱۸: مشکل تصویر ثانوی در معماری ویور [۱۶]..... ۸۶
- شکل ۳-۱۹: معماری ساده شده MC3362 [۱۶]..... ۸۷
- شکل ۳-۲۰: معماری گیرنده [۸۱]..... ۸۸
- شکل ۳-۲۱: (الف) تقویت کننده کم نویز تطبیق شده نردبانی (ب) فیلتر چبی شف مرتبه سوم [۸۱]... ۸۸
- شکل ۳-۲۲: معماری ساده شده UAA2080T..... ۸۹
- شکل ۳-۲۳: (الف) تقویت کننده کم نویز دو قطبی ساده، (ب) احتساب شات نویز بیس..... ۹۰
- شکل ۳-۲۴: (الف) تقویت کننده کم نویز دو طبقه در [۸۲]، (ب) بایاس تقویت کننده کم نویز..... ۹۲
- شکل ۳-۲۵: تقویت کننده کم نویز دو قطبی شامل فیدبک ترانسفورمری [۱۶]..... ۹۳
- شکل ۳-۲۶: تقویت کننده کم نویز بیس مشترک [۱۶]..... ۹۳

شکل ۳-۲۷: (الف) طبقه سورس مشترک با بار مقاومتی، (ب) تبدیل بار به منبع جریان، (ج) استفاده از بار به عنوان تقویت کننده، (د) تقویت کننده کم نویز مرجع [۵]. ۹۵.....

شکل ۳-۲۸: تقویت کننده کم نویز مرجع [۸۶]. ۹۶.....

شکل ۳-۲۹: تقویت کننده کم نویز مرجع [۸۷]. ۹۶.....

شکل ۳-۳۰: بلوک دیاگرام فرستنده تبدیل مستقیم [۵۶]. ۱۰۰.....

شکل ۳-۳۱: بلوک دیاگرام فرستنده مدولاسیون مستقیم [۵۶]. ۱۰۰.....

شکل ۳-۳۲: بلوک دیاگرام تزریق قفل شده [۵۶]. ۱۰۱.....

شکل ۳-۳۳: بلوک دیاگرام فرستنده آنتن فعال [۵۶]. ۱۰۲.....

شکل ۳-۳۴: میکسرهای دوقطبی با سیگنال RF اعمال شده به (الف) بیس و (ب) امیتر ترانزیستور ورودی [۱۶]. ۱۰۳.....

شکل ۳-۳۵: زوج دیفرانسیل نا متقارن، (ب) زوج خطی شده اشموک، (ج) تغییرات  $G_m$  معادل با ورودی [۱۶]. ۱۰۶.....

شکل ۳-۳۶: میکسر با استفاده از ترانس در ورودی RF [۸۳]. ۱۰۷.....

شکل ۳-۳۷: میکسر فعال CMOS [۱۶]. ۱۰۸.....

شکل ۳-۳۸: (الف) میکسر CMOS غیر فعال، (ب) تغییر مقاومت روشن سوئیچ [۱۶]. ۱۰۹.....

شکل ۴-۱: معماری گیرنده مناسب برای کاربردهای شبکه حسگر بی سیم (قسمت درون کادر طراحی ما و مناسب برای پیاده سازی روی چیپ) ۱۱۳.....

شکل ۴-۲: پیاده سازی مدار VCO ۱۱۴.....

شکل ۴-۳: nMOS pinch-off clipper ۱۱۵.....

شکل ۴-۴: فاز اولین و دومین هارمونیک سیگنالهای خروجی با توجه به سیگنال ورودی [۱۰۱]. ۱۱۶.....

شکل ۴-۵: الف: فاز هارمونیک دوم nMOS و pinch-off clipper pMOS. ب: ضرب کننده فرکانسی با باز استفاده کردن از جریان برای کاهش مصرف توان ۱۱۶.....

شکل ۴-۶: توپولوژی مداری ضرب کننده فرکانسی تفاضلی 2.4GHz با باز استفاده کردن از جریان ۱۱۷.....

شکل ۴-۷: مدولاسیون هارمونیکهای دوم و جریانهای سوئیچینگ توسط هارمونیکهای اول [۱۰۱]. ۱۱۸.....

شکل ۴-۸: نمونه هایی از front-end های قدیمی - الف: تقویت کننده کم نویز آبخاری و میکسر SB ب: میکسر SB و تقویت کننده کم نویز ترکیبی ۱۱۹.....

شکل ۴-۹: folded-cascode و current-reused پیشنهاد شده ۱۲۱.....

شکل ۴-۱۰: مدار Front-End پیشنهاد شده دوم ۱۲۲.....

شکل ۴-۱۱: معماری فرستنده تزریق قفل شده بر پایه مدولاسیون VCO غیر مستقیم حلقه بسته شده ۱۲۳.....

شکل ۴-۱۲: الف: اسیلاتور توان کلاس-E پیشنهادی و (ب) مدار معادل آن ۱۲۵.....

شکل ۴-۱۳: مدل عمومی یک تزریق قفل نوسان ۱۲۷.....

شکل ۴-۱۴: front-end فرستنده RF تزریق قفل شده پیشنهادی برای کاربردهای شبکه حسگر بی سیم ۱۲۸.....



- شکل ۴-۱۵: سوئیچ آنتن [۱۱۴]..... ۱۲۸
- شکل ۴-۱۶: شماتیک مداری سوئیچ آنتن شبیه سازی شده در ADS..... ۱۲۹
- شکل ۵-۱: شمای کلی بخش فرکانس بالای یک گره شبکه حسگر بی سیم..... ۱۳۰
- شکل ۵-۲: نتیجه شبیه سازی VCO..... ۱۳۱
- شکل ۵-۳: مقایسه طیف توانهای خروجی VCO و ضرب کننده فرکانسی..... ۱۳۲
- شکل ۵-۴: نتایج شبیه سازی مدار VCO و ضرب کننده فرکانسی..... ۱۳۳
- شکل ۵-۵: نتایج شبیه سازی از طرح Front-End پیشنهادی اول..... ۱۳۵
- شکل ۵-۶: نتایج شبیه سازی از طرح Front-End پیشنهادی دوم..... ۱۳۶
- شکل ۵-۷: (الف) Pout از اسیلاتور توان کلاس-E و (ب) (PAE) از اسیلاتور توان کلاس-E..... ۱۳۷
- شکل ۵-۸: PAE مربوط به TX اندازه گیری شده برای front-end فرستنده ساخته شده بعنوان تابعی از فرکانس..... ۱۳۹
- شکل ۵-۹: Pout مربوط به TX اندازه گیری شده برای front-end فرستنده ساخته شده بعنوان تابعی از فرکانس..... ۱۴۰
- شکل ۵-۱۰: PAE مربوط به TX اندازه گیری شده برای front-end فرستنده ساخته شده بعنوان تابعی از ولتاژ منبع تغذیه..... ۱۴۰
- شکل ۵-۱۱: Pout مربوط به TX اندازه گیری شده برای front-end فرستنده ساخته شده بعنوان تابعی از ولتاژ منبع تغذیه..... ۱۴۱
- شکل ۵-۱۲: نتایج حاصل از شبیه سازی فرستنده در حالت گذرا..... ۱۴۲
- شکل ۵-۱۳: نتایج حاصل از شبیه سازی پارامترهای S بین آنتن و فرستنده و گیرنده در حالت ارسال..... ۱۴۳
- شکل ۵-۱۴: نتایج حاصل از شبیه سازی پارامترهای S بین آنتن و فرستنده و گیرنده در حالت دریافت..... ۱۴۴

## فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
ضریب میرایی	$\xi$
فرکانس طبیعی	$\omega_n$
ورودی اغتشاش خارجی	$d$
تابع حساسیت	$S$
تابع مکمل حساسیت	$T$

## فصل ۱ - مقدمه

### ۱-۱- پیشگفتار

شبکه حسگر بی سیم کاربردهای گوناگونی در زمینه های مختلف علوم و صنایع دارند و به همین دلیل در سالهای اخیر کارهای زیادی روی طراحی و بهینه کردن قسمت‌های مختلف آنها انجام شده است. در این فصل ابتدا معرفی این شبکه های حسگر بی سیم و سپس معرفی قسمت‌های مختلف آنها که شامل حسگر، پردازنده و بخش مخابراتی که خود به بخشهای فرستنده و گیرنده و آنتن تقسیم می شود، بیان می گردد. در ادامه به کاربردهای فراوان این شبکه های حسگر بی سیم اشاره می شود. چون در این پایان نامه ما طراحی بخش مخابراتی یک گره حسگر بی سیم را انجام داده ایم. در بخشهای بعدی این فصل ابتدا فرستنده گیرنده ها بطور کلی و سپس فرستنده گیرنده های خاص برای یک گره شبکه حسگر بی سیم بیان می گردد و ویژگیها و مشخصاتی که آنها را مناسب برای کاربردهای شبکه حسگر بی سیم می کند، بررسی می شود.

### ۱-۲- کلیاتی راجع به شبکه های حسگر بی سیم

شبکه حسگر متشکل از تعداد زیادی گره کوچک می باشد که بشدت با محیط فیزیکی تعامل دارد در هر گره تعدادی حسگر وجود دارد که از طریق آن حسگرها اطلاعات محیط را دریافت می کند و ارتباط بین گره ها بصورت بی سیم است. هرگره بطور مستقل و بدون دخالت انسان کار میکند و اغلب آنها از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک است و دارای محدودیت هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه، منبع تغذیه، پارامترهای ارسال و دریافت مخابراتی و غیره می باشد. این محدودیت ها مشکلاتی را بوجود می آورد که منشأ بسیاری از مباحث پژوهشی مطرح در این زمینه است [۱].

#### ۱-۲-۱- تاریخچه شبکه های حسگر

همانند بسیاری دیگر از فن آوری ها، کار بر روی شبکه حسگرها از کارهای نظامی و دفاعی آغاز شد. در طول جنگ سرد، دولت آمریکا، حمایت از پروژه ای به نام سیستم نظارت صوتی (SOSUS)<sup>۱</sup> را بر عهده گرفت. در این پروژه با قرار دادن تعدادی حسگر در نقاط استراتژیک زیر اقیانوس، سعی در تشخیص نفوذ و ردیابی زیردریایی های شوروی داشتند.

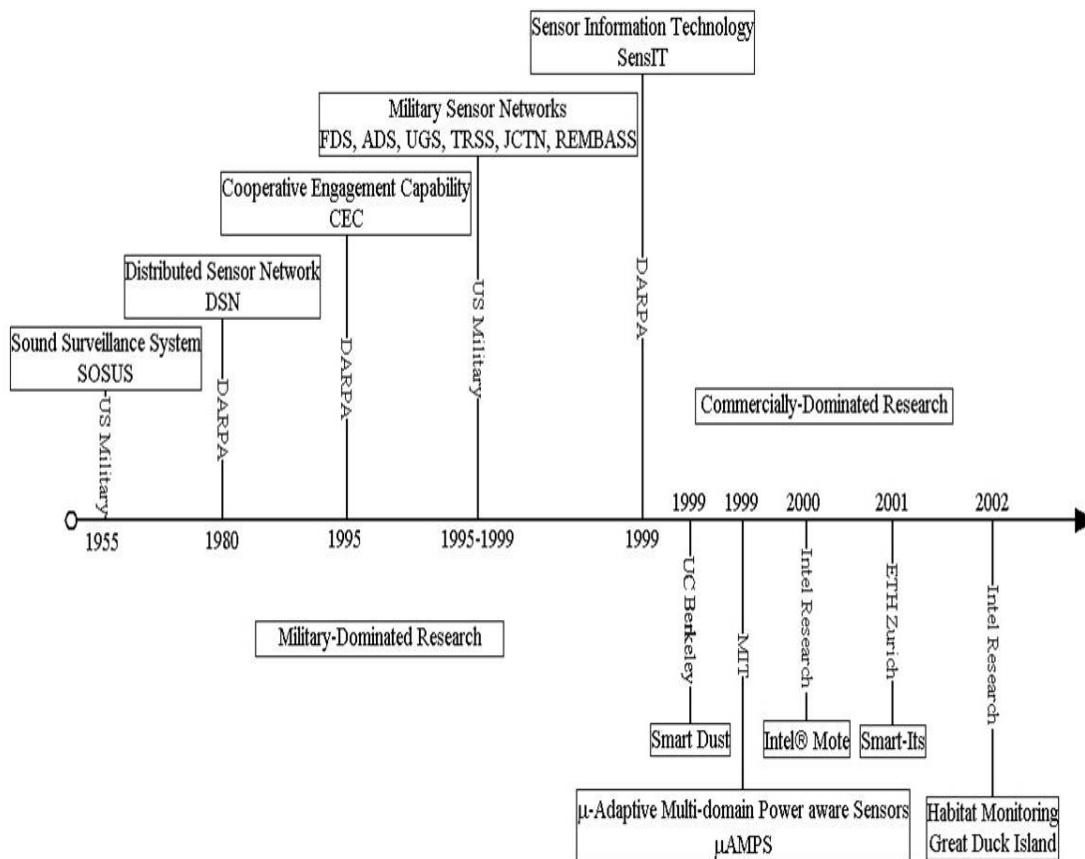
کار بر روی شبکه حسگرها بطور جدی از سال ۱۹۸۰ و با پروژه شبکه های حسگر توزیع شده DSN<sup>۲</sup> در آژانس پروژه های تحقیقات دفاعی پیشرفته آمریکا<sup>۳</sup> DARPA آغاز شد.

<sup>۱</sup> Sound Surveillance System

<sup>۲</sup> Distributed Sensor Networks

<sup>۳</sup> Department of Advanced Research Project Agency

پروژه وینز<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۳ و با همکاری دانشگاه کالیفرنیا و مرکز علوم شرکت راک ول<sup>۲</sup> شروع شد. این پروژه در سال ۱۹۹۸ به یک محصول تجاری تبدیل شد. در شکل ۱-۱ طرح ها و ایده های اولیه شبکه های حسگر نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: رخدادهای نگاری شبکه حسگر بی سیم

در حدود سال ۱۹۹۹ دانشگاه برکلی دو پروژه تحقیقاتی بر روی شبکه حسگرها آغاز کرد، پروژه ذره های باهوش<sup>۳</sup> و پروژه پیکورادیو<sup>۴</sup>. پروژه ذره های باهوش یک پروژه کاملاً جاه طلبانه بود و هدف آن ساختن گره های حسگری با ابعاد یک میلیمتر مکعب بود که البته به موفقیت‌هایی هم رسید. برای اینکه تصویری از این ابعاد داشته باشید باید گفت که این حسگرها چنان کوچک هستند که می توانند همانند گرد و غبار بوسیله جریان هوا جابجا شوند. در شکل ۱-۲ یک نمونه پیاده سازی شده غبار هوشمند توسط دانشگاه برکلی آمریکا و انواع دیگری از گره های شبکه حسگری بی سیم آورده شده است.

<sup>۱</sup> WINS

<sup>۲</sup> Rockwell

<sup>۳</sup> Smart Dust

<sup>۴</sup> PicoRadio