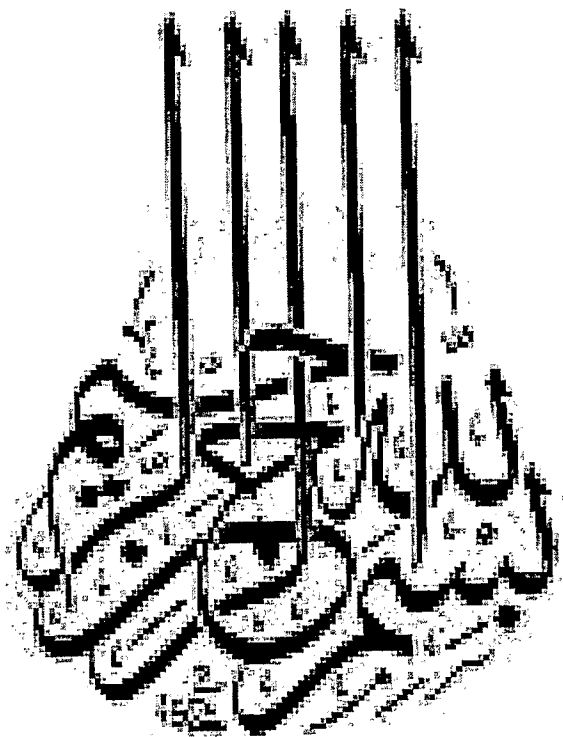


AV/1/163/152
AV/1/163



1. AV 75

۱۳۸۴/۱۲/۱۷
۱۳۸۴



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - مخابرات (میدان)

طراحی و شبیه‌سازی یک تقویت کننده نیمه‌هادی پهن باند و پرتوان
در باند "L"

توسط: محمد امین منتصری

استاد راهنما:

دکتر حبیب الله عبیری

شهریور ۸۷

۱۳۸۷/۱۰/۳۱

۱۰۸۷۶۴

به نام خدا

طراحی و شبیه‌سازی یک تقویت کننده نیمه‌هادی پهن‌بند و پرتوان در باند "L"

به وسیله‌ی:

محمد امین منتصری

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی برق-مخابرات

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه: عالی

امضاء اعضای کمیته پایان‌نامه:

..... دکت‌ر حبیب الله عبیری، دانشیار بخش برق و الکترونیک (رئیس کمیته)
..... دکت‌ر رحیم غیور، دانشیار بخش برق و الکترونیک
..... دکت‌ر فرزاد مهاجری، استادیار بخش برق و الکترونیک

شهریور ۱۳۸۷

تقدیم به:

پدر، مادر، همسر

و

خانواده عزیزم

که در این مرحله زندگی نیز مرا یاری نمودند.

سپاسگزاری

شعار و شعر و هستی بخش هر انسان، شقایق های کوهستان و هر آلاله بستان، **خداوند** توانایی است که نامش زیب این گفتار امروز است.

خدای مهربان را سپاس می گویم که باز هم مرا در مرحله دیگری از زندگی یاری نمود.

بر خود لازم می دانم که از استاد راهنمای بزرگوار خود، جناب آقای دکتر حبیب الله عبیری به پاس زحمات بی شائبه و راهنمایی های ارزشمندشان، و نیز اساتید مشاور عزیزم آقایان دکتر رحیم غیور و دکتر فرزاد مهاجری که عضویت در کمیته پایان نامه اینجانب را پذیرفتند و مرا در پیشبرد مراحل پایان نامه یاری نمودند، تشکر نمایم.

از جناب آقای یاحقی دانشجوی محترم دکترای بخش برق، که با علاقه تمام اینجانب را در انجام پایان نامه راهنمایی و کمک نمودند، کمال تشکر را دارم.

از پدر بزرگوار، مادر مهربان و همسر فداکارم کمال تشکر را دارم که همواره پشتیبان من بودند و برای همگی ایشان موفقیت و سلامت را از خدای بزرگ خواستارم.

چکیده

طراحی و شبیه‌سازی یک تقویت‌کننده نیمه‌هادی پهن‌باند و پرتوان در باند "L"

توسط

محمد امین منتصری

در این پایان‌نامه جایگزینی یک تقویت‌کننده نیمه‌هادی پر قدرت با معادل لامپی پهن‌باند آن در باند L مدنظر بوده است. تقویت‌کننده لامپی، یک لامپ کلاسترون است که با دریافت ولتاژ بالایی در حد چندین کیلوولت و راندمان حدود سی درصد، توان خروجی بین چهار تا هفت کیلووات را تولید می‌نماید. در ضمن با در اختیار داشتن ابزار تنظیم مکانیکی، ابعاد حفره تشدید¹ لامپ و در نتیجه فرکانس مرکزی لامپ تغییر پیدا می‌کند.

در این پایان‌نامه یک تقویت‌کننده نیمه‌هادی میکروویو با مشخصات مشابه جهت جایگزینی لامپ مذکور طراحی می‌شود. پهنای باند فرکانسی بالا و توان نسبتاً زیاد، از مشکلات این کار محسوب می‌شوند. در این پروژه راه کارهای مناسبی جهت توزیع، تقویت و ترکیب توان، مدارهای تطبیق امپدانس پهن‌باند و به دست آوردن توانی در حد هفت کیلووات ارائه می‌گردند.

ضمناً برخی مسائل جانبی و مهم در این تحقیق مانند مدارهای محافظ، اثرات تشعشی خطوط انتقال، اثرات پارازیتی اجسام مجاور خطوط انتقال، مسائل حرارتی و توزیع گرما، آنالیز پایداری و حساسیت مدار و... به صورت تئوری یا به وسیله نرم افزارهای مختلف بررسی می‌گردند.

¹ cavity

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|---|------|
| فصل اول | ۱ |
| ۱- مقدمه | ۲ |
| ۲- تولید توان‌های بالا در تقویت کننده‌های نیمه‌هادی | ۷ |
| ۱-۲ مقدمه | ۷ |
| ۲-۲ بهره ترانزیستور و نواحی پایداری | ۱۰ |
| ۳-۲ تکنیک‌های ترکیب توان | ۱۱ |
| ۴-۲ انتخاب بلوک دیاگرام کلی تقویت کننده | ۱۴ |
| ۳- طراحی بلوکی تقویت کننده با توان بیش از 7KW | ۱۸ |
| ۱-۳ توضیح بلوک دیاگرام کلی | ۱۸ |
| ۲-۳ ترکیب کننده‌ها و تقسیم کننده‌های توان | ۲۰ |
| ۱-۲-۳ کوپلر تقسیم کننده توان ویلکینسون | ۲۱ |
| ۲-۲-۳ کوپلر Quadrature Branch line | ۲۳ |
| ۳-۲-۳ کوپلر جهتی Coupled Line | ۲۵ |
| ۴-۲-۳ کوپلر حلقه‌ای (Rat-Race Coupler) | ۲۷ |
| ۵-۲-۳ کوپلر لانج (Lange Coupler) | ۲۸ |
| ۶-۲-۳ کوپلر تاندم (Tandem Coupler) | ۲۹ |
| ۳-۳ انتخاب مدار تطبیق امپدانس مناسب | ۳۱ |
| ۱-۳-۳ تطبیق به وسیله عناصر فشرده | ۳۳ |
| ۴-۳-۳ تطبیق به روش نوار باریک شونده (tapered line) | ۳۶ |

| | |
|--|----|
| ۳-۳-۶ تطبیق به روش خطوط چند قسمتی پله‌ای (multi-section- transformer) | ۳۷ |
| ۴-۳ طراحی طبقه ۱۶۰ وات | ۴۱ |
| ۵-۳ طراحی طبقه 1kw | ۴۹ |
| ۴-مباحث تکمیلی | ۵۴ |
| ۱-۴ مقدمه | ۵۴ |
| ۲-۴ آشکارسازهای توان | ۵۵ |
| ۳-۴ بررسی طبقات از نظر اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی | ۵۸ |
| ۱-۳-۴ اثرات دیواره‌های جانبی | ۵۹ |
| ۲-۳-۴ اثرات صفحه بالایی (سقف جعبه) | ۶۱ |
| ۴-۴ تحلیل الکترومغناطیسی روزنه خروجی هر جعبه | ۶۳ |
| ۵-۴ مدارهای محافظ | ۶۶ |
| ۷-۴ تحلیل حرارتی و توزیع گرما | ۷۲ |
| ۱-۷-۴ تلفات ناشی از دی الکتریک | ۷۳ |
| ۲-۷-۴ تلفات ناشی از هادی خط میکرواستریپ | ۷۳ |
| ۳-۷-۴ معرفی نرم افزار Ansys | ۷۵ |
| ۸-۴ پیشنهادات | ۷۶ |
| فصل پنجم | ۷۷ |
| پیوست‌ها | ۷۷ |
| ۱-۵ ترانزیستور MRF1150MA | ۷۸ |
| ۲-۵ ترانزیستور MS2267 | ۸۲ |
| ۳-۵ برنامه اسمبلی مربوط به میکروکنترلر | ۸۷ |
| ۴-۵ ابعاد قسمت‌های مختلف مدار | ۸۸ |
| ۵-۵ ایده‌های دیگر برای پیاده سازی سیستم | ۹۴ |
| منابع و مراجع: | ۹۵ |

فهرست شکل‌ها

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| شکل (۱-۱): نمایی از یک تقویت کننده چند طبقه در فرکانس 60GHz و توان 0.5W [۱]. | ۳ |
| شکل (۱-۲): تقویت سیگنال به شیوه‌های معمول. | ۷ |
| شکل (۲-۲): خط استریپ لاین. | ۸ |
| شکل (۳-۲): خط مایکرواستریپ. | ۹ |
| شکل (۴-۲): ساختار ترکیب توان از نوع درختی (Binary). | ۱۲ |
| شکل (۵-۲): ساختار ترکیب توان برای یک تقویت کننده از نوع بالانس امپلی فایر. | ۱۳ |
| شکل (۶-۲): بلوک دیاگرام کلی پروژه. | ۱۶ |
| شکل (۱-۳): بلوک دیاگرام طبقه اول. | ۱۸ |
| شکل (۲-۳): توان‌های ورودی و خروجی ترانزیستورهای به کار رفته در این پروژه. | ۱۹ |
| شکل (۳-۳): توان‌های ورودی و خروجی طبقه اول. | ۱۹ |
| شکل (۴-۳): توان‌های ورودی و خروجی طبقات یک کیلو واتی. | ۲۰ |
| شکل (۵-۳): کوپلر تقسیم کننده ویلکینسون. | ۲۱ |
| شکل (۶-۳): نمای مایکرواستریپی کوپلر ویلکینسون در محیط ADS. | ۲۲ |
| شکل (۷-۳): ضریب بازگشت توان در پورت ۱ از کوپلر ویلکینسون شبیه سازی شده توسط نرم افزار ADS. | ۲۲ |
| شکل (۸-۳): نتایج شبیه سازی کوپلر ویلکینسون در محیط ADS، الف - ضریب بازگشت توان در پورت‌های ۲ و ۳ | ۲۲ |
| ب - تقسیم توان در پورت‌های ۲ و ۳. | ۲۲ |
| شکل (۹-۳): نمای مایکرواستریپی کوپلر Quadrature در محیط ADS. | ۲۳ |
| شکل (۱۰-۳): ضریب بازگشت توان و ایزولاسیون در کوپلر branch شبیه سازی شده در محیط ADS. | ۲۴ |
| شکل (۱۱-۳): تقسیم توان در پورت‌های ۲ و ۳ از کوپلر branch شبیه سازی شده در محیط ADS. | ۲۵ |
| شکل (۱۲-۳): نمای مایکرواستریپی coupled line coupler. | ۲۶ |

شکل (۳-۱۳): نتایج تحلیل کوپلر coupled line در نرم افزار ADS الف- ضریب بازگشت توان در پورت ۱ ب- توان خروجی در پورت ۲. ۲۶

شکل (۳-۱۴): کوپل شدن توان در پورت های ۳ و ۴ در نرم افزار ADS. ۲۶

شکل (۳-۱۵): نمای مایکرواستریپی ring coupler [۱]. ۲۷

شکل (۳-۱۶): نتایج تحلیل کوپلر حلقه ای در نرم افزار ADS الف- ضریب بازگشت توان در پورت ۱ ب- ایزولاسیون در پورت ۴. ۲۷

شکل (۳-۱۷): تقسیم توان در پورت های ۲ و ۳ از کوپلر حلقه ای شبیه سازی شده در محیط ADS. ۲۸

۳-۲-۵ کوپلر لانج (Lange Coupler) ۲۸

شکل (۳-۱۸): نمای مایکرواستریپی کوپلر Lange [۱]. ۲۸

شکل (۳-۱۹): نتایج تحلیل کوپلر Lange در نرم افزار ADS الف- تقسیم توان در پورت های ۲ و ۳ ب- ضریب بازگشت توان (Γ). ۲۹

شکل (۳-۲۰): کوپلر تاندم، ترسیم شده در نرم افزار ADS. ۳۰

شکل (۳-۲۱): ضریب بازگشت توان (Γ) از هر کدام از پورت ها در کوپلر تاندم. ۳۰

شکل (۳-۲۲): تقسیم توان در پورت های ۲ و ۳ در کوپلر تاندم. ۳۱

شکل (۳-۲۳): کاربرد مدارهای تطبیق. ۳۲

شکل (۳-۲۴): ضریب بازگشت توان بعد از تطبیق امپدانس به روش single stub. ۳۴

شکل (۳-۲۵): تطبیق به وسیله شاخه های موازی الف- single stub ب- double stub [۱]. ۳۴

شکل (۳-۲۶): ضریب بازگشت توان بعد از تطبیق امپدانس به روش double stub , $d=11.37$, $l=1.83$ mm. ۳۵

شکل (۳-۲۷): تطبیق امپدانس به وسیله خط انتقال یک چهارم طول موج ($\lambda/4$). ۳۶

شکل (۳-۲۸): ضریب بازگشت توان در شکل (۳-۲۷). ۳۶

شکل (۳-۲۹): الف- تطبیق امپدانس با خطوط باریک شونده ب- ضریب بازگشت توان در ورودی قسمت الف. ۳۷

شکل (۳-۳۰): نمای شماتیکی از تطبیق با خطوط پله ای. ۳۷

شکل (۳-۳۱): ضریب بازگشت توان در ورودی مدار تطبیق امپدانس از نوع خطوط چند قسمتی. ۳۸

- شکل (۳-۳۲): مدار تطبیق امپدانس از نوع خطوط چند قسمتی برای خروجی ترانزیستور MRF1150MA ۳۸
- شکل (۳-۳۳): ضریب بازگشت برای مدار تطبیق امپدانس در روش خطوط پله‌ای ۳۹
- شکل (۳-۳۴): تطبیق امپدانس به روش خطوط پله‌ای ۴۰
- شکل (۳-۳۵): بلوک دیاگرام طبقه ۱۶۰ وات ۴۲
- شکل (۳-۳۶): نمای بلوکی از تقسیم کننده ۱ به ۴ که از ترکیب سه عدد کوپلر تاندم ۳ dB به وجود آمده است ۴۲
- شکل (۳-۳۷): فرایند تقویت در بلوک اول ۴۴
- شکل (۳-۳۸): ترانزیستور MRF1150MA در حضور مدارهای تطبیق امپدانس ۴۶
- شکل (۳-۳۹): ضریب بازگشت توان در خروجی و ورودی ترانزیستور بلوک اول در حضور مدار تطبیق ۴۶
- شکل (۳-۴۰): طبقه مولد توان ۱۶۰ وات بدون مدار بایاس DC و بدون دتکتور ۴۷
- شکل (۳-۴۱): نتایج خروجی تقسیم کننده ۱ به ۴ ۴۸
- شکل (۳-۴۲): نتایج خروجی ترکیب کننده ۴ به ۱ ۴۸
- شکل (۳-۴۳): طبقه 1kw و مدارهای تطبیق ورودی و خروجی در حضور ترانزیستور 2267MS ۴۹
- شکل (۳-۴۴): روزنه موجود بر روی جعبه هر بلوک که خط مایکرواستریپ را به داخل جعبه بعد هدایت می کند ۵۱
- شکل (۴-۱): آشکارساز توان آخرین طبقه ۵۶
- شکل (۴-۲): پاسخ آشکارساز توان طبقه آخر (نمونه‌ای از توان برگشتی) ۵۶
- شکل (۴-۳): پاسخ آشکارساز توان طبقه آخر (نمونه‌ای از توان خروجی 7kw) ۵۷
- شکل (۴-۴): پاسخ آشکارساز توان طبقه 1kw ۵۷
- شکل (۴-۵): میدان الکتریکی اطراف خط مایکرواستریپ حامل توان 1kw پالسی (شبیه‌سازی شده با نرم افزار HFSS) ۵۸
- شکل (۴-۶): اثر دیواره فلزی بر خط مایکرواستریپ [۶] ۵۹
- شکل (۴-۷): اثر دیواره‌های جانبی بر امپدانس مشخصه [۶] ۶۰
- شکل (۴-۸): اثر دیواره‌های جانبی بر ثابت انتشار [۶] ۶۱
- شکل (۴-۹): قرار گرفتن سقف فلزی بالای خط مایکرواستریپ [۶] ۶۱

- شکل (۴-۱۰): تغییر امپدانس مشخصه در اثر قرار گرفتن سقف فلزی بالای خط مایکرواستریپ
 [۶] ۶۲
- شکل (۴-۱۱): روزنه و دی الکتریک در دیواره جعبه ۶۳
- شکل (۴-۱۲): اندازه میدان الکتریکی در محل روزنه بر روی تفلن در نرم افزار HFSS ۶۴
- شکل (۴-۱۳): ضریب بازگشت توان وانتقال توان در محل روزنه ۶۵
- شکل (۴-۱۴): اندازه میدان الکتریکی در محل روزنه بر روی صفحه‌ای مورب در هوا ۶۶
- شکل (۴-۱۵): آشکارسازهای توان خروجی و برگشتی در آخرین بلوک در نرم افزار ADS ۶۷
- شکل (۴-۱۶): مدار محافظ در برابر افزایش VSWR در نرم افزار Orcad ۶۸
- شکل (۴-۱۷): مدار محافظ در برابر افزایش سیکل کاری در نرم افزار Orcad ۷۰
- شکل (۴-۱۸): توزیع حرارت در طبقه آخر وقتی که کل توان خروجی به داخل برگردد در نرم افزار ANSYS ۷۰
- شکل (۴-۱۹): آنالیز حساسیت مدار تطبیق امپدانس خروجی به تغییرات پارامترهای ترانزیستور طبقه اول ۷۱
- شکل (۴-۲۰): آنالیز حساسیت مدار تطبیق امپدانس ورودی به تغییرات پارامترهای ترانزیستور طبقه اول ۷۲
- شکل (۴-۲۱): اندازه میدان مغناطیسی سطحی بر روی خط مایکرواستریپ حامل توان 7kw
 پالسی در نرم افزار HFSS ۷۴
- شکل (۴-۲۲): تحلیل دمایی طبقه نهایی تقویت کننده به وسیله نرم افزار ANSYS ۷۵
- شکل (۵-۱): طبقه 160w ۸۸
- شکل (۵-۲): طبقه 1kw ۸۸
- شکل (۵-۳): طبقه نمونه گیری از توان ۸۹
- شکل (۵-۴): تطبیق امپدانس برای ورودی ترانزیستور به کار رفته در طبقه 1kw ۸۹
- شکل (۵-۵): تطبیق امپدانس برای خروجی ترانزیستور به کار رفته در طبقه 1kw ۹۰
- شکل (۵-۶): کوپلر تاندم به کار رفته در تقسیم کننده و ترکیب کننده های ۴ تایی ۹۰
- شکل (۵-۷): ترکیب کننده کننده ۴ به ۱ ۹۱
- شکل (۵-۸): تقسیم کننده ۱ به ۴ ۹۱
- شکل (۵-۹): تطبیق امپدانس برای ورودی ترانزیستور به کار رفته در طبقه 160w ۹۲
- شکل (۵-۱۰): تطبیق امپدانس برای خروجی ترانزیستور به کار رفته در طبقه 160w ۹۳

فهرست جدول ها

| صفحه | عنوان |
|---------|--|
| ۴۳..... | جدول (۱-۳): امپدانس های ورودی و خروجی ترانزیستور MRF1150MA و $D=2.5\%$ |
| ۴۸..... | جدول (۲-۳): پاسخ بلوک ۱۶۰ که توان متوسطی در حد ۱۶۰ وات دارد. |
| ۵۰..... | جدول (۳-۳): خروجی طبقه 1kw در ایپور. |
| ۵۰..... | جدول (۴-۳): توان خروجی (بر حسب وات). |

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

پیشرفت تکنولوژی در زمینه‌های مختلف راداری و مخابرات باند وسیع، لزوم دستیابی به قطعات در فرکانس‌های بالا را بوجود آورده است. اصطلاحاً به سیگنال‌ها و قطعاتی که در فرکانس‌های بالا کاربرد دارند سیگنال‌ها و قطعات مایکروویو گفته می‌شوند. از کاربردهای مدارها و سیستم‌های مایکروویو^۱ می‌توان به مواردی چون جنگ‌های الکترونیکی، رادارها، ارتباطات دریانوردی، هواشناسی و ... اشاره نمود که به استثنای چند مورد عمده‌تاً کاربردهای نظامی دارند [۱].

در بعضی از موارد از مدارهای تقویت‌کننده مایکروویو نیمه هادی برای به دست آوردن توان‌های بالا استفاده می‌شود. به وسیله تقویت‌کننده‌های نیمه هادی حالت جامد^۲ می‌توان حتی توان‌هایی در حد چند ده کیلو وات را نیز به دست آورد. در سال‌های گذشته برای ایجاد توان‌های بالا در فرکانس‌های مایکروویو، از لامپ‌های خلأ، استفاده می‌شده است. ولی به تدریج با پیشرفت تکنولوژی نیمه‌هادی‌ها، برای ایجاد توان‌های متوسط، از این نوع تقویت‌کننده‌ها استفاده می‌شود.

یکی از دلایل استقبال از تقویت‌کننده‌های نیمه‌هادی و استفاده از آنها به جای تقویت‌کننده‌های لامپی^۳، مشکل ابعاد و اندازه بزرگ لامپ‌ها است که به مدولاتورهای بزرگی برای تولید ولتاژ بالا^۴ نیاز دارند. بنابراین در مجموع ابعاد بسیار بزرگتری نسبت به تقویت‌کننده‌های نیمه هادی خواهند داشت. قابلیت اطمینان، طول عمر بیشتر و امکان تعمیر از دیگر مزایای تقویت‌کننده‌های نیمه‌هادی است.

در بسیاری از مواقع لامپ‌های مایکروویو برای راه‌اندازی نیاز به توان ورودی در حد چند ده وات دارند. دستگاه‌های تولید توان RF^۵، نمی‌توانند توان‌هایی بیشتر از چندین میلی وات ایجاد کنند. به همین دلیل برای راه‌اندازی لامپ‌های مایکروویو باید از پیش تقویت‌کننده‌ها استفاده کرد.

تا به حال در زمینه طراحی و ساخت مدارهای پرتوان فرکانس بالا، کارهای متفاوتی در دنیا صورت گرفته است. به طور مثال شرکت‌های مختلفی مانند Tektronix ، Agilent و ... وجود دارند که در زمینه ساخت پیش تقویت‌کننده‌ها^۶، فعالیت می‌کنند. یکی از طبقات تقویت‌کننده‌ای که در

¹ RF microwave systems

² solid-state amplifier

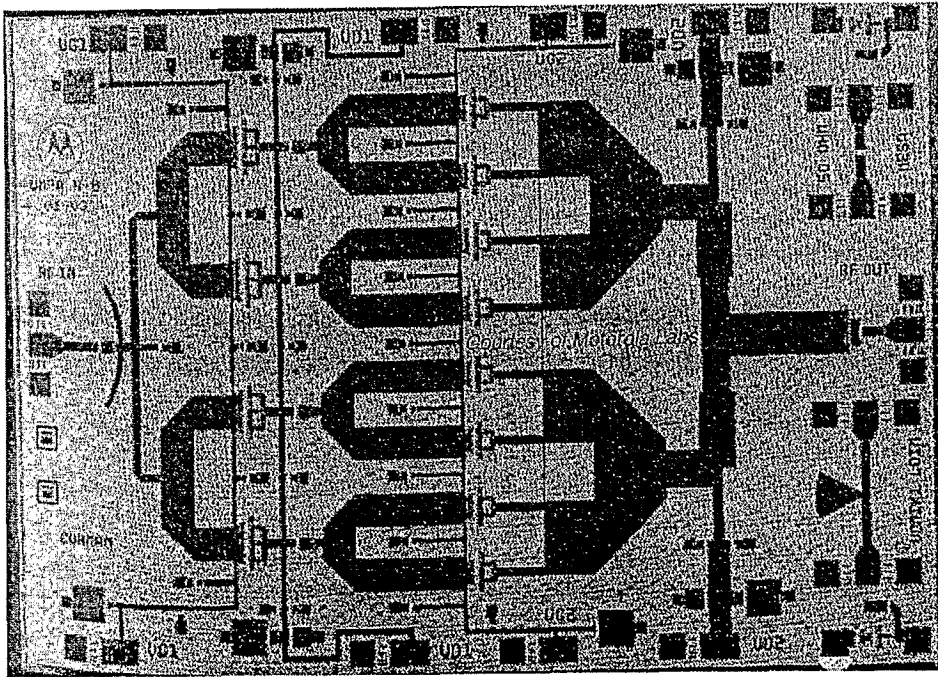
³ tube amplifiers

⁴ H.V.

⁵ RF Generator

⁶ Pre-amplifier

فرکانس 60GHz توان 0.5W را تولید می‌کند، به عنوان نمونه در شکل (۱-۱) آورده شده است. این تقویت‌کننده محصولی از شرکت Motorola می‌باشد [۲].



شکل (۱-۱): نمایی از یک تقویت‌کننده چند طبقه در فرکانس 60GHz و توان 0.5W [۱].

علاوه بر این تا به حال فعالیت‌های دیگری نیز در زمینه تولید توان‌های متوسط و بالا به وسیله قطعات الکترونیکی- مایکروویوی در دنیا انجام شده است [۱۰]. به عنوان مثال تقویت‌کننده‌های نیمه‌هادی که توان خروجی در حد یک کیلو وات و یا در نمونه‌ای دیگر، سه کیلو وات توان در باند S، تولید می‌کنند، ساخته شده است. اما غالباً پهنای باند آنها محدود می‌باشد [۱۰]. (در حدود ۵ تا ۶ درصد فرکانس مرکزی)

به طور کلی تقویت‌کننده‌های پرتوان می‌توانند به صورت‌های زیر ساخته شوند:

- تقویت‌کننده‌های نویز پایین^۱
- تقویت‌کننده‌های با گین بالا^۲
- تقویت‌کننده‌های سیگنال بزرگ^۳
- تقویت‌کننده‌های پهن باند^۱

¹ low Noise Amplifier
² high Gain Amplifier
³ large Signal Amplifier

در طراحی یک تقویت کننده پرتوان باید سه مرحله طراحی انجام شود: [۲]

۱- طراحی DC

۲- طراحی RF

۳- طراحی شمای کلی^۲ مدار

انتخاب نوع مدار بایاس برای ترانزیستورها، بستگی به نوع ترانزیستور و نوع کلاس کاری دارد. برای هر نوع ترانزیستور (FET, BJT) در مراجع مختلف نمونه‌هایی از مدارهای بایاس ذکر شده است [۵].

در طراحی قسمت‌های میکروویو (RF) می‌بایست ابتدا نیازهای مدار مشخص شود. در صورتی که توان و گین بالایی مورد نیاز باشد بایستی از تقویت کننده‌های چند طبقه^۳ استفاده شود. امپدانس‌های ورودی و خروجی تقویت کننده اصلی باید به مقدار امپدانس^۴ ۵۰ اهم تطبیق شوند تا بتوان از کانکتورهای معمول و موجود برای اتصال به آنها استفاده نمود. ترانزیستورهای مورد استفاده در بلوک‌های مختلف باید در ناحیه پایدارشان به کار گرفته شوند زیرا این تقویت کننده‌ها بایستی سیگنال ورودی را تقویت کنند و نوسان ساز نیز نباشند.

در طراحی RF برای یک نوع ترانزیستور یا باید از پارامترهای پراکندگی^۴ ترانزیستور اطلاع داشته باشیم یا امپدانس‌های ورودی و خروجی آنها را بدانیم. به طور معمول، برای ترانزیستورهایی که در توان‌های پایین یا به اصطلاح در سیگنال کوچک^۵ عمل می‌کنند، پارامترهای پراکندگی ارائه می‌شود. ولی در مورد ترانزیستورهایی که در توان‌های بالا یا سیگنال بزرگ^۶ کار می‌کنند، امپدانس‌های ورودی و خروجی آنها در اختیار طراح قرار داده می‌شود [۲] و [۱۱].

بعد از آنکه طراحی RF به پایان رسید و توان و گین مورد نظر فراهم گردید می‌بایست نقشه‌های طرح مدار جهت ساخت فراهم شوند. در بعضی مواقع دیده می‌شود که در اندازه‌گیری توان خروجی مدار، پس از ساخت، تفاوت‌هایی با جواب نرم افزاری به وجود می‌آید. به همین دلیل بعضی مواقع مجبور به اعمال برخی تنظیمات^۷ به عنوان مثال در خطوط میکرواستریپ مدار هستیم. این نقیصه در اثر پایین بودن دقت طراحی و ضعیف بودن نرم افزار به کار گرفته شده ایجاد می‌شود [۱۲]. به همین دلیل در این پروژه از یک نرم افزار معتبر در حوزه مایکروویو به نام ADS (Advanced Design System) استفاده شده است.

¹ broad Band Amplifier

² layout

³ multi stage amplifier

⁴ S parameter

⁵ small signal

⁶ large signal

⁷ tuning

مهم‌ترین دلیل انتخاب و انجام این پایان‌نامه این است که در صورت اقدام به ساخت این پروژه می‌توان از این تقویت‌کننده نیمه‌هادی به عنوان فرستنده امواج میکروویوی و جایگزین نمونه لامپی استفاده نمود. در این پایان‌نامه تمامی قسمت‌ها و جزئیات پروژه از جمله مدارهای تطبیق امپدانس^۱، ترانزیستورها، بلوک‌های تقسیم و ترکیب توان^۲، آشکار سازهای پوش^۳، مدارهای محافظ و... پس از طراحی به وسیله نرم افزار ADS شبیه‌سازی شده‌اند و نتایج به دست آمده در فصل‌های سوم و چهارم ارائه شده‌اند. در ضمن توزیع میدان در طبقات پر توان، در نرم افزار HFSS به صورت سه بعدی شبیه‌سازی شده است. از نرم افزار مکانیکی ANSYS برای شبیه‌سازی توزیع حرارت در زیر لایه^۴ مدار و حداکثر تحمل نوارهای مسی استفاده گردیده است.

مشخصات این پروژه لزوم استفاده از یک تقویت‌کننده پهن‌بند، پرتوان و سیگنال بزرگ را موجب می‌شود. به همین دلیل بایستی حتی‌الامکان از عناصر و قطعات پهن‌بند استفاده نمود. در ضمن قطعات میکروویوی-الکترونیکی به کار رفته در مدارها باید تحمل توان بالای عبوری از مدار را داشته باشند. از آنجا که هدف این پروژه تأمین توانی در حد 7kw است، برای تولید این مقدار توان بایستی از تکنیک‌های مناسبی جهت توزیع سیگنال‌ها در بلوک‌های مختلف استفاده نمود. در نهایت سیگنال‌های خروجی و تقویت‌شده به گونه‌ای که در فصول بعدی ذکر می‌گردد، با هم ترکیب می‌شوند.

بزرگترین مشکل این پروژه پهنای باند وسیع تقویت‌کننده است که با انتخاب روش‌های مناسب تطبیق امپدانس و توزیع و ترکیب توان می‌توان بر آن فائق آمد. نمونه لامپی که با مشخصات این پروژه هم‌خوانی دارد، یک نوع خاص از لامپ‌های کلایسترون^۵ است. لامپ‌های کلایسترون پهنای باند باریکی دارند اما با تنظیم مکانیکی حفره‌های تشدید^۶ آنها، می‌توان فرکانس کاری آنها را تا حدی جابه‌جا نمود. در تقویت‌کننده‌های نوع نیمه هادی نمی‌توان تنظیمات و تغییرات مکانیکی داشت لذا تقویت‌کننده بایستی ذاتاً پهن‌بند باشد.

¹ matching circuits

² power Dividers and Combiners

³ envelope detectors

⁴ substrate

⁵ klystron

⁶ cavity

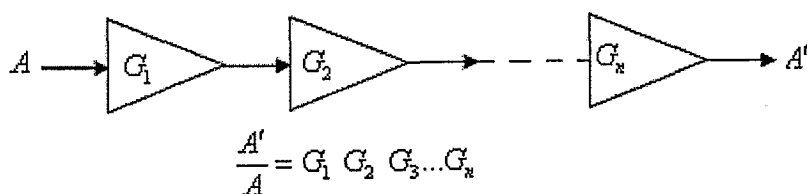
فصل دوم

تولید توان‌های بالا در تقویت‌کننده‌های
نیمه‌هادی

۲- تولید توان‌های بالا در تقویت کننده‌های نیمه‌هادی

۲-۱ مقدمه

در ابتدای این فصل بر نحوه تقویت یک سیگنال فرکانس پایین و دریافت یک سیگنال با دامنه قوی تر مروری خواهیم داشت. فرض می‌کنیم که سیگنالی با دامنه A به ورودی یک تقویت کننده ترانزیستوری اعمال شود، این سیگنال پس از چندین مرحله تقویت در خروجی طبقه n ام با دامنه A' ظاهر می‌شود.



شکل (۲-۱): تقویت سیگنال به شیوه‌های معمول.

با تقویت تدریجی سیگنال در طول فرآیند تقویت، دامنه سیگنال کم‌کم بزرگ می‌شود. لذا ترانزیستورهای موجود در طبقات نهایی می‌بایست تحمل توان بالای این سیگنال را داشته باشند. استفاده از این فرآیند تقویت چندین عیب دارد [۲۲]:

- برای طبقات آخر می‌بایست ترانزیستورهایی با تحمل توان بسیار بالا در اختیار داشته باشیم که یا غیر ممکن است یا بسیار گران قیمت می‌باشد.

- در صورت معیوب شدن یکی از طبقات تقویت کننده سیگنال در خروجی کاملاً قطع می‌شود و سطح سیگنال به صفر می‌رسد. بنابراین باید روش دیگری را برای تقویت سیگنال ورودی اتخاذ کنیم که معایب فوق را نداشته باشد.

کارکرد سیستم‌های فرکانس بالا با سیستم‌هایی که در فرکانس‌های پائین (حدوداً کمتر از 100KHZ) کار می‌کنند، کاملاً متفاوت است. چرا که مثلاً حتی با ایجاد تغییرات اندکی در ابعاد خطوط انتقال، عملکرد کل مدار تحت الشعاع قرار می‌گیرد.

از جمله ابزارهای انتقال توان در فرکانس‌های بالا، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۹]:
- موجبرها^۱

¹ waveguide