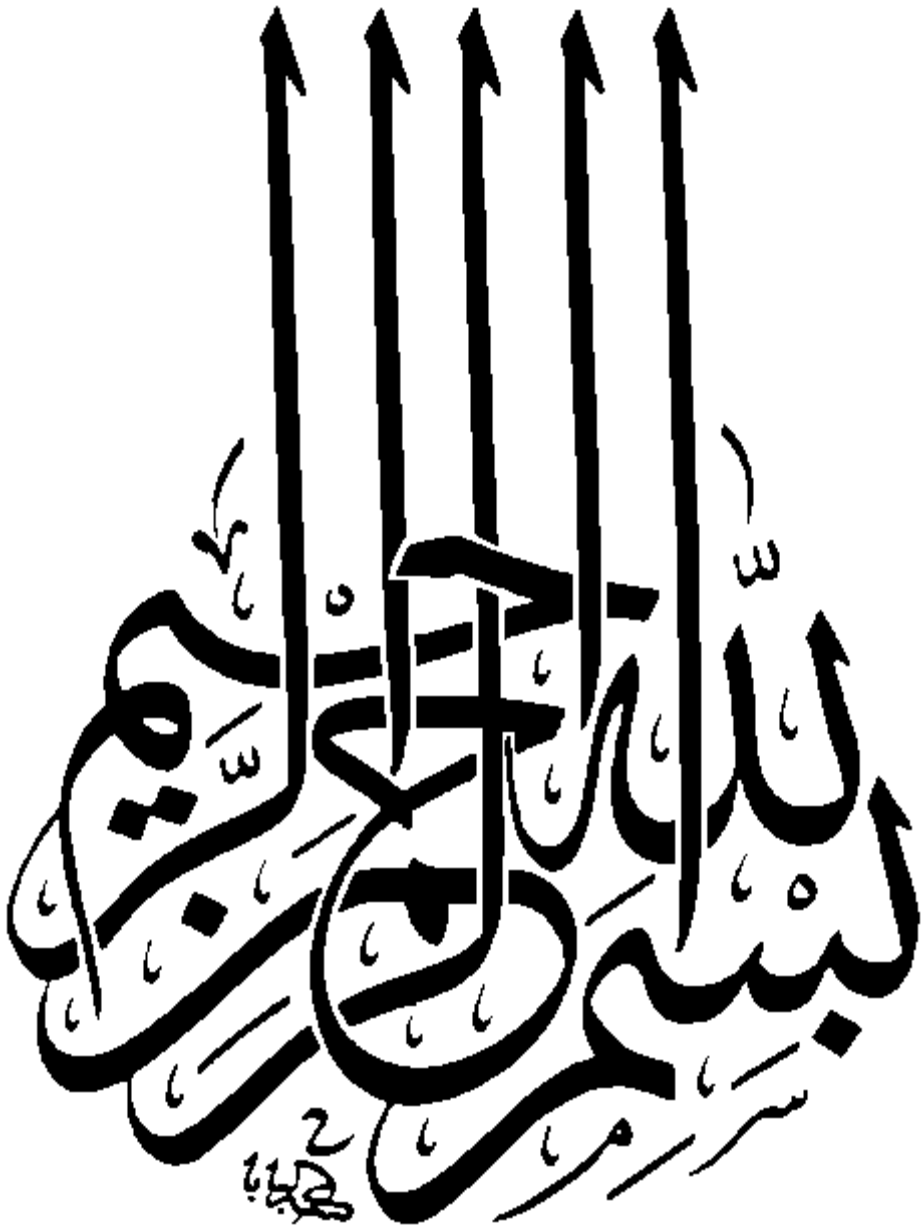

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مخابرات میدان

آنالیز و تحلیل گیرنده های Multi-Port توسط روش آنالیز کامل موجیFDTD

نگارش

ناهید وهابی ثانی

استاد راهنما : دکتر عباس محمدی

استاد مشاور : دکتر عبدالعلی عبدی پور

دی ۸۷

چکیده

نرخ داده بالا، مصرف توان پائین و پیچیدگی کم از پارامتر های مهم در طراحی پایانه های سیار در مخابرات نسل های آتی است.

هدف این پایان نامه ، آنالیز و تحلیل دقیق گیرنده های فراگیر، چند باندی و چند استانداردی است. این ساختار بر مبنای رادیو نرم افزار (SDR) طراحی می شود تا از پیچیدگی ساختار کاسته شود. در آشکار سازی از ساختار های چند دهانه ای استفاده می شود، چراکه پهنای باند فوق العاده زیادی برای پشتیبانی از استانداردهای مختلف ، فراهم می آورد. ایده اصلی ساختار های چند دهانه ای در آغاز فقط در تحلیل گر شبکه استفاده می شد ولی در یک دهه اخیر این ساختار به عنوان گیرنده مخابراتی RF نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

در این پایان نامه، ابتدا طراحی و شبیه سازی مایکروویو چند دهانه ای برای کاربردهای گیرنده های باندS وباند Ka (باند فرکانسی ۲۳ تا ۲۹ گیگا هرتز) انجام شده است، سپس آنالیز تمام موج گیرنده تبدیل مستقیم برای SDR با استفاده از روش FDTD[1] صورت می پذیرد. این گیرنده متشکل از بخش های مختلف به مانند ساختار مایکرواستریپی، المان های فشرده نظیر خازن و مقاومت و دیود های آشکار ساز می باشد. برای آنالیز المان های غیرخطی به مانند دیود، یک روش سریع و راحت به کار گرفته می شود. در نهایت تمامی بخش های این گیرنده به صورت یکپارچه توسط روش FDTD تحلیل شده و نتایج حاصل با شبیه سازی های انجام شده و نتایج اندازه گیری شده مقایسه می شود. نتایج تحلیل و شبیه سازی نشان می دهد که گیرنده تبدیل مستقیم چند دهانه ای توانایی آشکار سازی دیجیتال را به خوبی دارا بوده و به راحتی برای کاربرد های پهن باند قابل طراحی است.

کلمات کلیدی

گیرنده تبدیل مستقیم[2]، ساختار های چند دهانه ای[3] ، رادیو نرم افزار[4]، گیرنده پنج دهانه ای، آنالیز تمام موج FDTD.

1 -Finite Difference Time-Domain
2 -Direct Conversion Receiver
3 -Multi-Port Structure
4 -Software Radio

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۶

۱-۱- مقدمه ۷

۱-۲- هدف از اجرای پروژه ۹

۱-۳- تاریخچه ۱۰

۱-۴- نظم‌بندی پایان‌نامه ۱۱

فصل دوم: گیرنده های رادیویی ۱۳

۲-۱- مقدمه ۱۴

۲-۲- ساختار هترودایین ۱۶

۲-۳- معماری تبدیل مستقیم ۱۷

۲-۴- ساختار چند دهانه ای ۱۹

۲-۴-۱- ساختار شش دهانه ای ۲۰

۲-۴-۲- ساختار پنج دهانه ای ۲۴

۲-۴-۳- مزایای ساختار چند دهانه‌ای در کاربرد رادیو نرم‌افزار ۳۲

فصل سوم: تئوری ساختار های چند دهانه ای ۳۴

۳-۱- مدل مداری دیود نیمه هادی ۳۵

۳-۲-آشکار ساز های دیودی در کاربرد های چند دهانه ای ۳۸

۳-۳-فرمول بندی ساختارهای N دهانه ای [۲۶] ۴۰

۳-۴- ساختار شش(پنج) دهانه ای [۲۷] ۴۴

فصل چهارم: طراحی گیرنده های چند دهانه ای ۴۹

۴-۱- طراحی ساختار پنج دهانه ای برای گیرنده های رادیویی باند *Ka* ۵۰

۴-۱-۱-مقسم توان پهن باند ۵۱

۴-۱-۲-هایبرید ۹۰ درجه پهن باند ۵۸

۴-۱-۳-ساختار پنج دهانه ای پهن باند ۶۳

۴-۲-گیرنده پنج دهانه ای در باند ۲ تا ۲/۸ گیگا هرتز ۶۵

فصل پنجم: آنالیز ساختار های چند دهانه ای به روش تفاضل محدود درحوزه زمان ۷۰

۵-۱- الگوریتم Yee [۳۳] : ۷۲

۵-۲- دقت و پایداری در الگوریتم Yee : ۷۵

۵-۳- صورت اصلاح شده معادلات برای برنامه نویسی کامپیوتری ۷۵

۵-۴- مدل کردن منبع در FDTD ۷۷

۵-۴-۱- نحوه انتقال سیگنال از منبع به خط مایکرواستریپ ۷۹

۵-۵- شرایط مرزی جذب ۸۰

۵-۵-۱ شرط مرزی جذب Mur مرتبه اول: ۸۱

۵-۵-۲ شرط مرزی جذب واپاشنده : ۸۲

۵-۵-۳ نحوه اعمال شرایط مرزی جذب در مختصات دکارتی ۸۳

۵-۶-آنالیز تمام موج المان های فشرده با استفاده از روش FDTD ۸۳

۵-۶-۱- آنالیز تمام موج مقاومت وخازن با استفاده از روش FDTD ۸۳

۵-۷- نتایج شبیه سازی FDTD برای یک خط مایکرواستریپ با انتهای دیودی ۸۹

۵-۷-۱-شبیه سازی اشکار ساز پوش با استفاده از روش FDTD ۹۰
۵-۸-شبیه سازی المان های ساختار چند دهانه ای توسط روش تفاضل محدود ۹۱
۵-۸-۱- شبیه سازی هایبرید ۹۰ درجه با استفاده از روش FDTD..... ۹۱
۵-۸-۲- شبیه سازی تقسیم کننده توان ویلکینسون با استفاده از روش FDTD..... ۹۲
۵-۹-تحلیل تمام موج گیرنده های چند دهانه ای به روش FDTD..... ۹۴
۵-۹-۱-تحلیل تمام موج گیرنده پنج دهانه ای در فرکانس ۲/۴GHz..... ۹۵
۵-۹-۲- آنالیز تمام موج قسمت اکتیو گیرنده پنج دهانه ای ۹۷
۵-۱۰- آنالیز تمام موج گیرنده پنج(شش) دهانه ای (فرکانس ۲۶GHz)..... ۹۹
۵-۱۰-۱-محاسبه BER با استفاده از روش FDTD ۱۰۲
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهاد ۱۰۳
۶-۱-نتیجه گیری..... ۱۰۴
۶-۲- پیشنهاد برای ادامه کار..... ۱۰۵
مراجع :..... ۱۰۶

فصل اول

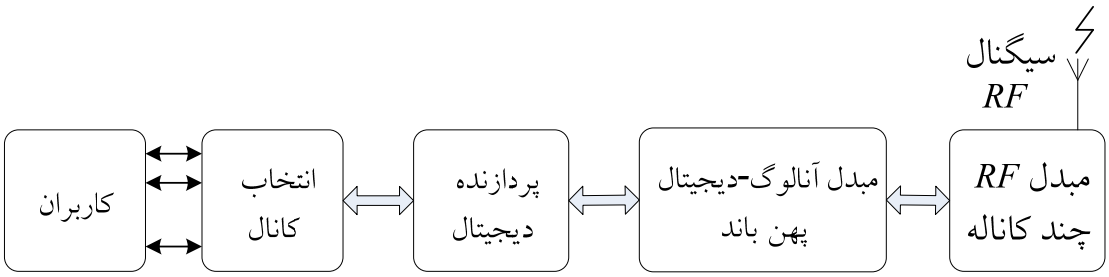
مقدمه

۱-۱- مقدمه

در حال حاضر مشکل عمده سامانه های نسل سوم، تنوع استانداردهای مخابرات سلولی است؛ زیرا با افزایش تعداد سامانه ها و تنوع سرویس‌های مختلف مخابرات سلولی، تقاضای کاربران نیز برای بکارگیری این سامانه ها افزایش یافته است. از طرفی حمل چندین پایانه دستی[۵] برای استفاده از این سرویس‌ها، مقرون به صرفه نیست. به همین جهت امروزه بحث سامانه های چندحالته و چند استانداردی مطرح شده است و طراحی و تولید سامانه هایی که با داشتن رادیوهایی با قابلیت برنامه‌ریزی و پیکربندی مجدد بتوانند از سرویس‌های متنوع صوتی، تصویری، داده و استانداردهای مختلف پشتیبانی کنند و به صورت یک سامانه یکپارچه همگانی قابل استفاده در مکان‌های مختلف باشد، مورد توجه طراحان سامانه های مخابراتی قرار گرفته است. طراحی چنین سامانه ای می‌تواند با پیاده‌سازی سخت‌افزاری سامانه های مختلف بطور موازی و مجزا در یک دستگاه واحد صورت پذیرد و با سوئیچ کردن بین سامانه های مختلف، عملکرد مورد نظر و سرویس مطلوب انتخاب شود، اما طراحی سخت‌افزاری چنین سامانه ای باعث عدم استفاده بهینه از منابع سخت‌افزاری می‌شود و حجم و هزینه بالایی در پی خواهد داشت. بهینه نبودن سامانه های چندحالته سخت‌افزاری و پیشرفت چشمگیر فن‌آوری دیجیتال، این نتیجه منطقی را به همراه خواهد داشت که تحقق سامانه های چند استانداردی با استفاده از نرم‌افزار صورت گیرد، که منجر به مفهوم رادیو نرم‌افزار می‌شود.

[5] Handset

یک سامانه رادیو نرم افزار[6] (*SDR*) سامانه ای است که در آن مشخصه هایی مانند محدوده فرکانس کار، نوع مدولاسیون و حداکثر توان منتشر شده فقط با تغییر در نرم افزار و بدون تغییر در سخت افزار قابل تغییر باشند.



شکل ۱-۱- نمودار بلوکی یک گیرنده ایده آل رادیو نرم افزار

در *SDR* اکثر پارامترهای سامانه در بخش نرم افزار تعیین می شوند. این ویژگی امکان استفاده از فقط یک ساختار برای کار کردن با مدولاسیون ها، کد گذاری ها و پروتکل های مختلف، تنها با برنامه ریزی مجدد بخش پردازنده، را فراهم می سازد. امکان به اشتراک گذاشتن راحت تر طیف و قابلیت استفاده از انواع مختلف مدولاسیون در *SDR*، استفاده باند فرکانسی در دسترس را بیشتر می کند. علاوه بر این امکان برنامه ریزی در *SDR* قابلیت همکاری بین سرویس های رادیویی مختلف را فراهم می سازد. شکل ۱-۱ نمودار بلوکی یک گیرنده ایده آل رادیو نرم افزار را نشان می دهد. ابتدا سیگنال *RF* میان گذر به باند پایه آورده می شود و سپس به یک مبدل آنالوگ به دیجیتال و فیلتر دیجیتالی قابل برنامه ریزی، یا دکدر کانال، برای انتخاب کانال مورد نظر، اعمال می شود. فیلتر یا دکدر قابل برنامه ریزی امکان دمدولاسیون سیگنال های *RF* با پهنای باند، نرخ انتقال و مدولاسیون های متفاوت را فراهم می کند. سخت افزار این سامانه بایدقابلیت انتقال

[6] Software Defined Radio

انواع باندهای فرکانسی در استانداردهای مختلف به باند پایه را داشته باشد. سپس سیگنال باند پایه به صورت دیجیتال در آمده و همه پردازش های بعدی توسط نرم افزار پیاده سازی می شود.

با توجه به نرم‌افزاری شدن برخی وظایف مخابراتی در سامانه رادیو نرم‌افزار، مشخصاتی به سخت‌افزار باقی‌مانده تحمیل می‌شود که سخت‌افزارهای متداول جوابگوی آن نخواهند بود. به همین جهت در سال های اخیر، همگام با تحقیقات انجام شده بر روی پردازش باند پایه سامانه رادیو نرم‌افزار، محققان به دنبال ساختار مناسبی برای طبقه *RF* سامانه رادیو نرم‌افزار بوده‌اند که نیازهای آن را به نحو مطلوبی برآورده کند. از جمله مواردی که برای کاربرد رادیو نرم‌افزار، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است، ساختارهای چند دهانه‌ای[۷] (نوعی ساختار تبدیل مستقیم) است. این ساختار به خوبی نیازهای یک سامانه رادیو نرم افزار را فراهم می کند و البته کاربرد آن فقط به این سامانه محدود نمی شود. رادیو نرم افزار به همراه گیرنده های چند دهانه ای نوید بخش سامانه هایی با کاربرد در شبکه های بی سیم محلی، انتشار صوت و تصویر و نیز سامانه هایی یکپارچه با قابلیت عمل در سرویس های مخابراتی مختلف است.

۱-۲- هدف از اجرای پروژه

سامانه های رادیو نرم‌افزار نقش مهمی در جهت‌گیری سامانه های مخابراتی نسل‌های آینده دارند. امروزه اکثر محققان در مجامع مخابراتی مختلف، با توجه به عملکرد بهینه و مزایایی که این سامانه ها فراهم می‌آورند، بر فراگیر شدن مفهوم رادیو نرم‌افزار در انواع سامانه های مخابراتی تاکید دارند. اگرچه با توجه به ماهیت نرم‌افزاری سامانه ، مشکلات فراوانی متوجه طراحی بهینه بخش باند پایه و نرم‌افزار مربوط به آن می‌شود، اما طراحی طبقه *RF* سامانه های رادیو نرم‌افزار نیز از این مشکلات طراحی مستثنی نیست، به طوریکه امروزه یکی از مشکلات عمده پیاده‌سازی سامانه های رادیو نرم‌افزار، طراحی مناسب طبقه *RF* است که با خواسته‌های رادیو نرم‌افزار متناسب باشد. با توجه به اینکه مهمترین مشخصه سامانه های رادیو نرم‌افزار چند استانداردی و چند حالته بودن آنها است، بیشتر مشکلات طراحی متوجه مشخصات گیرنده می‌شود؛ زیرا گیرنده سامانه رادیو نرم‌افزار باید از چنان حساسیت و پهنای باندی برخوردار باشد

7 -Multi-Port Structure

که از چندین استاندارد در فرکانس‌های مختلف پشتیبانی کند و بر مشکلات کانال فایق آید، به همین جهت موضوع اصلی این تحقیق، بر طراحی بهینه گیرنده رادیو نرم‌افزار با در نظر گرفتن تمامی عوامل موثر در پیاده سازی آن ها تمرکز دارد.

در این تحقیق از بین گزینه های موجود برای معماری گیرنده، ساختار چند دهانه ای به عنوان یکی از مناسب ترین گزینه ها انتخاب شده است؛ بنابرین به بررسی کامل ساختار های چند دهانه ای پرداخته خواهد شد. برای در نظر داشتن تمامی عوامل موثر در طراحی بهینه، شبیه سازی های انجام شده توسط نرم افزار *ADS* ، به کمک آنالیز تمام موج تفاضل محدود در حوزه زمان (*FDTD*[8])تکمیل شده است. دراین حالت، علاوه بر آنالیز تمام موج ساختار پسیو مایکرواستریپی، آنالیز تمام موج دیود های آشکار ساز و فیلتر های خروجی به صورت یکپارچه انجام پذیرفته است که این موضوع به نوبه خود نقش مهمی را در دقت بالای طراحی گیرنده ها و امکان بکارگیری آنها در سامانه های مخابراتی به عنوان گیرنده ایفا می نماید. با استفاده از نمونه های ساخته شده از ساختار های چند دهانه ای، برای بکارگیری در سامانه های مخابراتی باند*S* و*Ka* ، عملکرد این معماری در عمل نیز مورد ارزیابی قرار می گیرد.

۱-۳- تاریخچه

تا اواخر قرن بیستم، حجم وسیعی از رادیوهای سخت‌افزاری به عنوان ابزاری برای مخابره انواع اطلاعات بکارگرفته می‌شد و تنها عمیات کنترلی سامانه ها به نرم‌افزار تعلق می‌گرفت، تا اینکه اولین بار در سال ۱۹۹۱ ایده بکارگیری رادیو نرم‌افزار، توسط *Joseph Mitola* مطرح شد[۱]. در ابتدا مفهوم رادیو نرم‌افزار تنها به کاربردهای نظامی (مانند پروژه *SPEAKEASY*) محدود می‌شد[۲]، ولی بعد از مدتی جای خود را در زمینه‌های تجاری از جمله مخابرات سلولی باز کرد. در سال ۱۹۹۵، *Mitola* مقاله‌ای با عنوان *The Software Radio Architecture* منتشر کرد که زیربنای مفهوم رادیو نرم‌افزار را تشکیل داد[۱، ۳]. در سال ۱۹۹۶ انجمن بین‌المللی رادیو نرم افزار معروف به *SDRF*[9] (*SDR Forum*) بعنوان یک موسسه غیرانتفاعی، برای تحقیق، توسعه و

8 -Finite Difference Time Domain
9 -Software Defined Radio Forum

استانداردسازی معماری‌های رادیو نرم‌افزار جهت کاربردهای سامانه های بدون سیم پیشرفته و با عضویت اکثر سازندگان و مراکز تحقیقاتی جهان تشکیل شد. بعد از تاسیس این موسسه، توجه به اهمیت مفهوم رادیو نرم‌افزار همگانی‌تر شد. در سال ۱۹۹۹ نیز نشست مشترکی بین گروه مطالعاتی رادیو نرم‌افزار ژاپنی و *SDR Forum* صورت گرفت.

از سوی دیگر مقارن با توسعه رادیو نرم‌افزار، در سال ۱۹۹۴ در دانشگاه *Montreal*، ایده استفاده از ساختارهای چند دهانه‌ای به عنوان گیرنده تبدیل مستقیم مطرح شد[۵،۴]. با توجه به مشخصات بسیار مطلوب این ساختار و همخوانی آن با خواسته‌های رادیو نرم‌افزار، طولی نکشید که به عنوان گیرنده تبدیل مستقیم در کاربرد رادیو نرم‌افزار شناخته شد و مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفت. این ساختار به صورت نمونه آزمایشگاهی ساخته شد، ولی به صورت تولید انبوه در دسترس نیست. نمونه های عملی دیگری در فرکانس های مختلف گزارش شده است و تحقیقات برای بهبود ساختار و نیز یافتن کاربرد های جدید ادامه دارد. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۴ نمونه ای از یک مدار پنج دهانه ای در دانشگاه صنعتی امیر کبیر ساخته شد[۶] . کاربرد این ساختار در سامانه های *UWB*[10] به عنوان فرستنده و گیرنده در سال ۲۰۰۵ پیشنهاد شده است[۷] . علاوه بر گروه های دانشگاهی و شرکت *Sony* ، محققان شرکت *Siemens* نیز تحقیقاتی در زمینه گیرنده های چند دهانه ای آغاز کرده اند[۸] در برخی کاربردهای پزشکی و نوری نیز از چند دهانه ای ها استفاده شده است[۱۰،۹].

۱-۴- نظم‌بندی پایان‌نامه

در فصل دوم انواع معماری های *RF* موجود و پیشنهادی، برای بکارگیری در سیستم رادیو نرم‌افزار بررسی می‌شوند. دلیل انتخاب ساختار پنج دهانه ای در این تحقیق به عنوان طبقه *RF*، با توجه به مزایا و معایبی که برای انواع ساختارها ارایه می شود، در این فصل روشن می گردد.

10- Ultra Wide Band

در فصل سوم، تئوری کلی ساختارهای چند دهانه‌ای ارایه شده است و نظریات مبنی بر آشکار سازی توان توسط این گیرنده ها به تفصیل بیان شده است.

در فصل چهارم ساختارهای جدید چند دهانه‌ای و نتایج شبیه‌سازی آنها ارایه می‌شود. همچنین امکان بکارگیری آن به عنوان گیرنده تبدیل مستقیم چند استانداردی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل پنجم به آنالیز تمام موج ساختارهای چند دهانه ای برای کاربردهای گیرنده های رادیویی باندS و Ka با استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه زمان می‌پردازد و نتایج این شبیه سازی ها با استفاده از نتایج ساخت و اندازه گیری شده تائید می شود.

در نهایت در فصل ششم، نتیجه‌گیری کلی از پایان‌نامه ارایه می‌گردد و زمینه‌های کاری که برای ادامه پایان‌نامه مناسب به نظر می‌رسد، پیشنهاد می‌شود.

فصل دوم

گیرنده های رادیویی

۲-۱- مقدمه

در سامانه های رادیویی جدید، مدارهای RF باید سیگنال های آنالوگ با گستره دینامیکی زیاد، فرکانس بالا و پهنای باند فرکانسی وسیع را پردازش کنند و تا حد ممکن قابلیت برنامه‌ریزی هم داشته باشند. این مشخصات که سامانه را به سمت رادیو نرم‌افزار سوق می دهد، استفاده از طبقه RF ویژه‌ای را تحمیل می‌کند. برای دستیابی به این هدف، نمی‌توان از طبقات RF متعارف دیگر سامانه ها استفاده نمود، زیرا درنتیجه انتقال وظایف سخت‌افزار به بخش نرم‌افزاری، کنترل سخت‌افزار باقی‌مانده پیچیده‌تر خواهد شد و ایفای این وظایف توسط ساختارهای متداول مشکلات زیادی را در بر خواهد داشت. به همین جهت در این فصل معماری های مختلف گیرنده را بررسی می کنیم. بررسی مسایل مربوط به آنها و تضادهای موجود در تعیین قابلیت آنها برای کاربردهای جدید، بسیار مفید است.

پیچیدگی، قیمت، توان مصرفی و تعداد عناصر خارجی عوامل مهم در انتخاب معماری گیرنده هستند؛ هرچند نهایتا طراحی باید بر اساس قطعات موجود در بازار انجام شوند. انتخاب یک ساختار خاص باید برمبنای نیازمندی های سامانه های مخابراتی صورت گیرد. در سامانه های جدید بسته به کاربرد، موارد زیر اهمیت بیشتری یافته اند:

- پهنای باند وسیع یا ساختار چند باندی
- مداری با ابعاد کوچک و هزینه پایین
- توان مصرفی کم
- عملکرد وفقی در شرایط مختلف محیطی
- بهبود عملکرد و جبران مشکلات سامانه به صورت دیجیتالی

در حال حاضر معماری های ذیل مطرح هستند:

- نمونه‌برداری از سیگنال *RF*
- ساختار هترودایِن
- ساختار تبدیل مستقیم[۱۱]
- نمونه‌برداری از سیگنال *IF* و *IF* نزدیک صفر[۱۲]
- ساختار چند دهانه‌ای (*Multi-Port Structure*)

روش اول با استفاده از نمونه‌برداری مستقیم از سیگنـال رادیویـی پیـاده‌سازی می شود که در سامانه های با فرکانس مرکزی بالا و یا پهنای باند وسیع، با توجه به محدودیت‌های موجود در تکنولوژی ADC، این کار غیرعملی است. گیرنده‌های تبدیل مستقیم ازجمله IF صفر و IF نزدیک صفر، راه‌حل‌های مناسبی برای تامین مشخصات سامانه رادیو نرم‌افزار هستند، زیرا که با ابعاد کوچک، هزینه پایین و قابلیت انعطاف‌پذیری زیاد، پیاده‌سازی می‌شوند. همچنین مشکلات ساختار IF صفر، از قبیل DC Offset، نویز flicker و انترمدولاسیون دوم توسط الگوریتم‌های DSP و ساختار IF نزدیک صفر حل شده است. در این میان نوعی گیرنده تبدیل مستقیم با ساختاری متفاوت بر مبنای فناوری چند دهانه ای پیشنهاد شده، که بسیار مورد توجه قرار گرفته است. متداول‌ترین نوع این فناوری از ساختار شش دهانه ای استفاده می کند.

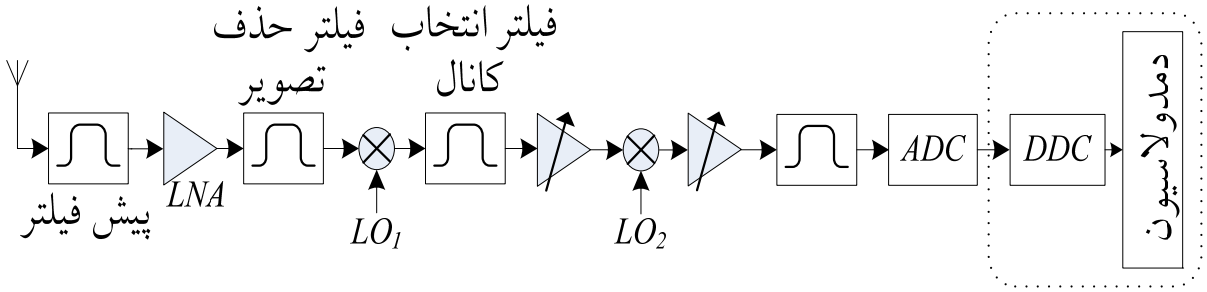
1- Direct Conversion
2- Near Zero IF

۲-۲- ساختار هترودایـن

ساختار هترودایـن، ساختار متداولی است که در دهه‌های گذشته، استفاده وسیعی در سامانه های بدون سیم داشته است. امروزه اساس عملکرد ساختار هترودایـن کاملاً درک شده و چالش‌های تکنیکی آن با توجه به فناوری موجود بررسی شده است [۱۲،۱۱] .

سیگنال RF بعد از فیلتر شدن اولیه به مدار LNA و سپس به فیلتر حذف سیگنال تصویر اعمال می شود. این سیگنال در سیگنال اسیلاتور محلی اول ضرب شده و سیگنال به فرکانس میانی[۱۳] (IF) منتقل می شود. بعد از طبقهٔ مخلوط کننده[۱۴] اول، فیلتر IF با حذف سیگنال های مزاحم، عمل انتخاب کانال را انجام می دهد. در ادامه مخلوط کننده دوم با استفاده از سیگنال اسیلاتور محلی دوم سیگنال IF را به باند پایه می آورد. سیگنال باند پایه نمونه برداری شده و به کمک یک سری پردازش اطلاعات از آن استخراج می شود.

بکارگیری این ساختار در رادیو نرم افزار، مشکلاتی را در بردارد که در ادامه به بررسی آنها می‌پردازیم.



شکل ۲-۱- ساختار کلی گیرنده هترودایـن رادیو نرم‌افزار

در این ساختار تبدیل فرکانسی دو مرحله‌ای است و از فیلترهای با Q بالا استفاده می‌شود. امکان مجتمع شدن و کاهش ابعاد گیرنده با این ساختار وجود ندارد، چرا که بخش‌هایی که دارای Q بالایی هستند، مانند فیلترهای IF و حذف تصویر، بیشترین ابعاد را به خود اختصاص می‌دهند و به سختی مجتمع می شوند. علاوه بر این، چون سیگنال تصویر باید به خوبی حذف شود، در کاربردهایی مانند رادیو نرم‌افزار، مشکلاتی پیش می آید؛ در رادیو نرم‌فزار باید گیرنده بین حالت های مختلف در یک پهنای باند وسیع تغییر وضعیت دهد. از آنجا که کانال‌ها در استانداردهای مختلف، که در محدوده‌های فرکانسی مختلف کار می‌کنند، دارای فرکانس‌های

13- Intermediate Frequency
14 -Mixer

تصویر مختلفی هستند، برای تغییر حالت بین استانداردهای مختلف، باید از چندین فیلتر IF با قدرت انتخاب بالا استفاده شود. علاوه بر این به هنگام اضافه شدن یک استاندارد جدید به سامانه رادیو نرم‌افزار، باید یک فیلتر حذف تصویر جدید نیز اضافه شود. این مورد علاوه بر اینکه مقرون به صرفه نیست، با رادیو نرم‌افزار، که باید سامانه را از تغییر سخت افزاری بی نیاز کند، مغایرت دارد. همچنین، به علت تبدیل فرکانس دو مرحله‌ای و جریان بزرگ بایاس فیلترها، سامانه توان مصرفی بالایی دارد[۱۲،۱۱].

عیب دیگر این ساختار ناشی از ثابت بودن فرکانس IF ورودی ADC است. چون فرکانس IF دوم معمولاً ثابت است و منطبق بر پهنای باند کانال تنظیم می‌شود، نمی‌توان از نرخ داده‌های متغیر استفاده نمود. بنابراین طراح سامانه ، همواره مجبور به استفاده از حداکثر پهنای باند معادل با بالاترین نرخ داده می‌شود. هنگامیکه از پهنای باند ثابت معادل با حداکثر نرخ داده برای نرخ داده‌های مختلف استفاده می‌شود، رادیو در نرخ داده‌های پایین، از حساسیت کمتری برخوردار است و بیشتر در معرض خطر تداخل و دیگر موانع دریافت، قرار می‌گیرد.

البته مزیت این ساختار در عدم وجود مشکلاتی چون $DC\ Offset$ و نامتوازن بودن دو مسیر I و Q است، زیرا عمل جداسازی دو مسیر به صورت دیجیتالی توسط DDC انجام می‌شود. اما نهایتاً معایب این ساختار، استفاده آن را برای رادیو نرم‌افزار پیچیده می‌سازد.

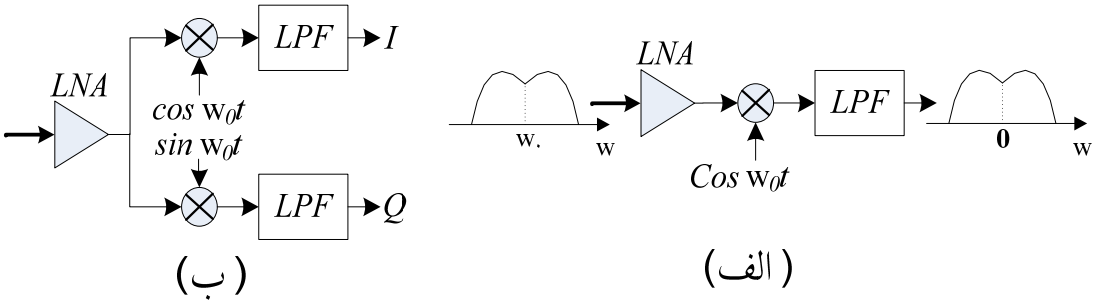
۲-۳- معماری تبدیل مستقیم

مشخصات بارز ساختار سوپر هترودین، اعم از ابعاد بزرگ، توان مصرفی بالا، قابل مجتمع نبودن، پهنای باند ثابت برای نرخ داده‌های مختلف، سرراست نبودن استفاده آن در گیرنده‌های چند استانداردی مانند رادیو نرم‌افزار باعث شده است که طراحان به ساختارهای هموداین روی آورند[۱۱و۱۲و۶۲]. گیرنده تبدیل مستقیم[۱۵](DCR) عملکرد جالب توجهی را از نظر توان مصرفی، ابعاد و هزینه نسبت به ساختار سوپرهترودین فراهم می‌کند.

شکل ۲-۲ یک ساختار ساده DCR را نشان می دهد که در آن فرکانس اسیلاتور محلی برابر فرکانس سیگنال حامل ورودی است. توسط یک LPF با مشخصه نسبتاً تیز، سیگنال مورد

15- Direct Conversion Receiver

نظر انتخاب می شود. مدار شکل ۲-۲ (الف) همان مداری است که برای آشکارسازی سیگنال های AM با دو باند کناری[۱۶] بکار می رود. برای آشکارسازی مدولاسیون فاز و فرکانس از گیرنده شکل ۲-۲ (ب) که خروجی های متعامد را ایجاد می کند باید استفاده کرد.



شکل ۲-۲- (الف) گیرنده ساده *DCR* (ب) گیرنده *DCR* برای خروجی های متعامد

گیرندهٔ DCR به علت صفر بودن فرکانس IF ، مشکل سیگنال تصویر را از بین برده است و در نتیجه نیاز به فیلتر حذف تصویر نمی باشد، همچنین محدودیت های طراحی گیرنده های هتروداین از قبیل پایداری و عدد نویز، در طراحی تقویت کننده کم نویز (LNA) به منظور راه اندازی فیلتر حذف تصویر با امپدانس ورودی ۵۰ اهم، در گیرنده های DCR از بین می رود. فیلتر بسیار دقیق در باند میانی و طبقات بعدی پایین آورنده فرکانس، با فیلترهای پایین گذر و تقویت کننده های باند پایه، جهت حذف سیگنال های تداخلی و تقویت سیگنال باند پایه قبل از اعمال به مدار آشکارساز، جایگزین می شوند که براحتی قابل تحقق توسط مدارات مجتمع می باشند.

البته استفاده از ساختار تبدیل مستقیم دارای محدودیت‌های تکنیکی است که به علت وجود برخی نکات در طراحی ظاهر می‌شوند. به عنوان مثال، مواردی چون نشت LO ، DC $Offset$ ، عدم توازن I/Q ، نویز $flicker$، انترمدولاسیون مرتبه دوم و لزوم استفاده از ADC با محدوده دینامیکی بالا از جمله این مشکلات است. ما در کاربرد رادیو نرم‌افزار علاقه‌مندیم که علاوه بر راه‌حل‌های عملی موجود برای حداقل کردن این مشکلات در سخت‌افزار، این اثرات را به نحوی تخمین بزنیم و با استفاده از DSP آنها را برطرف کنیم. در این صورت، می‌توان

16- Double Side Band

مشکلات سخت‌افزاری را توسط ارتباط بین بخش‌های *DSP* و *RF* ، حل نمود و به یک سامانه خودکار با قابلیت برنامه‌ریزی مجدد یا به عبارتی رادیو نرم‌افزار دست یافت.

۲-۴- ساختار چند دهانه ای

اولین بار در سال ۱۹۶۴، *Cohn* و *Weinhouse* ایده استفاده از شش دهانه ای را برای اندازه‌گیری فاز سیگنال مایکروویو مطرح کردند. به همین علت کاربرد اصلی ساختار شش دهانه ای در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی محدود به *Network Analyzer* ها و اندازه‌گیری‌های مایکروویو بود [۱۳].

در سال ۱۹۹۴، *Ji Li* ، *R.G Bosisio* و *Ke Wu* از دانشگاه *Montreal* کانادا، ایده استفاده از ساختار شش دهانه ای، به عنوان گیرنده تبدیل مستقیم را پیشنهاد کردند[۵،۴]. این ایده از اساس مدولاسیون‌های دیجیتال ناشی شد، زیرا در مدولاسیون‌های دیجیتال اطلاعات در دامنه و فاز کاریر ذخیره می‌شود، بدین ترتیب هر ساختاری که بتواند دامنه و فاز کاریر مایکروویو را اندازه‌گیری کند، می‌تواند به عنوان آشکارساز در گیرنده دیجیتال مورد استفاده قرار گیرد. این ساختار، تقریباً همزمان با ایده رادیو نرم‌افزار، مطرح شد، به همین دلیل تحقیقات روی شش دهانه ای در دانشگاه *Montreal* در بکارگیری آن در سامانه های *SDR* و حل مشکلات طبقه *RF* رادیو نرم‌افزار متمرکز شد.

در سال ۲۰۰۳ شرکت *Sony* یک ساختار چند دهانه‌ای با عنوان پنج دهانه ای ارایه نمود که برای کاربرد رادیو نرم‌افزار مناسب است[۱۴-۱۷]. نمونه آزمایشگاهی *MMIC* این ساختار توسط شرکت *Sony* پیاده‌سازی شده و مورد آزمایش قرار گرفته است. همچنین در سامانه رادیو نرم‌افزار *SOPRANO* بکار گرفته شده و نتایج قابل توجهی در عملکرد این ساختار به دست آمده است[۱۵] در حال حاضر نیز در اکثر مقالات و تحقیقات موجود، از ساختارهای شش دهانه ای به عنوان گیرنده رادیو نرم‌افزار یاد می‌شود. در ادامه به بررسی نحوه عملکرد این ساختار و چگونگی بکارگیری آن در رادیو نرم‌افزار می‌پردازیم.