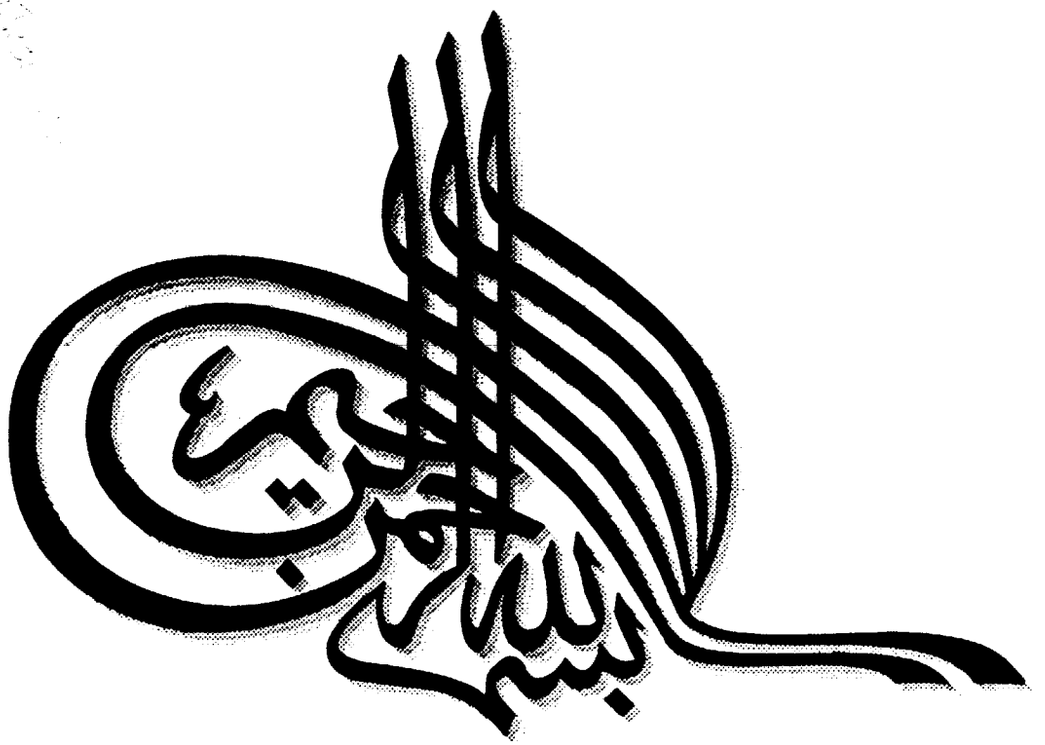


٣٨٩٨٩

۱۳۸۰ /۱۱/ ۲۹

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

موضوع:

خطی سازی تقویت کننده‌های توان RF به روش پیش اعوجاج دیجیتال با استفاده از جدول جستجو

توسط: جواد یاوند حسنی

استاد راهنما: دکتر محمود کمره‌ای

استاد مشاور: دکتر سید مهدی فخرایی

015841

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق-گرایش الکترونیک

شهریور ۱۳۸۰

۴۸۹۸۶

دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

موضوع:

خطی سازی تقویت کننده‌های توان RF به روش پیش اعوجاج دیجیتال با استفاده از جدول جستجو

توسط: جواد یاوند حسنی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی برق، گرایش الکترونیک

از این پایان‌نامه درتاریخ ۱۳۸۰/۶/۳۱ در مقابل هیأت داوران دفاع بعمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی:	دکتر محمدعلی هاشمی
مدیر گروه آموزشی:	دکتر محمود کمره‌ای
سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه:	دکتر جواد فیض
استاد راهنما:	دکتر محمود کمره‌ای
استاد مشاور:	دکتر سید مهدی فخرایی
عضو هیأت داوران:	دکتر علی افضلی کوشا
عضو هیأت داوران:	دکتر فروهر فرزانه
عضو هیأت داوران:	دکتر محسن شیوا

تقدیم به:

پدر و مادرم

و تقدیم به:

همه ره یافتگان وصال

تقدیر و تشکر:

پس از شکروسپاس بیکران به درگاه حق‌تعالی، برخـود لازم می‌دانـم کـه از زحمـات اسـاتید ارجمند راهنما و مشاور اینجانب، آقایان دکتر کمره‌ای ودکتر فخرایی قدر دانی نمایم. همچنین وظیفـه خود می‌دانم که از اساتید گرامی آقایان دکتر افضلی کوشا، دکتر فرزانه و دکتر شیوا که زحمـت داوری دفاعیه را تقبل نمودند تشکر نمایم.

چکیده:

خطی سازی تقویت کننده‌های توان RF در مخابرات سیار نسل سوم امری اجتناب ناپذیر است. در میان روشهای مختلفی که به این منظور ارائه شده‌اند، پیش اعوجاج دیجیتال با استفاده از جدول جستجو یک روش ساده و با عملکرد بسیارخوب می‌باشد. این روش با سخت افزار ساده‌ای پیاده سازی می‌شود و با توجه به اهمیت توان مصرفی و سطح تراشه مورد نیاز در مجتمع سازی انتخاب مناسبی است. این نوع خطی سازی به چند روش قابل اجرا است که مهمترین آن روش بهره مختلط و قطبی می‌باشند.

در این پایان نامه دو روش مذکور شبیه سازی شده‌اند و با استفاده از نتایج شبیه سازی روند منظمی برای طراحی این نوع خطی سازها ارائه شده است. با این الگوی طراحی پارامترهای مورد نیازدرپیاده سازی سخت افزاری این سیستمها بهینه می‌شوند و دسترسی به حداکثر پهنای باند خطی سازی با ساده‌ترین سخت افزار ممکن می‌شود.

دو عامل اساسی مؤثر در سرعت و سخت افزار خطی ساز بهره مختلط، حافظه مورد نیاز جدول جستجو و ضرب کننده مختلط می‌باشند. آدرس دهی مناسب جدول جستجو منجر به افزایش کارآیی آن و در نتیجه کاهش حجم حافظه مورد نیاز می‌شود. در این پایان نامه روش جدیدی برای آدرس دهی جدول ارئه شده است که از یک تحلیل ریاضی نشات می‌گیرد. پیاده سازی این روش در خطی ساز بهره مختلط بدون نیاز به سخت افزار اضافه انجام می‌گیرد. رنج دینامیکی جدول جستجو، طول کلمه حافظه و اندازه ضرب کننده را تعیین می‌کند. در این پایان نامه روش جدیدی برای کاهش این رنج دینامیکی ارائه شده است. این روش با سخت افزار بسیار ساده‌ای قابل پیاده سازی می‌باشد.

مزیت عمده خطی ساز قطبی ساده بودن محاسبات مورد نیاز در فرآیند سازگار سازشدن جدول می‌باشد. اما این روش در مقایسه با روش بهره مختلط، عملکرد ضعیفتری دارد. به همین دلیل جدول جستجوی در روش قطبی چند برابر بزرگتر از روش بهره مختلط می‌باشد. در این پایان نامه ساختار جدیدی برای خطی ساز قطبی ارائه شده است که عملکرد جدول جستجو را بهبود می‌بخشد و منجر به کاهش اندازه حافظه مورد نیاز، تا حد برابر با روش بهره مختلط می‌شود. ساختار ارائه شده علاوه بر کاهش اندازه حافظه مورد نیاز، باعث کاهش حساسیت سیستم نسبت به خطای تبدیل دستگاه مختصات می‌شود و سخت افزار سیستم ساده تر می‌شود.

کلمات کلیدی: تقویت کننده توان RF ، خطی سازی، پیش اعوجاج دیجیتال، جدول جستجو، بهره مختلط، خطی‌ساز قطبی.

پیشگفتار

تعداد مشترکین و استفاده‌کنندگان سرویسهای مخابرات رادیویی سیار روز به روز در حال گسترش است. این نرخ رشد به دلیل افزایش اطمینان و کیفیت این سیستمها و ارائه خدمات جدید در عرصه تجارت و انتقال داده‌ها، علاوه بر مکالمه توسط این سیستمها می‌باشد. افزایش تعداد کاربردان بعلاوه توسعه کاربرد مخابرات سیار، افزایش چشمگیر سرعت انتقال اطلاعات و قابلیت اطمینان را ضروری می‌سازد. توجه به تکنولوژی دیجیتال از حدود ۱۰ سال پیش آغاز شد و بعد از گذشت چند سال، مخابرات سیار دیجیتال به عنوان نسل دوم جایگزین مخابرات سیار آنالوگ که اولین نسل مخابرات سیار بود، گردید. با گذشت زمان توسعه این سیستمها سرعت بیشتری به خود گرفت و توجه همه به نسل سوم مخابرات سیار جلب گردید. هم‌اکنون نسلهای جدید روند تکاملی خود را طی می‌کند.

سه پارامتر اساسی در نسل سوم مورد توجه خاص قرار گرفته است: صرفه‌جویی در پهنای باند، قابلیت اطمینان بالا، صرفه‌جویی در توان مصرفی. در مخابرات سیار نسل دوم بطور کلی از مدولاسیونهای با پوش ثابت استفاده می‌شود. این مدولاسیونها یک مزیت عمده دارند و آن امکان استفاده از تقویت‌کننده‌های غیرخطی با بازده توان خیلی بالا می‌باشد. اما از نظر طیف فرکانسی کارآمد نیستند و نمی‌توانند پاسخگوی نیازهای نسل سوم باشند. بنابراین مدولاسیونهایی نظیر M-QAM , $\pi/4$-DQPSK مورد توجه قرا رگرفته‌اند که دارای تغییرات فاز و دامنه هستند. یعنی اطلاعات پیام در دامنه و فاز سیگنال حامل رمز شده است.

استفاده از این مدولاسیونها در کنار فیلترنمودن مناسب سیگنالهای مدوله‌شده باند پایه، مشخصات طیفی مورد نیاز نسل سوم را برآورده می‌کند ولی باعث بروز یک مشکل اساسی می‌شود: استفاده از تقویت‌کننده‌های غیر خطی را غیرممکن می‌سازد. زیرا این تقویت‌کننده‌ها نه تنها باعث پهن‌شدن طیف فرکانسی و از دست‌رفتن مزیت مدولاسیونهای مورد استفاده و فیلترینگ می‌شود، بلکه

باعث بوجودآمدن خطا در اطلاعات ارسال شده و کـاهش قـابلیت اطمینـان می‌شـود. زیـرا اعوجـاج بوجود آمده بازیابی اطلاعات را مشکل و حتی غیر ممکن می‌سازد.

استفاده از تقویت‌کننده خطی با مسئله توان مصرفی ارتباط پیدا می‌کند. زیرا تقویت‌کننده‌هـای خطی معمولی نظیر کلاس A بازده توان پایینی دارند و برای سیستمهای سـیار کـه از بـاتری اسـتفاده می‌کنند، قابل استفاده نیستند و باعث کاهش زمان کارکرد سیسـتم و افزایـش وزن و حجـم می‌شـوند. بنابراین استفاده از تکنیکهای خطی‌سـازی ضـروری می‌باشـد. بـا ایـن تکنیکـها می‌تـوان دو ویـژگـی خطی‌بودن و بازده توان بالا را در یک تقویت‌کننده بوجود آورد. در برخی استانداردها نظـیر TETRA تمهیداتی برای اجرای تکنیکهای خطی‌سازی اندیشیده شده است.

روشهای مختلفی برای خطی‌سازی تقویت‌کننده‌های توان RF در مخابرات سیار ارائه شـده‌اند که برخی از آنها آنالوگ و برخی دیگر دیجیتال هستند. گرایش شدید به تکنولوژی دیجیتال و طراحی سیستم روی تراشه[1]، موقعیت ممتازی را به روشهای دیجیتال بخشیده است. این روشـها اگـرچـه در مقایسه با برخی روشهای آنالوگ، پیچیده‌تر هستند، اما پایداری بالا و قابلیت سازگارشدن باعث توجه بیشتر به آنها شده است. در میان روشهای دیجیتال، تکنیک پیش‌اعوجاج دیجیتال با استفاده از جـدول جستجوحائز اهمیت بسیاری است و این به دلیل سادگی و سهولت ایجاد قابلیت سـازگـاری در کنـار پایداری تضمین شده می‌باشد.

در این پایان‌نامه روشهای مختلف خطی‌سـازی بـا تکنیـک پیش‌اعوجـاج دیجیتـال بـا استفاده از جدول جستجو بررسی می‌شوند و مراحل طراحی چنین سیستمهایی بصورت علمی ودر کنار تحلیلهای ریاضی و نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌گردد. بخش اصلی پایان‌نامه بـهبودها و روشهای جدیدی است که برای افزایش دقت و کاهش پیچیدگی این سیستمها ارائه شده‌اند. در فصل اول علاوه بر پیش‌زمینه‌ای در ارتباط با تقویت‌کننده‌های خطی RF ، معیارهـای بـرآورد خطی‌بودن تقویت‌کننده تعریف و تشریح شده‌اند. در فصل دوم روشهای مختلف خطی‌سـازی

این تقویت‌کننده‌ها به اجمال بررسی شده‌اند و نقاط قوت و ضعف هر یک ارائه شده است تا در یک مقایسه کلی مورد استفاده قرار گیرند. فصل سوم به بررسی روشهای مختلف خطی‌سازی با تکنیک پیش‌اعوجاج دیجیتال با استفاده از جدول جستجو اختصاص دارد و در فصل چهارم خطاهای کوانتیزاسیون و دیگر عوامل کاهش عملکرد خطی‌سازی سیستم به صورت ریاضی تحلیل شده‌اند. در فصل پنجم شبیه سازی خطی ساز بهره مختلط و قطبی و یک روند منظم برای طراحی این سیستمها ارائه شده است ودر فصل ششم روشهای جدیدی را برای افزایش دقت و کاهش پیچیدگی این نوع خطی‌سازها ارائه می‌شوند که حاصل این پروژه می‌باشد. در این فصل تحقق سخت‌افزاری روشهای مذکورنیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. آخرین فصل پایان‌نامه به بررسی نتایج حاصل می‌پردازد و شامل پیشنهاداتی برای ادامه این پروژه می‌باشد. مقالاتی که از این پایان‌نامه استخراج شده‌اند و به کنفرانسهای داخلی و خارجی ارسال، چاپ یا پذیرفته شده‌اند عبارتند از:

[1] Javad Yavand Hassani and Mahmoud Kamareei, *"A Flexible Method of LUT Indexing in the Digital Predistortion Linearizer for RF Amplifier Linearization"* ISCAS2001, Vol. 1, pp. 53-47, 2001,Sydny, Australia.

[2] Javad Yavand Hassani and Mahmoud Kamareei *"Quanization Error Improvement in the Digital Predistortion Linearizer for RF Power Amplifiers"* Vehicular Technology Conference, 2001. VTC2001 Fall, IEEE VTS 54th Vol. 2, pp. 1201-1204.

[3] Javad Yavand Hassani and Mahmoud Kamareei *"A New Digital Technique for Rf Power Amplifier Linearization"* Submitted to the GLOBECOM2001 (IEEE Communication Society), November 25-29, 2001, Texas.

[۴] جواد یاوند حسنی، محمود کمره‌ای، *"بحثی در خطی سازی تقویت کننده های توان RF به روش پیش اعوجاج دیجیتال"* چاپ شده در مجموعه مقالات نهمین کنفرانس مهندسی برق ایران

[1] System on Chip

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مروری بر مقدمات خطی سازی تقویت کننده‌های توان RF	۱
۱-۱) فرستنده درمخابرات سیار	۱
۱-۲) تقویت‌کننده توان RF غیرخطی	۳
۱-۲-۱) مشخصات تقویت‌کننده توان RF	۳
۱-۲-۲) اثرات غیرخطی‌بودن تقویت‌کننده توان	۵
۱-۲-۳) معیارهای برآورد خطی‌بودن فرستنده‌های RF	۸
۱-۳) ضرورت خطی سازی تقویت کننده‌های توان RF در مخابرات سیار	۱۰
۱-۳-۱) محدودیت در پهنای باند	۱۰
۱-۳-۲) خطی سازی از دید استانداردهای مخابرات سیار نسل سوم	۱۱
۱-۳-۳) ضرورت خطی سازی تقویت کننده توان در پایگاه زمینی	۱۳
۱-۳-٤) ضرورت خطی سازی تقویت کننده توان در ترمینال سیار	۱٤
فصل دوم: روشهای خطی‌سازی تقویت‌کننده‌های توان RF	۱۵
۲-۱) روش پیش‌خورد	۱٦
۲-۲) روش پس‌خورد	۱۸
۲-۲-۱) پس‌خورد کارتزین	۱۹
۲-۲-۲) پس‌خورد کارتزین با بایاس دینامیکی	۲۰
۲-۲-۳) پس‌خورد در تقویت‌کننده‌های چند کاناله	۲۱
۲-۲-٤) پس‌خورد قطبی	۲۲
۲-۲-۵) دیگر سیستم‌های پس‌خورد	۲۳
۲-۳) روش حذف و بازیابی دامنه	۲۳
۲-٤) روش LINC	۲٤
۲-۵) روش CALLUM	۲٦
۲-٦) روش پیش‌اعوجاج	۲۷
۲-٦-۱) پیش‌اعوجاج آنالوگ	۲۷
۲-٦-۲) پیش‌اعوجاج دیجیتال	۲۹

۲-۷) انتخاب روش مناسب ۳۰

فصل سوم: پیش‌اعوجاج با جدول جستجو ۳۲

۳-۱) ساختار مولد پیش اعوجاج با جدول جستجو ۳۲

۳-۲) پیش‌اعوجاج بر مبنای نگاشت ۳۶

۳-۲-۱) مزایا و معایب روش نگاشت ۳۷

۳-۳) پیش‌اعوجاج بر مبنای بهره مختلط ۳۸

۳-٤) پیش‌اعوجاج قطبی ٤۱

۳-٤-۱) دسترسی به جداول فاز و دامنه ٤۳

٤-۳-۲) ملاحظات سخت‌افزاری ٤٤

۳-۵) روش‌های استفاده از جدول جستجو ٤۵

۳-٦) روش‌های سازگار شدن جدول جستجو و همگرائی جدول ٤٦

۳-٦-۱) سازگارشدن با همگرائی خطی ٤۷

۳-٦-۲) سازگارشدن به روش سکانت ٤۷

۳-٦-۳) سازگارشدن به روش RASCAL ٤۹

۳-٦-٤) درون‌یابی جدول در فرآیند بهنگام‌سازی ۵۰

۳-٦-۵)مقایسه روشهای همگرایی ۵۱

۳-۷) روشهای آدرس‌دهی جدول جستجو ۵۲

۳-۷-۱) آدرس‌دهی با توان سیگنال ورودی ۵۲

۳-۷-۲) آدرس‌دهی با دامنه سیگنال ورودی ۵۳

۳-۷-۳) مقایسه روشهای آدرس دهی جدول جستجو ۵۳

فصل چهارم: تحلیل خطا در پیش مولد پیش اعوجاج بهره مختلط ۵٦

٤-۱) خطای کوانتیزاسیون ۵۷

٤-۱-۱) کوانتیزاسیون سیگنال ورودی ۵۷

٤-۱-۲) کوانتیزاسیون در محاسبه آدرس جدول ۵۸

٤-۱-۳) کوانتیزاسیون محتویات جدول جستجو ٦۰

٤-۱-٤) خطای کوانتیزاسیون ناشی از محدودبودن اندازه جدول ٦٤

٤-۱-۵) کوانتیزاسیون خروجی مولد پیش اعوجاج ٦٦

٤-۱-٦) کوانتیزاسیون اصلاح‌کننده مدولاتور ٦۸

٤-٢) فیلتر بازسازی ٧٢

٤-٢-١) تحلیل اثرات فیلتر بازسازی ٧٢

فصل پنجم: شبیه سازی، الگوی طراحی و پیاده‌سازی ٧٨

٥-١) مقدمات شبیه سازی و پیاده‌سازی ٧٨

٥-١-١) الگوی شبیه‌سازی ٧٨

٥-١-٢) نمونه‌های سیگنال مدوله‌شده ٨١

٥-١-٣) مشخصه‌های تقویت‌کننده توان ٨٥

٥-١-٤) مدل جدید برای تقویت کننده توان غیر خطی ٨٨

٥-٢) شبیه سازی روش بهره مختلط ٩٠

٥-٢-١) سیستم ایده‌آل ٩١

٥-٢-٢) انتخاب فرکانس نمونه‌برداری ٩٢

٥-٢-٣) فیلتر بازسازی و تأخیر درزمان نمونه‌برداری سیگنال پس‌خورد ٩٤

٥-٢-٤) انتخاب اندازه جدول و طول کلمات ٩٧

٥-٢-٥) انتخاب روش آدرس‌دهی جدول ١٠١

٥-٢-٦) تقریب دامنه سیگنال ورودی ١٠٤

٥-٢-٧) انتخاب روش سازگارشدن جدول ١٠٧

٥-٣) محاسبه سرعت و سخت‌افزار در خطی ساز بهره مختلط ١١٠

٥-٣-١) بخش حافظه ١١١

٥-٣-٢) ضرب‌کننده مختلط ١١١

٥-٤) شبیه‌سازی روش قطبی ١١٥

٥-٤-١) اندازه جدول و طول کلمه آن ١١٦

٥-٤-٢) استفاده از الگوریتم Cordic ١١٩

٥-٥-٣) روشهای آدرس‌دهی جدول ١٢٢

٥-٤-٤) بررسی همگرایی جداول فاز ودامنه ١٢٣

٥-٥) پیاده سازی سخت‌افزاری و محاسبه سرعت خطی ساز قطبی ١٢٤

فصل ششم: روشهای جدید برای بهبود عملکرد سیستم خطی سازی با جدول جستجو ١٢٧

٦-١) روش جدید آدرس دهی جدول جستجو ١٢٧

٦-٢) کاهش رنج دینامیکی حافظه ١٣١

٦-٣) روش جدید برای کاهش اثر خطاها درسیستم قطبی ١٣٧

فصل هفتم: مقایسه، نتیجه‌گیری و پیشنهاد ١٤٢

٧-١) جمع بندی و مقایسه ١٤٢

٧-٢) پیشنهاد برای ادامه تحقیق ١٤٧

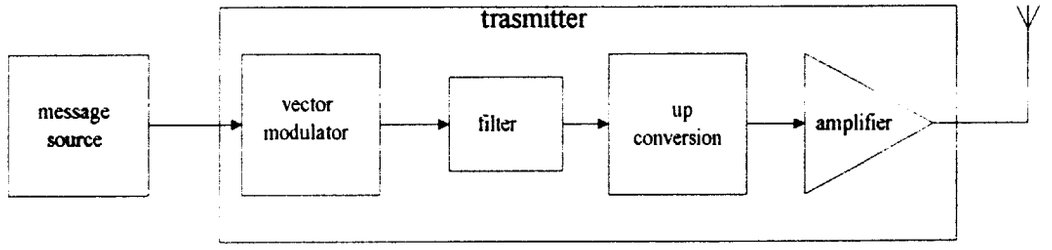
مروری بر مقدمات خطی سازی تقویت کننده‌های توان RF

در این فصل برخی نکات مورد نیاز در مبحث خطی سازی تقویت کننده‌های توان RF یادآوری می شوند. در بخش اول ساختار فرستنده در مخابرات سیار دیجیتال به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش دوم مشخصات تقویت کننده توان RF شامل مشخصه AM/AM ، AM/PM وبازده توان شرح داده می‌شود، اثرات غیر خطی بودن تقویت کننده توان بر روی سیگنالهای باند پایه کد شده در سیگنال حامل بیان میشوند ومعیارهای برآورد خطی بودن تقویت کننده در مخابرات سیار تشریح می‌گردند. در بخش سوم با اشاره به برخی از استاندارد های مهم وضع شده برای مخابرات سیار نسل سوم، که بیانگر پارامترهای مرتبط با تقویت کننده های توان می باشند، به بررسی ضرورت خطی سازی تقویت کننده توان RF در مخابرات سیار نسل سوم می‌پردازیم.

۱-۱) فرستنده درمخابرات سیار

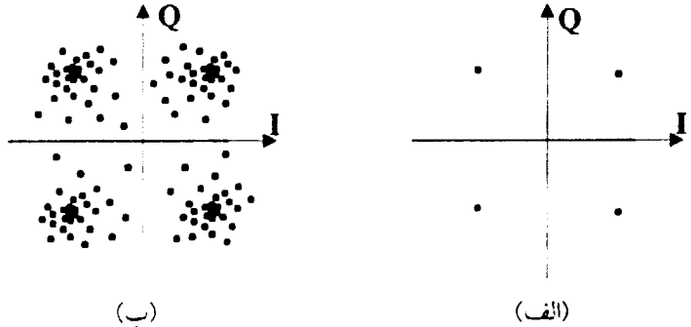
بلوک‌دیاگرام یک فرستنده در شکل (۱-۱) نشان داده شده است [۱۵]. منبع پیام نمونه‌های خود را با سرعت $f_{sym} = \frac{1}{T_s}$ ارسال می‌کند. (T_sدوره زمانی یک نمونه است). هر نمونه ارسال‌شده توسط منبع پیام بوسیله مجموعه‌ای از بیتها بیان می‌شود و هر الگوی بیت، یک نمونه منحصر به فرد را نمایش می‌دهد. مدولاتور برداری، این مجموعه بیتها را دریافت می‌کند و آنها را به

بردارهایی که مؤلفه های آنها، دو سیگنال حقیقی به نامهای I_n , Q_n هستند، تبدیل می‌کند. این بردارها به صورت ضربه‌هایی در صفحه I Q هستند، یعنی انتقال از یک بردار به بردار دیگر، بصورت ناگهانی انجام می‌گیرد. بردارهای مذکور از یک فیلتر شکل دهی پالس عبور داده می‌شوند و فیلتر مسیر خاصی را برای انتقال از یک نقطه به نقطه دیگر در صفحه IQ تعیین می‌کند. شکل (۱-۲) فضای سیگنال مدولاسیون 4-QAM را قبل وبعد از فیلتر باند پایه نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱) ساختار یک فرستنده در مخابرات سیار

فیلترشکل دهی پالس برای محدودکردن پهنای باند پالس بکار می‌رود. این فیلتر را می‌توان بر اساس ویژگیهای حوزه زمان ویا حوزه فرکانس طراحی کرد. در سیستم‌های مخابرات سیار امروزی محدودیت پهنای باند مسئله‌ای بسیار مهمی است. به همین دلیل نه تنها مدولاسیونهایی که به طور ذاتی پهنای باند کمتری دارند موردتوجه قرار گرفته‌اند، بلکه فیلتر شکل‌دهی پالس در حوزه فرکانس برای رسیدن به ۶۰ dB- حذف تداخل کانال مجاور مورد استفاده قرار می‌گیرد. فیلتر مورد استفاده در تعداد زیادی از استانداردهای مخابرات سیار نسل سوم، از نوع Square Root Rised Cosine با ضریب Rool-off متفاوت می‌باشد [۱]. استفاده از فیلتر محدودکننده پهنای باند باعث بروز تأثیر متقابل بین نمونه‌ها می‌شود و در نتیجه ISI[1] ایجاد می‌گردد. این پدیده باعث بروز خطای



(ب) (الف)

شکل (۱-۲) فضای سیگنال مدولاسیون 4-QAM قبل از فیلتر باند پایه (الف) و بعد از آن (ب)

[1] Inter Symbol Interference