بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

طراحی تقویت کننده قدرت باند VHF با پهنای باند وسیع

پایان نامه کارشناسی ارشد الکترونیک

صدیقه احمدی علی‌آبادی

اساتید راهنما

دکتر سعید صدری

دکتر حسین فرزانه فرد

۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک خانم صدیقه احمدی علی آبادی

تحت عنوان

طراحی تقویت کننده قدرت باند VHF با پهنای باند وسیع

در تاریخ ۱۳۸۷/۰۱/۲۷ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- اساتید راهنمای پایان نامه — دکتر سعید صدری

دکتر حسین فرزانه فرد

۲- استاد مشاور پایان نامه — مهندس سید رضا مطهری

سرپرست تحصیلات تکمیلی — دکتر علی محمد دوست حسینی

به لطف پروردگار و یاری اساتید، همکاران و دوستان عزیز این پایان نامه به اتمام رسید. لازم می دانم خالصانه از زحمات این بزرگواران قدردانی کنم.

پیش از هر چیز خداوند را برای حضور مهربانش در تمام لحظات زندگی ام سپاسگزارم. از جناب آقای دکتر سعید صدری و جناب آقای دکتر حسین فرزانه فرد، اساتید راهنمای محترم پایان نامه برای زحمات فراوانشان کمال تشکر را دارم. از آقای مهندس سید رضا مطهری که در این پایان نامه استاد مشاور اینجانب بودند قدردانی می کنم. همچنین ازآقای دکتر سید مسعود سیدی و آقای دکتر رسول دهقانی که زحمت داوری پایان نامه را به عهده گرفتند سپاسگزارم.

از پدر و مادر عزیزم که همواره از محبت صادقانه شان بهره مند بوده ام صمیمانه قدردانی می کنم. از آقای مهندس روح الله جعفری و آقای مهندس حمید پهلوان نژاد برای انتقال تجارب ارزشمندشان در زمینه تقویت کننده های قدرت RF بسیار سپاسگزارم. از آقای مهندس سید محمد میری برای نظرات و ابتکارات ارزنده ای که در طراحی تقویت کننده ارائه دادند کمال تشکر را دارم.

در پایان از کلیه همکاران محترم خود در بخش ویژه فرستنده پژوهشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان و کلیه دوستانی که هر یک به شکلی در این پروژه مرا یاری داده اند و همچنین اعضای محترم کمیته تحصیلات تکمیلی، قدردانی می کنم.

صدیقه احمدی

بهار ۱۳۸۷

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. این پایان نامه با حمایت مالی و معنوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران به انجام رسیده است.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب ..... هفت

چکیده ۱

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- نگاهی کلی به تقویت کننده توان RF ۳

۱-۳-کاربردهای تقویت کننده VHF باند پهن ۴

۱-۴- هدف پروژه با نگاهی به گذشته تقویت کننده های RF باند پهن ۷

۱-۵- پیکره بندی گزارش ۸

فصل دوم: کلیات تقویت کننده قدرت RF

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- پارامترهای مهم تقویت کننده قدرت RF ۱۰

۲-۲-۱- توان خروجی ۱۱

۲-۲-۲- بهره توان ۱۱

۲-۲-۳- بازده ۱۲

۲-۲-۴- تلفات توان بازگشتی ۱۳

۲-۲-۵- اغتشاش IMD ۱۳

۲-۳- کلاس های کاری مختلف تقویت کننده های RF و مقایسه آنها ۱۵

۲-۳-۱- تقویت کننده های هدایت انتقالی ۱۵

۲-۳-۲- تقویت کننده های سوئیچینگ ۲۰

۲-۴- نگرش با تقریب دقیق تر به تقویت کننده های توان RF ۲۴

۲-۵- ساختارهای مختلف تقویت کننده توان RF ۲۹

۲-۶- اجزاء تقویت کننده های توان RF ۳۳

۲-۷- پایداری تقویت کننده های توان RF ۳۴

فصل سوم: ترانزیستورهای قدرت RF

۳-۱- مقدمه ۳۷

۳-۲- ساختمان داخلی ترانزیستورهای توان RF ۳۷

۳-۳- انتخاب تکنولوژی مناسب برای تقویت کننده VHF باند پهن ۳۹

۳-۴- بررسی ساختار VDMOS در کاربردهای توان بالای VHF ۴۱

۳-۵- روش های مختلف آنالیز و به دست آوردن امپدانس های ورودی و خروجی ترانزیستور ۴۲

۳-۵-۱- روش Load-pull ۴۲

۳-۵-۲- پارامترهای پراکندگی سیگنال بزرگ ۴۴
۳-۵-۳- آنالیز تقویت کننده توان RF به صورت نرم افزاری ۴۵
۳-۶- انتخاب ترانزیستور و ساختار مناسب برای طرح ۴۶

فصل چهارم: تقویت کننده های پوش پول

۴-۱- مقدمه ۴۷
۴-۲- مفهوم متعادل بودن مدار ۴۷
۴-۳- ملزومات مدار تطبیق تقویت کننده پوش پول VHFباند پهن ۵۰
۴-۳-۱-کلیات بالون و ترانسفورمر ۵۰
۴-۳-۲- تحلیل عملکرد ترانسفورمرهای خط انتقال ۵۲
۴-۳-۳- TLT های با نسبت تبدیل غیر یک ۵۷
۴-۴- ملزومات مدار بایاس ۵۹
۴-۴-۱- مدار بایاس گیت ۵۹
۴-۴-۲- مدار بایاس درین ۶۱
۴-۴-۳- تنظیم ولتاژ گیت متناسب با جریان درین ۶۲
۴-۵- مشخصات اجزای مورد نیاز ۶۴

فصل پنجم: طراحی تقویت کننده قدرت VHF باند پهن

۵-۱- مقدمه ۶۷
۵-۲- امکانات نرم افزاری و روش شبیه سازی تقویت کننده ۶۷
۵-۳- بررسی عملکرد ایده آل ترانزیستور ۶۹
۵-۴- طراحی بالون و نتایج تست آن ۷۲
۵-۴-۱- شبیه سازی بالون ۷۳
۵-۴-۲- تست بالون ۸۲
۵-۵- طراحی ترانسفورمر ۱:۴ و نتایج تست آن ۸۴
۵-۵-۱- شبیه سازی ترانسفورمر ۸۵
۵-۵-۲- تست ترانسفورمر ۹۰
۵-۶- طراحی شبکه تطبیق کامل ۹۳
۵-۶-۱- طراحی شبکه تطبیق خروجی ۹۴
۵-۶-۲- طراحی شبکه تطبیق ورودی ۹۸
۵-۶-۳- جبران شیب بهره تقویت کننده ۱۰۰
۵-۷- بررسی پایداری تقویت ۱۰۵

فصل ششم: نتیجه گیری

۶-۱- جمع بندی کلی نتایج ۱۱۱

۶-۲- پیشنهادات ۱۱۲

پیوست ها

پیوست ۱- برگه اطلاعاتی ترانزیستور SR706 ..... ۱۱۳

پیوست ۲- مشخصات هسته استفاده شده ۱۱۵

مراجع ۱۱۹

چکیده

امروزه استفاده از فرستنده های رادیویی نیمه هادی نیز همانند فرستنده های لامپی متداول بوده و حتی به دلیل برخی ویژگی های خاص مانند نویز کمتر، استفاده از منابع تغذیه با ولتاژ پایین تر و قابلیت نگهداری و تعمیر پذیری ساده تر در کاربردهای خاص، نسبت به فرستنده های لامپی ارجعیت دارند. یکی از اجزای اصلی فرستنده های رادیویی نیمه هادی، تقویت کننده های قدرت RF می باشند. پارامترهای مختلفی در تقویت کننده های قدرت RF وجود دارند که هر یک بسته به کاربرد تقویت کننده می تواند اهمیت بیشتری پیدا کند. یکی از این پارامترها پهنای باند تقویت کننده است. داشتن پهنای باند وسیع در فرستنده های RF نیمه هادی از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا باعث افزایش وضوح اطلاعات دریافتی می شود. از کاربردهای مهم رادارهای باند VHF که پهنای باند وسیع دارند می توان به رادارهای جستجو و رادارهای دهانه ترکیبی ای که برای یافتن هدف های ناشناس استفاده می شوند اشاره کرد.

هدف از این پایان نامه طراحی یک تقویت کننده قدرت با حداقل توان ۲۰۰ وات و محدوده فرکانسی 100MHz تا 300MHz می باشد. پس از مطالعات لازم در زمینه کلاس ها و ساختارهای مختلف تقویت کننده های توان RF و همچنین تکنولوژی های ساخت متداول در این تقویت کننده ها، ترانزیستور VDMOS با ساختار پوش پول و کلاس کاری AB انتخاب شده است. از آنجا که یکی از مهمترین بخش های تقویت کننده شبکه تطبیق آن است، پس از بررسی های انجام شده شبکه تطبیق با ساختار ترانسفورمری انتخاب شده است. چنین ساختاری امکان پهنای باند بالا را در شبکه تطبیق فراهم می کند. از مشکلات دیگری که در این طرح برای حل آن تلاش شده است، جبران شیب بهره ترانزیستور در طیف فرکانسی می باشد. از میان روش های مختلف بررسی شده، تکنیک افزودن عنصر تلفاتی و به طور همزمان کنترل VSWR انتخاب شده است. در این شرایط حداقل توان خروجی ۲۰۰ وات با ریپل کمتر از 1.5dB در کل باند فرکانسی به دست آمده است.

در طراحی تقویت کننده، برای شبیه سازی عملکرد مدار از شبیه سازی هارمونیک بالانس به همراه مدل غیرخطی ترانزیستور استفاده شده است. در این شبیه سازی امکان بررسی تاثیر مدار بایاس روی شبکه تطبیق و رفتار توانی تقویت کننده فراهم می شود. شبیه سازی هارمونیک بالانس باعث معتبرتر شدن نتایج شبیه سازی می شود. در نهایت تقویت کننده از جهت پایداری سیگنال بزرگ و سیگنال کوچک بررسی شده و از عدم بروز نوسان در طرح اطمینان حاصل شده است.

فصل اول

مقدمه

۱ ـ مقدمه

فرستنده های رادیویی بسته به نوع منبعی که برای تامین توان خروجی استفاده می کنند، به دو دسته تقسیم می شوند. دسته اول فرستنده های لامپی اند که از یک لامپ با بهره بالا برای تولید توان RF استفاده می کنند. دسته دیگر فرستنده های نیمه هادی اند که از قطعات نیمه هادی (ترانزیستور ها) به عنوان منبع تولید توان استفاده می کنند. انتخاب نوع فرستنده شدیدا وابسته به کاربرد آن است. از مزایای فرستنده نیمه هادی نسبت به فرستنده لامپی می توان به اطمینان پذیری بالاتر، قابلیت تعمیر و نگهداری ساده تر، استفاده از منابع DC ولتاژ پایین، نویز کمتر و امکان دستیابی به پهنای باند بسیار وسیع اشاره کرد. در فرستنده های نیمه هادی یک قطعه منفرد می تواند بدون آنکه اثر خاصی در توان کل فرستنده ایجاد کند، از سیستم خارج شود. در مقابل این فرستنده ها توانایی کار در پهنای پالس های خیلی باریک معمول در لامپ ها را ندارند. از این رو فرستنده های نیمه هادی برای به دست آوردن وضوح راستای طولی[1] مناسب نیاز به جبران پالس دارند و این در واقع یکی از هزینه هایی است که در مقابل مزایای استفاده از تقویت کننده های نیمه هادی پرداخته می شود [1].

---

[1] Range

تقویت کننده های توان RF جزء اصلی فرستنده های نیمه هادی و در واقع پرمصرف ترین بخش آن هستند. از این رو طراحی آنها از اهمیت خاصی در سیستم های رادیویی برخوردار است. پارامترهای زیادی در این تقویت کننده ها وجود دارد، که متناسب با نوع کاربرد، حد بهینه ای بین آنها انتخاب می شود. برخی از این پارامترها عبارتند از فرکانس کار، سطح توان خروجی، پهنای باند، بازده، بهره، خطی بودن، ابعاد و هزینه. بهینه کردن تمامی این پارامترها به طور همزمان عملا غیر ممکن است و طراحان مجبور به انتخاب پارامتر های مهمتر متناسب با کاربرد مورد نظر می باشند. با توجه به اینکه در این تحقیق مساله پهنای باند مورد توجه قرار گرفته است، در این بخش پس از ارائه توضیحات کلی درباره تقویت کننده های توان، به کاربردها و کارهای انجام شده در زمینه تقویت کننده های توان RF با پهنای باند بالا پرداخته شده است.

۱ ۲ نگاهی کلی به تقویت کننده توان RF

چنانکه مطرح شد، تقویت کننده های توان RF عمدتا در فرستنده ها، و برای تولید توان RF بالا استفاده می شوند. اصول کار این تقویت کننده ها بسیار مشابه تقویت کننده های صوتی است اما به دلیل بالا بودن فرکانس، اثرات پارازیتی ترانزیستور ظاهر می شود. برای ساخت این تقویت کننده ها از تکنولوژی های مختلفی مانند دوقطبی سیلیکونی[1] ، FET های گالیم آرسناید[2]، HEMT های گالیم آرسناید[3] و HBT های گالیم آرسناید[4] استفاده می شود. معمولا در فرکانس های مایکروویو پایین (زیر ۳ گیگا هرتز) از ترانزیستورهای دوقطبی، و در فرکانس های مایکروویو بالاتر از GaAs FET (اغلب در قالب MESFET[5] ها) استفاده می شود. HBT ها و HEMT ها عموما در عملکردهای دمای بالا و توان بالا به کار می روند [1].

تقویت کننده های توان RF می توانند بسته به نیازهای سیستم در کلاس های کاری مختلفی بایاس شوند. این کلاس ها معمولا به دو دسته کلاس های هدایت انتقالی مانند کلاس های A ، AB ، B ، C و کلاس های مود سوئیچینگ مانند کلاس های D ، E و F تقسیم می شوند. انتخاب کلاس مناسب معمولا مصالحه ای بین بازده و عملکرد خطی تقویت کننده است و با حرکت از سمت کلاس های هدایت انتقالی به سمت کلاس های سوئیچینگ، افزایش بازده و کاهش عملکرد خطی مشاهده می شود [2]. مشخصات و مزایای هر یک از این کلاس ها در فصل دوم ارائه شده است.

یکی از مهمترین قسمت های تقویت کننده های توان RF طراحی مدار تطبیق آنها می باشد. با توجه به اینکه این تقویت کننده ها در حالت سیگنال بزرگ کار می کنند، برای تطبیق آنها نیاز به امپدانس های ورودی خروجی

---

[1] Silicon Bipolar
[2] GaAs FET
[3] GaAs High Electron Mobility Transistor
[4] GaAs Heterojunction Bipolar Transistor
[5] Metal Semiconductor Field Effect Transistor

سیگنال بزرگ است. البته در صورتی که مدل غیرخطی ترانزیستور توسط کمپانی سازنده ارائه شود، امکان به دست آوردن این امپدانس ها به صورت نرم افزاری نیز وجود دارد. در رابطه با این امپدانس ها نیز در فصل سوم و پنجم توضیحات کاملتری ارائه شده است. در هر حال استفاده از پارامترهای پراکندگی سیگنال کوچک برای طراحی شبکه تطبیق تقویت کننده های توان RF اشتباه است.

۱ ۳ کاربردهای تقویت کننده VHF باند پهن

چنانکه در مقدمه نیز بیان شد، از بین پارامترهای تقویت کننده در هر طرح تنها می توان چند تا از آنها را بهینه کرد. در این پروژه تلاش در جهت افزایش پهنای باند تقویت کننده ای است که در باند VHF کار می کند. چنین تقویت کننده هایی می توانند در فرستنده-گیرنده هایی که به All-Band Transceiver موسومند استفاده شوند. این فرستنده-گیرنده ها معمولا رادارهای جستجو هستند. یکی از نیازمندی های یک شبکه کنترلی نظامی این است که بتواند همزمان همه نیروهایش را اعم از زمینی و هوایی، تحت پوشش داشته باشد. از این رو به فرستنده هایی با پهنای باند بیشتر از یک دهه نیاز است [3]. علاوه بر این از چنین فرستنده هایی می توان در سیستم های مخابرات شهری و بی‌سیم نیز استفاده کرد.

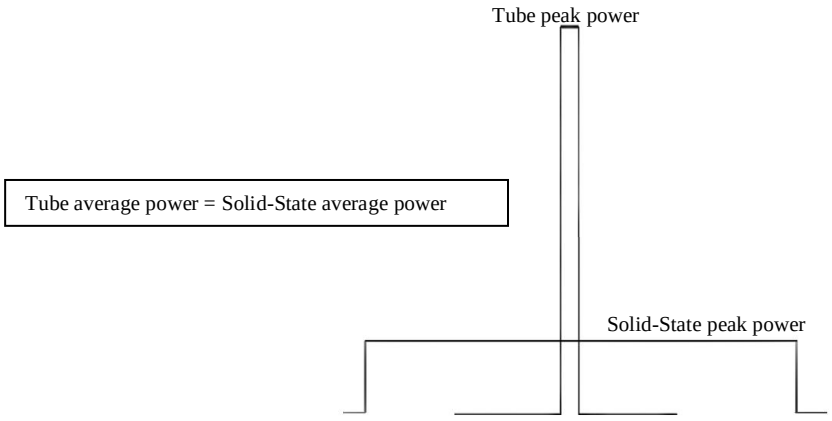
یکی دیگر از کاربردهای رادارهای با پهنای باند بسیار وسیع[1] در آشکارسازی اجسام ناشناس پنهان در زیر زمین یا شاخ و برگ درختان است. برای این کار معمولا از رادارهای دهانه ترکیبی (SAR[2]) ای که به FOPEN SAR[3] موسوم اند استفاده می شود. چنین SAR هایی لازم است که در باند VHF کار کنند، زیرا در باند VHF سیگنال های پراکنده شده رادار از زمین[4] و تضعیف امواج VHF نسبت به فرکانس های بالاتر مایکروویو بسیار کمتر است. همراه با استفاده از فرکانس های VHF که نفوذپذیری خوبی دارند، با ارسال پالس های باند وسیع می توان به وضوح بالایی در راستای طولی نیز دست یافت. چنین راداری می تواند بسیار مفید باشد و در کاربردهایی مانند آشکارسازی مکان لوله ها و یا کابل های مدفون، اکتشافات باستان شناسی و زمین شناسی، مانند تعیین مکان بستر رودخانه های زیر زمینی و کشف معادن به کار برده شود [4,5].

برای واضح تر شدن اهمیت پهنای باند بالا در تقویت کننده ها می توان مساله را به این شکل شرح داد. هرچه توان خروجی متوسط یک فرستنده رادار بیشتر باشد، برد رادار افزایش می یابد [1]. از طرفی هرچه پهنای پالس سیگنال ارسالی باریک تر باشد، موجب افزایش وضوح راستای طولی رادار می شود. در لامپ ها به دلیل اینکه امکان داشتن پیک های توان بسیار بالا وجود دارد می توان پهنای پالس را تا حد مناسبی باریک انتخاب کرد. اما در فرستنده

---

[1] Ultra Wideband
[2] Synthetic Aperture Radar
[3] Foliage Penetration
[4] backscatter

نیمه هادی توان پیک، به دلیل اشباع ترانزیستورها به مقدار مشخصی محدود می شود. از این رو برای حفظ توان متوسط در همان مقدار پیشین، لازم است پهنای پالس بزرگ تر شود. این مساله در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ مقایسه پالس های ارسالی در دو فرستنده لامپی و نیمه هادی

با توجه به آنچه گفته شد، با افزایش عرض پالس وضوح راستای طولی در رادارهای نیمه هادی به شدت کاهش می یابد. روش های مختلفی برای فشرده سازی پالس به منظور حفظ وضوح رادار وجود دارد. یکی از روش های متداول فشرده سازی پالس، LFM[1] است. در این روش فرکانس سیگنال ارسالی در مدت یک عرض پالس طبق الگوی رابطه (۱-۱) تغییر می کند.

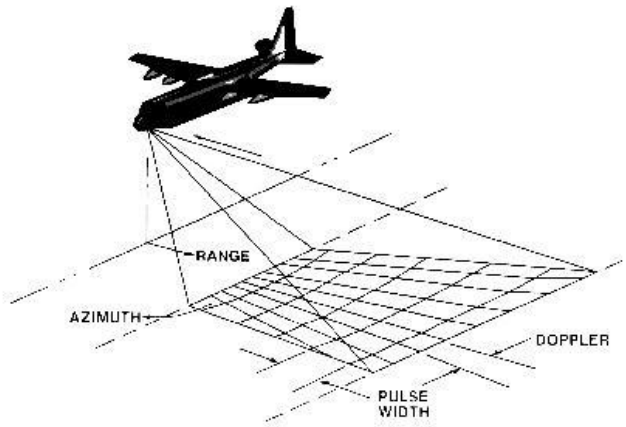
$$f(t) = f_1 + \frac{B}{T}t \qquad (۱-۱)$$

که در آن f_1 فرکانس شروع، B میزان تغییرات فرکانس در مدت یک عرض پالس T ثانیه ای می باشد. می توان اثبات کرد که هرچه B بزرگتر باشد، وضوح راستای طولی رادار نیز افزایش می یابد. اثبات این مساله در مرجع [6] ارائه شده است. می توان نتیجه گرفت هر چه پهنای باند فرستنده نیمه هادی بیشتر باشد توانایی تفکیک بهتری را برای رادار فراهم می کند.

برای واضح تر شدن مطالب فوق، در این بخش توضیحاتی به اختصار در رابطه با عملکرد SAR ها ارائه می شود. البته جزئیات عملکرد این رادار پیچیده و خارج از بحث این گزارش است. شکل (۱-۲) یک تصویربرداری هوایی SAR، را نشان می دهد. در این حالت یک تصویر دو بعدی ایجاد می شود که بعد عمود بر جهت تابش موج از آنتن، راستای عرضی، و بعد هم جهت با تابش موج راستای طولی خوانده می شود. این دو پارامتر در شکل به

[1] Linear Frequency Modulation

ترتیب به صورت Azimuth و Range نشان داده شده اند. راستای طولی در واقع فاصله "خط دید" از رادار تا هدف است. راستای طولی بوسیله اندازه گیری فاصله زمانی بین فرستادن پالس تا دریافت بازتاب آن از هدف تعیین می‌شود. وضوح راستای طولی توسط پهنای پالس فرستاده شده، تعیین می شود. پالس های باریکتر منجر به وضوح راستای طولی بیشتر می شوند. البته چنانکه گفته شد، ارسال پالس های خیلی باریک عملا امکان پذیر نیست. از این رو پالس های بلندتری با مدولاسیون باند وسیع فرستاده می شود که البته کار پردازش داده ها را مشکل تر می کند.



شکل ۱-۲ مفهوم تصویربرداری SAR

وضوح بسیار خوب راستای عرضی از توانایی های خاص SAR ها است که آنها را از رادارهای دیگر متفاوت می کند. برای وضوح راستای عرضی نیاز به پرتوهای تیز است که با توجه به فرکانس کاری نسبتا پایین SAR ها، حتی وضوح معمولی راستای عرضی آنتن های بسیار بزرگی را می طلبد. چنین آنتن های بزرگی عملا با هواپیما یا هلیکوپتر قابل حمل نیست. تکنیک SAR ها به این شکل است که زمان پرواز این مسافت، داده ها را جمع آوری کرده و سپس آنها را پردازش می کند. می توان اینطور تصور کرد که از آنتی با قطر دهانه ای به اندازه طول مسیر پرواز استفاده شده است. مسافتی که هواپیما برای به دست آوردن اطلاعات لازم جهت ترکیب کردن آنها در پردازش های بعدی پرواز می کند، دهانه ترکیبی[1] خوانده می شود. با پرواز هواپیما در یک مسافت (دهانه ترکیبی) بازتاب ها به تعدادی از فرکانس های دوپلری تجزیه می شوند. فرکانس دوپلر هدف، وضعیت راستای عرضی آن را تعیین می کند [7].

[1] Synthetic Aperture

۱ ۴ هدف پروژه با نگاهی به گذشته تقویت کننده های RF باند پهن

از اواخر دهه ۱۹۶۰ برای فرکانس های رادیویی، قطعات نیمه هادی با توان بالا به صورت ترانزیستورهای دوقطبی سیلیکونی ظاهر شدند. ابتدا عملکرد این ساختارها محدود به فرکانس های HF بود اما از سال ۱۹۷۴، MOSFET هایی ساخته شدند که می توانستند باند VHF را نیز پوشش دهند. در اواخر دهه ۱۹۷۰، GaAs MESFET ها قابلیت تولید توان در فرکانس های پایین مایکروویو را داشتند [8]. روند رشد قطعات نیمه هادی ادامه یافت تا اینکه در اواخر دهه ۱۹۸۰ و دهه ۱۹۹۰ تولید قطعات جدیدی مانند HEMT ، pHEMT ، HFET و HBT با استفاده از مواد جدیدی مانند InP ، SiC و GaN آغاز شد. این قطعات امکان تقویت کنندگی تا فرکانس 100GHz و حتی بیشتر را فراهم کردند و اکنون ابزارهای مناسبی برای طراحی فرستنده های نیمه هادی به شمار می روند.

با ظهور رادارهای نیمه هادی، طراحی و ساخت تقویت کننده های RF با توان بالا ، اهمیت بیشتری یافت. در ابتدای ظهور این نوع فرستنده ها تصور می شد که ادوات نیمه هادی بتوانند جای لامپ ها را در فرستنده ها بگیرند، اما بدلیل برخی ویژگی های خاص لامپ ها مانند امکان فراهم کردن پالس های باریک، بازده بهتر، حجم و وزن کمتر سیستم نهایی و ... همچنان لامپ ها جایگاه خود را در برخی کاربردها حفظ کرده اند. اما چنان که در مقدمه نیز اشاره شد، فرستنده های نیمه هادی با داشتن مزایایی چون نویز کمتر، تعمیرپذیری ساده تر، استفاده از منابع DC ولتاژ پایین تر و امکان داشتن پهنای باند های بزرگتر، در برخی از کاربردها مناسب تر از لامپ ها می باشد. به دلیل محدودیت ترانزیستورها در تولید پالس های باریک، داشتن پهنای باند بالا برای فرستنده های RF حائز اهمیت است. کاربردهای فرستنده های با پهنای باند بسیار وسیع که در بخش قبل مطرح شد نیز این اهمیت را بیشتر نشان داد.

هدف این پروژه طراحی یک تقویت کننده VHF با پهنای باند وسیع می باشد. در عمل به دلیل موجود بودن ترانزیستور SR706 از کمپانی PolyFET و مناسب بودن این ترانزیستور برای هدف مورد نظر، از آن برای طراحی تقویت کننده استفاده می کنیم. با توجه به امکانات توانی ترانزیستور، طراحی برای سطح توان خروجی حداقل ۲۰۰وات و پهنای باند ۱۰۰ تا ۳۰۰ مگا هرتز انجام شده است.

از آنجا که مهمترین بخش طراحی تقویت کننده های قدرت RF شبکه تطبیق آنهاست، طراحی و ساخت شبکه های تطبیق با پهنای باند وسیع، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از راهکارهایی که امروزه طراحان RF در شبکه های تطبیق باند پهن از آن بهره می برند، شبکه های تطبیق ترانسفورمرهای خط انتقال[1] است. ساختارهای ترانسفورمری اولین بار توسط Guanella در سال ۱۹۴۴ برای تطبیق یک لامپ خلأ ۹۶۰ اهم به آنتن ۶۰ اهم استفاده

[1] Transmission Line Transformer

شد. البته در آن زمان به دلیل محدودیت هسته های فریت که در فرکانس های پایین نقش بسیار مؤثری دارند، موفق به ساخت این شبکه تطبیق نشد [9]. امروزه کمپانی های معروفی مانند Fair-Rite و Amidon هسته های فریت و پودر آهن با مشخصات مطلوب در فرکانس های بالا تولید می کنند. تحت این شرایط امکان ساخت شبکه های تطبیق با پهنای باند بسیار بالا، خصوصا برای ساختارهای متعادل مانند کلاس AB فراهم می شود.

مشکل دیگری که در طراحی تقویت کننده ها پیش می آید، تغییر بهره ترانزیستورها با فرکانس است. در صورتی که پهنای باند بیش از یک اکتاو باشد این مساله مشکل ساز می شود. از این رو نیاز به اعمال تغییراتی در مدارهای ورودی و خروجی تقویت کننده است تا این اختلاف بهره را جبران کند. بهره ترانزیستور ها معمولا با کاهش فرکانس افزایش می یابد. برای جبران این افزایش بهره می توان هم از شبکه های تلفاتی و هم از بازگشت توان یا کنترل VSWR در ورودی ترانزیستور استفاده کرد. برخی از این تکنیک ها در مراجع [3,10] ارائه شده اند.

با توجه به خواص غیرخطی شدید ترانزیستور های توان RF ، برای اطمینان بیشتر از عملکرد صحیح بخش های مختلف تقویت کننده به یک مدل غیرخطی قابل اطمینان برای ترانزیستور و همچنین نرم افزاری که بتواند تحلیل های غیرخطی مناسبی برای فرکانس های بالا فراهم کند، نیاز می باشد. در این تحقیق نرم افزار Advanced Design System (ADS) ، نسخه 2005 ، برای این منظور انتخاب شده است. با توجه به کتابخانه ای که کمپانی سازنده در اختیار گذاشته است و همچنین امکانات نرم افزار ADS که در فصل پنجم بیشتر در رابطه آن بحث خواهد شد، امکان شبیه سازی قابل اطمینان و مناسب فراهم می شود.

در این تحقیق به جای استفاده از شبیه سازی پارامترهای S توان بالا یا امپدانس های ورودی و خروجی ترانزیستور ، از شبیه سازی هارمونیک بالانس استفاده شده است. شبیه سازی پارامترهای S تنها منجر به نتایج عملکرد شبکه تطبیق می شود و هیچ اطلاعات توانی ای را به دست نمی دهد. در حالی که در آنالیر هارمونیک بالانس که همه عناصر تقویت کننده به طور غیرخطی مدل می شوند، امکان تحلیل توانی تقویت کننده فراهم می شود. همچنین امکان مشاهده توان خروجی و توان سایر نقاط مدار و بازده تقویت کننده، بررسی میزان عملکرد خطی تقویت کننده، امکان مشاهده نوسان و ناپایداری در صورت وجود، نیز فراهم می شود.

۱ ۵ پیکره بندی گزارش

با توجه به آنچه در این فصل به طور خلاصه در رابطه با اهمیت تقویت کننده های توان RF ارائه شد، فصل دوم به بررسی ساختارهای مختلف این تقویت کننده ها و ویژگی های هر یک، نیازهای قسمت های مختلف تقویت کننده و پارامترهای مهم آن می پردازد. در فصل سوم با توجه به نیازمندی های مساله سعی شده است ترانزیستور مناسب

انتخاب شود. البته به دلیل محدودیت در انتخاب ترانزیستور سعی شده بهترین ساختار متناسب با آن با توجه به بررسی‌های فصل دوم، هم در زمینه شبکه تطبیق و هم کلاس کاری، انتخاب شود. در بخش سوم ساختمان داخلی ترانزیستورهای توان خصوصا VDMOS ها، که ترانزیستور مورد استفاده نیز از این نوع است، مورد مطالعه دقیق تر قرار می گیرد. با انتخاب ساختار پوش- پول در فصل سوم، فصل چهارم به بررسی دقیق تر این نوع تقویت کننده پرداخته است و نیازمندی های شبکه تطبیق، مدار بایاس و مشخصات اجزاء لازم برای طراحی بررسی می شوند. در نهایت طرح اصلی در فصل پنجم ارائه می شود. در این فصل ابتدا به امکانات نرم افزاری و مدل استفاده شده برای ترانزیستور پرداخته می شود. پس از آن نتایج شبیه سازی و تست قسمت های اصلی شبکه تطبیق ارائه می شود. با توجه به پایین بودن امپدانس ترانزیستور، علاوه بر شبکه ترانسفورمری، نیاز به شبکه های فیلتری کوچکی در شبکه تطبیق می باشد، که طراحی و شبیه سازی آنها به همراه ترانزیستور ارائه می شود. در طراحی شبکه تطبیق استفاده از دو جبران کننده بهره، باعث صاف تر شدن پاسخ خروجی می شود. در نهایت پایداری تقویت کننده هم از نظر پایداری سیگنال بزرگ و هم پایداری سیگنال کوچک با استفاده از پارامترهای S ترانزیستور و با استفاده از نرم افزار MATLAB مورد بررسی قرار گرفته است. در این حالت تاثیر روش های مختلف پایدار کنندگی روی پارامترهای S ترانزیستور ارائه خواهد شد.

فصل دوم

کلیات تقویت کننده قدرت RF

۲ ـ مقدمه

پیش از آنکه وارد بخش طراحی تقویت کننده و نیازمندی های خاص تقویت کننده باند پهن VHF شویم، لازم است مروری روی ساختارهای مختلف تقویت کننده های RF و ویژگی های هر یک داشته باشیم. آشنایی با پارامترهای مهم در تقویت کننده های توان RF به انتخاب ساختار مناسب کمک می کند. از این رو در این فصل ابتدا تعاریف مربوط به پارامترهای مهم تقویت کننده های توان RF ارائه می شوند. پس از آن با توجه به این پارامترها، کلاس های کاری مختلف تقویت کننده های RF بررسی شده و مورد مقایسه قرار می گیرند. سپس ساختارهای مختلف تقویت‌کننده های توان RF اعم از ساختارهای تک ترانزیستوری و چند ترانزیستوری و مشخصاتشان بررسی می‌شوند. در نهایت اجزای یک تقویت کننده توان و عملکرد هر بخش مطالعه و نیازمندی های طراحی هر بخش مشخص می‌شوند.

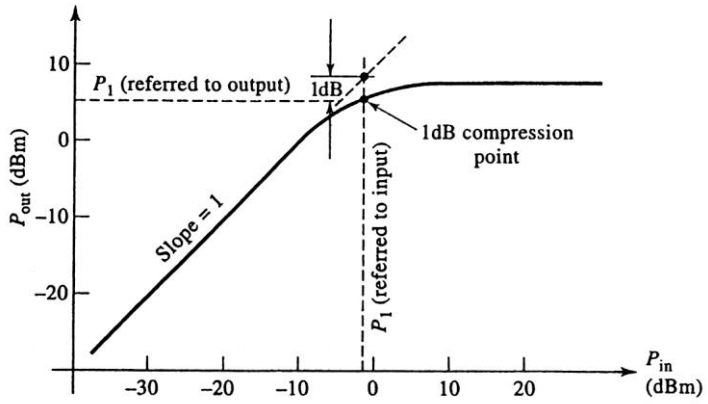
۲-۲ پارامترهای مهم تقویت کننده قدرت RF

در طراحی هر تقویت کننده پارامترهای زیادی مانند فرکانس کار، پهنای باند، توان خروجی، بازده، خطی بودن، هزینه ساخت، بهره توان، تلفات توان بازگشتی و ابعاد تقویت کننده وجود دارند. اما بهینه کردن همزمان این پارامترها

الزامی نیست، بلکه هر کدام از این پارامترها با توجه به کاربرد تقویت کننده طرح شده اهمیت می یابند. در واقع امکان دستیابی به شرایطی که تمام این پارامترها بهینه باشند، عملا وجود ندارد و معمولا هر ساختار مصالحه ای بین دو یا چند پارامتر می باشد. در ادامه برخی از پارامترهای طراحی که اهمیت بیشتری دارند با جزئیات بیشتر توصیف می‌شوند.

۲-۲-۱ توان خروجی

در برگه های اطلاعاتی تقویت کننده ها یا ترانزیستورها، حداکثر توان خروجی تقویت کننده که معمولا به صورت P_{out} از آن یاد می شود، به دو شکل تعریف می شود. ابتدا منحنی توان خروجی تقویت کننده برحسب توان ورودی رسم می شود و سپس سطحی از توان ورودی که منجر به انحراف 1dB توان خروجی نسبت به حالت خطی می شود، مشخص می گردد. نقطه مزبور نقطه تراکم 1dB نامیده می شود. توان خروجی در این حالت P_{1dB} خوانده می شود. شکل دیگر بیان توان خروجی، P_{sat} است که به معنای توان اشباع شده خروجی است. این توان معمولا نقطه ای از تراکم بهره سیگنال کوچک است که در آن افت بهره 2^{dB} یا 3^{dB} (متداول تر) می باشد. به دلیل رفتار شدیدا غیر خطی تقویت کننده در حالت اشباع شدید (P_{sat}) و مشکلاتی که در اندازه گیری تحت این شرایط به وجود می‌آید عموما در تعاریف و ارائه مشخصات از P_{1dB} استفاده می‌شود. مفهوم P_{1dB} در شکل (۲-۱) نشان داده شده است [12 , 11].



شکل ۲-۱ نمایش مفهوم P_{1dB} [11]

۲-۲-۲ بهره توان

بهره توان که معمولا با G_p نشان داده می شود، نسبت توان خروجی به توان ورودی است. G_p معمولا در تقویت کننده های توان RF بر حسب dB بیان می شود. این پارامتر به صورت رابطه (۲-۱) تعریف می شود.

$$G_P = 10\log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) = P_{out}(dB) - P_{in}(dB) \qquad (۱-۲)$$

۲-۲-۳ بازده

در دانش مایکروویو بازده تقویت کننده به سه روش محاسبه می شود:

- *بازده درین:* نام این بازده از قطعات FET گرفته شده است. زیرا ترمینالی که عمده توان منبع تغذیه DC به آن اعمال می شود درین است. بازده درین به صورت نسبت توان RF خروجی به توان DC تعریف می شود:

$$\eta_D = 100 \times \frac{P_{RFout}}{P_{DC}} = 100 \times \frac{P_{RFout}}{V_{DC} \times I_{DC}} \qquad (۲-۲)$$

بازده درین معیاری است برای اندازه گیری آن مقدار از توان DC که به توان RF تبدیل می شود. مشکل این نوع محاسبه بازده، آن است که توان RF ورودی در محاسبه وارد نمی شود. در تقویت کننده های توان RF نقش توان ورودی در بازده قابل توجه تر می شود. زیرا این تقویت کننده ها معمولا بهره پایین دارند و در نتیجه به ازاء یک توان خروجی، توان ورودی کوچک نمی باشد.

- *بازده PAE*[1]: این بازده مشابه بازده درین است با این تفاوت که توان ورودی را هم در تعریف دخالت می‌دهد. این بازده به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\eta_{added\ efficiency} = P.A.E = \frac{P_{RFout} - P_{RFin}}{P_{DC}} = \frac{P_{RFout} - P_{RFin}}{V_{DC} \times I_{DC}} \qquad (۳-۲)$$

بطور تئوری در صورتی که بهره تقویت کننده یعنی G_P بینهایت باشد اندازه η_D و PAE با هم برابر خواهد بود. اما عملا PAE همیشه کوچکتر از η_D است. این نوع محاسبه بازده معیار مناسبی برای تقویت کننده های با بهره پایین می باشد [8, 13].

- *بازده کل*: بازده کل شکل کاملی از نسبت توان خروجی به کل توان های ورودی اعم از DC و RF را نشان می دهد. این توان به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\eta_{total} = \frac{P_{RFout}}{P_{DC} + P_{RFin}} = \frac{P_{RFout}}{V_{DC} \times I_{DC} + P_{RFin}} \qquad (٤-۲)$$

بازده کل بهترین شکل بازده از نقطه نظر ترمودینامیکی است. اما از بین سه تعریفی که برای بازده ارائه شد، در برگه های اطلاعاتی تقویت کننده ها و ترانزیستورها PAE از بقیه متداول تر است [13].

[1] Power Added Efficiency