



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل

طراحی و ساخت مولد فرکانس رادیویی و جعبه تطبیق امپدانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز ۶۰۰ وات برای تشکیل

پلاسمای فرکانس رادیویی

توسط:

محمد قسمتی

استاد راهنما:

دکتر جعفر حیرانی نوبری

تابستان ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: محمد قسمتی

را با عنوان: طراحی و ساخت مولد فرکانس رادیویی و جعبه تطبیق امپدانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز ۶۰۰ وات برای تشکیل پلاسمای فرکانس رادیویی

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

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
			استاد راهنما
			استاد مشاور
			استاد مشاور
			استاد ممتحن
			استاد ممتحن
			نماینده تحصیلات تکمیلی

به نام خداوند بخشندهی بخشایشگر

همه‌ی سپاس‌ها مخصوص خداوندی است که پرورنده‌ی تمام جهانیان است. خداوندی که با رحمت رحمانیه خود به ما وجود بخشید و با رحمت رحیمیه خود گروه خاصی از بندگان را هدایت کرد. اوست که صامب روز میزاست. فدایا خداوند تنها تو را می‌پرستیم و تنها از تو یاری می‌خواهیم. پروردگارا ما را به راه راست هدایت فرما، راه کسانی که به آنها نعمت داده‌ای و نه کسانی که بر آنها فتنه نموده‌ای و نه گمراهان.

همه‌ی سپاس‌ها مخصوص توست، تویی که نعمتی دیگر به نام معلم را به ما ارزانی کردی، درود و صلوات خداوند و تمامی فرشتگان بر یگانه معلم این جهان، معلمی که از ملکوت آسمان به زمین فرا خوانده شد تا انسان را با معنای واقعی‌اش آشنا کند. معلمی که دو چیز گرانبها از خود بر جای گذاشت که با توسل و تمسک به آن دو هیچگاه گمراه نشویم. فدایا خداوند ما امیدواریم با تمسک و توسل به قرآن و عترت به راه تو هدایت شویم؛ ما را به این راه هدایت فرما

همه‌ی سپاس‌ها مخصوص توست، تویی که نعمتی عظیم به نام پدر و مادر را به ما عطا فرمودی و چه بسیار زیبا فرمودی که "من را بپرستید و هیچ چیز را همتای من قرار ندهید و به پدر و مادر نیکی کنید" و آیا اگر تمامی نیکی‌های عالم را در حق پدر و مادر انجام دهیم توانسته‌ایم گوشه‌ای از زحمات آنان را جبران کنیم! پدر و مادر عزیز، زبان من در برابر شکرگزاری شما قاصر است. دستان گرم و رنج کشیده‌تان را بوسه می‌زنم و این نوشته را که شاید بسیار کم ارزش باشد به شما تقدیم می‌کنم.

همه‌ی سپاس‌ها مخصوص توست، تویی که با قرار دادن نشانه‌هایی در مقابل‌مان، همواره ما را به سوی خود فرا می‌خواندی یکی از این نشانه‌ها، پنجاه‌ی یک آموزگار بود. آموزگاری که به ما یادآوری کرد که همه چیز را باید تنها برای تو انجام داد. رضای تو شد هدفمان و قرب تو شد دورنمایمان. آموزگاری که به ما یادآوری کرد که تنها کتابِ خواندنی، کتاب الله است و تنها منبع اخذ علم، قرآن است و عترت. شکرگزاری این آموزگار سبب فشنودی توست از آن رو جناب آقای دکتر نوبری شما را به خاطر تمامی زحمات‌هایی که برای من در این سال‌ها کشیده‌اید سپاسگزارم.

تشکر و قدردانی

از استاد گرامی جناب آقای مهندس صمدیان که با مشاوره‌های ارزنده‌شان ما را در طول این پروژه یاری کردند، متشکرم.

از همکار گرامی سرکار خانم جباری که مدیریت این پروژه را بر عهده داشتند، به خاطر تمامی زحمت-هایشان در طول پروژه، بسیار متشکرم.

از همکار گرامی سرکار خانم سروش به خاطر کمک‌های ایشان به ویژه در ساخت جعبه‌ی تطبیق امپدانس و ویرایش این پایان‌نامه بسیار قدردانی می‌کنم.

از همکاران گرامی جناب آقایان مهدی نصری و سعید قربانی به خاطر کمک‌های ایشان، صمیمانه متشکرم.

از همکاران گرامی در شرکت یارنیکان صالح متشکرم.

از دوستان گرامی در شرکت فناوری موج کوتاه نوین متشکرم.

در آخر از تمامی عزیزانی که بنده را به نحوی در این پروژه یاری کردند، قدردانی می‌کنم.

چکیده

برخی از کاربردهای لایه‌نشانی نیازمند نرخ لایه‌نشانی بالا است و یا بعضی اوقات در فرآیند زدایش^۱، لازم است که نرخ زدایش بالا باشد، در این‌گونه موارد بایستی از مولد با توان بالا استفاده شود. به همین منظور کار طراحی و ساخت دستگاه مولد فرکانس رادیویی ۱۳/۵۶ مگاهرتز با توان ۶۰۰ وات آغاز شد. خروجی دستگاهی که قرار بود ساخته شود، سیگنالی سینوسی با فرکانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز و توانی حدود ۶۰۰ وات بود که بتواند به صورت پیوسته حداقل به مدت ۱ ساعت توان ۶۰۰ وات را به محفظه‌ی پلاسما تحویل دهد. در این راستا ابتدا از یک ماژول ۶۰۰ وات آماده با نام تجاری EB104 استفاده شد، در ادامه بنا به مشکلاتی که پیش آمد، قرار شد که طرح تقویت کننده تغییر داده شده و طرح جدیدی پیاده‌سازی شود.

از آنجایی که محفظه‌ی پلاسما از نظر الکتریکی باری متغیر با زمان محسوب می‌شود و امپدانس آن از ابتدای فرآیند تا انتهای آن ثابت نیست، لازم بود که بین مولد فرکانس رادیویی و محفظه‌ی پلاسما یک شبکه‌ی تطبیق قرار داده شود تا با اندازه‌گیری امپدانس محفظه و اعمال کنترل مناسب بر روی المان‌های موجود در آن، مولد فرکانس رادیویی در تمام طول فرآیند (با وجود تغییر بار الکتریکی محفظه) در خروجی خود بار ۵۰ اهم خالص را ببیند. در این راستا یک جعبه‌ی تطبیق امپدانس با قابلیت انتقال توان ۶۰۰ وات برای تطبیق بار الکتریکی محفظه‌ی پلاسما به امپدانس خروجی مولد فرکانس رادیویی طراحی و ساخته شد. در ادامه نیز برای خودکار کردن عملیات تطبیق گام‌هایی برداشته شد که از آن جمله می‌توان به مواردی چون انتخاب موتورهای سرو^۲ به عنوان عملگر سیستم و تهیه یک الگوریتم مناسب برای انجام عملیات تطبیق به صورت خودکار اشاره کرد.

کلید واژه: مولد فرکانس رادیویی، جعبه‌ی تطبیق امپدانس، محفظه‌ی پلاسما

¹ Etching

² Servo

فهرست مطالب

مقدمه.....	۱
پیشگفتار.....	۱
موضوعات مورد بحث.....	۱
فصل ۱- مقدمه ای بر پلاسما و مدل سازی الکتریکی محفظه پلاسما.....	۳
۱-۱- دید کلی نسبت به پلاسما.....	۳
۱-۲- کاربردهای پلاسما.....	۳
۱-۳- فرآیندهای تحت پلاسما.....	۴
۱-۴- محیط و شرایط مورد نیاز برای تشکیل پلاسما.....	۵
۱-۵- مدل سازی الکتریکی محفظه پلاسما.....	۵
فصل ۲- طراحی و ساخت مولد فرکانس رادیویی ۱۳/۵۶ مگاهرتز ۶۰۰ واتی.....	۹
۲-۱- مقدمه ای بر مدارهای مخابراتی.....	۹
۲-۱-۱- پارامترهای S یک شبکه دو قطبی.....	۹
۲-۱-۲- مفهوم تطبیق و پارامترهای مربوط به آن.....	۱۰
۲-۲- نگاهی به کارهای انجام شده در داخل و خارج از کشور.....	۱۲
۲-۳- طرح اولیه مولد فرکانس رادیویی ۱۳/۵۶ مگاهرتز ۶۰۰ وات.....	۱۳
۲-۳-۱- پیاده سازی طرح اولیه مولد فرکانس رادیویی.....	۲۳
۲-۳-۲- اشکالات طرح اولیه مولد فرکانس رادیویی.....	۲۶
۲-۴- طرح ثانویه مولد فرکانس رادیویی ۱۳/۵۶ مگاهرتز ۶۰۰ وات.....	۲۷
۲-۴-۱- مقدمه ای بر طراحی تقویت کننده فرکانس رادیویی.....	۲۸
۲-۴-۲- طراحی مولد فرکانس رادیویی ۱۳/۵۶ مگاهرتز ۶۰۰ وات.....	۳۳
۲-۴-۳- شبیه سازی طرح ثانویه مولد فرکانس رادیویی در محیط نرم افزار AWR.....	۴۳
۲-۴-۴- پیاده سازی طرح ثانویه مولد فرکانس رادیویی.....	۴۸
فصل ۳- طراحی و ساخت یک سیستم تشخیص خطا برای محافظت از مولد فرکانس رادیویی ۶۰۰ واتی..	۵۳
۳-۱- محافظت در برابر اضافه ولتاژ منبع تغذیه.....	۵۳
۳-۲- محافظت در برابر کاهش ولتاژ منبع تغذیه.....	۵۳
۳-۳- محافظت در برابر اضافه جریان.....	۵۳
۳-۴- محافظت در برابر بی باری و اتصال کوتاه.....	۵۳
۳-۵- محافظت در برابر گرم شدن بیش از اندازه هیت سینک.....	۵۴
۳-۶- محافظت در برابر عدم تطبیق.....	۵۴
۳-۶-۱- مدار نمونه گیر توان.....	۵۵

۵۸.....	پیاده سازی مدار محافظ	۷-۳
۶۵.....	طراحی و ساخت جعبه تطبیق امپدانس برای انجام عملیات سطحی با استفاده از پلاسمای RF	۴-۶۵
۶۵.....	انواع شبکه های تطبیق	۴-۱-۶۵
۶۵.....	انتخاب شبکه تطبیق مناسب برای انجام عملیات سطحی	۴-۲-۶۵
۶۵.....	بدست آوردن محدوده تغییرات المان های شبکه نوع L برای انجام عملیات سطحی	۴-۲-۱-۶۵
۶۹.....	پیاده سازی المان های شبکه L	۴-۳-۶۹
۶۹.....	ساخت سلف سری	۴-۳-۱-۶۹
۶۹.....	ساخت خازن بار	۴-۳-۲-۶۹
۶۹.....	ساخت خازن تنظیم	۴-۳-۳-۶۹
۷۱.....	طراحی بخش های اندازه گیر VSWR و اندازه گیر توان	۴-۴-۷۱
۷۱.....	اندازه گیر VSWR	۴-۴-۱-۷۱
۷۶.....	اندازه گیر توان	۴-۴-۲-۷۶
۷۶.....	پیاده سازی اندازه گیر VSWR و اندازه گیر توان	۴-۵-۷۶
۸۱.....	کالیبراسیون اندازه گیرهای VSWR و توان	۴-۶-۸۱
۸۱.....	انجام عملیات تطبیق به صورت دستی	۴-۷-۸۱
۸۲.....	انجام عملیات تطبیق به صورت خودکار	۴-۸-۸۲
۸۳.....	حسگرهای مورد نیاز	۴-۸-۱-۸۳
۸۳.....	عملگرهای مورد نیاز	۴-۸-۲-۸۳
۸۵.....	کنترل کننده	۴-۸-۳-۸۵
۸۵.....	الگوریتم تطبیق خودکار	۴-۹-۸۵
۸۶.....	تصمیم گیری بر اساس پارامتر امپدانس	۴-۹-۱-۸۶
۸۸.....	تصمیم گیری بر اساس پارامتر VSWR	۴-۹-۲-۸۸
۹۱.....	نتیجه گیری و پیشنهادات	۹۱
۹۲.....	ضمیمه أ - طرح جایگزینی BLF177 به جای MRF150	۹۲
۹۴.....	ضمیمه ب - مشکل سینک حرارتی	۹۴
۹۷.....	ضمیمه ج - مشکل Parasitic Oscillation	۹۷
۱۰۰.....	ضمیمه د - شبکه های تطبیق و روابط حاکم بر آن ها	۱۰۰
۱۰۶.....	مراجع	۱۰۶

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: شماتیک محفظه خلا به همراه الکتروود آن..... ۶
- شکل ۲-۱: نمایش الکترون ها و یون ها در محفظه پلاسما..... ۶
- شکل ۳-۱: مدل الکتریکی محفظه پلاسما..... ۷
- شکل ۴-۱: مدل سازی محفظه پلاسما با مدار RC..... ۷
- شکل ۱-۲: پارامترهای k برای یک شبکه دو پورتی..... ۹
- شکل ۲-۲: مدار معادل موآد فرکانس رادیویی..... ۱۰
- شکل ۳-۲: مدل مداری ولتاژهای رفت و بازگشتی..... ۱۱
- شکل ۴-۲: شماتیک طرح اولیه موآد فرکانس رادیویی..... ۱۳
- شکل ۵-۲: شماتیک مدار نوسان ساز..... ۱۴
- شکل ۶-۲: مدار معادل کریستال..... ۱۴
- شکل ۷-۲: شماتیک برد نوسان ساز..... ۱۵
- شکل ۸-۲: شماتیک بخش فعال ساز برد نوسان ساز..... ۱۵
- شکل ۹-۲: شماتیک بخش نوسان ساز برد نوسان ساز..... ۱۶
- شکل ۱۰-۲: شماتیک بخش بافر برد نوسان ساز..... ۱۶
- شکل ۱۱-۲: شماتیک تغذیه برد نوسان ساز..... ۱۷
- شکل ۱۲-۲: شماتیک برد راه انداز..... ۱۷
- شکل ۱۳-۲: شماتیک طبقه اول برد راه انداز..... ۱۷
- شکل ۱۴-۲: شماتیک طبقه دوم برد راه انداز..... ۱۸
- شکل ۱۵-۲: ولوم تنظیم توان برد راه انداز..... ۱۹
- شکل ۱۶-۲: شماتیک طبقه سوم برد راه انداز..... ۱۹
- شکل ۱۷-۲: شماتیک فیلتر پایین گذر تغذیه برد راه انداز..... ۲۰
- شکل ۱۸-۲: شماتیک تغذیه درین ماسفت BLF177..... ۲۰
- شکل ۱۹-۲: شماتیک ماژول ۶۰۰ وات..... ۲۱
- شکل ۲۰-۲: ترکیب بندی های مختلف برای بایاس گیت های ترانزیستور..... ۲۲
- شکل ۲۱-۲: نمایش اسمیت چارت امپدانس ورودی MRF150..... ۲۲
- شکل ۲۲-۲: شماتیک ترانس خط انتقال خروجی برد ۶۰۰ وات..... ۲۲
- شکل ۲۳-۲: شماتیک مدار فیلتر و پارامتر بهره مستقیم آن..... ۲۳
- شکل ۲۴-۲: نقشه مدار چاپی برد نوسان ساز..... ۲۴
- شکل ۲۵-۲: برد نوسان ساز..... ۲۴
- شکل ۲۶-۲: نقشه مدار چاپی برد راه انداز..... ۲۴
- شکل ۲۷-۲: برد راه انداز..... ۲۴
- شکل ۲۸-۲: پخش کننده گرما و هیت سینک مناسب برای تلفاتی معادل با ۴۰۰ وات..... ۲۵

شکل ۲-۲۹:	برد ۶۰۰ وات	.....	۲۵
شکل ۲-۳۰:	نقشه مدار چاپی برد فیلتر	.....	۲۵
شکل ۲-۳۱:	برد فیلتر	.....	۲۶
شکل ۲-۳۲:	طرح جدید مولد فرکانس رادیویی	.....	۲۷
شکل ۲-۳۳:	شماتیک یک تقویت کننده فرکانس رادیویی	.....	۲۸
شکل ۲-۳۴:	منحنی توان بر حسب دمای هیت سینک ترانزیستور BLF177	.....	۳۰
شکل ۲-۳۵:	مدار معادل خروجی ماسفت برای فرکانس های زیر ۱۰۰ مگاهرتز	.....	۳۲
شکل ۲-۳۶:	شبکه تطبیق LC	.....	۳۲
شکل ۲-۳۷:	امپدانس ورودی ماسفت ها	.....	۳۲
شکل ۲-۳۸:	شماتیک تطبیق ورودی ماسفت ها	.....	۳۳
شکل ۲-۳۹:	شماتیک برد راه انداز	.....	۳۴
شکل ۲-۴۰:	شماتیک مدار نوسان ساز برد راه انداز	.....	۳۵
شکل ۲-۴۱:	شماتیک مدار تنظیم توان برد راه انداز	.....	۳۵
شکل ۲-۴۲:	شماتیک مدار راه انداز	.....	۳۶
شکل ۲-۴۳:	شماتیک مدار اندازه گیر ولتاژ	.....	۳۷
شکل ۲-۴۴:	شماتیک مدار اندازه گیر جریان	.....	۳۷
شکل ۲-۴۵:	شماتیک مدار ترموسوئیچ	.....	۳۷
شکل ۲-۴۶:	شماتیک تامین تغذیه های مورد نیاز روی برد راه انداز	.....	۳۸
شکل ۲-۴۷:	شماتیک تقویت کننده ۶۰۰ وات	.....	۳۹
شکل ۲-۴۸:	شماتیک مدار Splitter و Combiner نوع Wilkinson صفر درجه ۵۰ اهم	.....	۳۹
شکل ۲-۴۹:	شماتیک کلی یک مدار Splitter یا Combiner نوع Wilkinson صفر درجه ۵۰ اهم	.....	۴۰
شکل ۲-۵۰:	شماتیک تقویت کننده ۳۰۰ وات	.....	۴۰
شکل ۲-۵۱:	شماتیک Splitter برد ۳۰۰ وات	.....	۴۱
شکل ۲-۵۲:	شماتیک Combiner برد ۳۰۰ وات	.....	۴۱
شکل ۲-۵۳:	شماتیک یکی از تقویت کننده های برد ۳۰۰ وات	.....	۴۲
شکل ۲-۵۴:	شماتیک بایاس DC ترانزیستورهای برد ۳۰۰ وات	.....	۴۲
شکل ۲-۵۵:	نمای محیط MWO	.....	۴۳
شکل ۲-۵۶:	مدل ورودی ترانزیستور BLF177	.....	۴۵
شکل ۲-۵۷:	مدار تطبیق ورودی ترانزیستور BLF177	.....	۴۵
شکل ۲-۵۸:	پارامتر بازتاب پورت ورودی	.....	۴۵
شکل ۲-۵۹:	مدل خروجی ترانزیستور BLF177	.....	۴۶
شکل ۲-۶۰:	تطبیق خروجی ترانزیستور BLF177	.....	۴۶
شکل ۲-۶۱:	پارامتر بازتاب پورت خروجی	.....	۴۷
شکل ۲-۶۲:	Combiner برد ۳۰۰ وات	.....	۴۷

- شکل ۲-۶۳: پارامترهای S شبکه سه پورته Combiner برد ۳۰۰ وات ۴۸
- شکل ۲-۶۴: نقشه مدار چاپی برد راه انداز ۴۹
- شکل ۲-۶۵: برد راه انداز ۴۹
- شکل ۲-۶۶: هیت سینک مناسب برای تلفاتی معادل با ۵۰۰ وات ۴۹
- شکل ۲-۶۷: نقشه مدار چاپی برد ۳۰۰ وات ۵۰
- شکل ۲-۶۸: برد مدار چاپی برد ۳۰۰ وات ۵۰
- شکل ۲-۶۹: نقشه مدار چاپی بردهای Splitter و Combiner ۵۰
- شکل ۲-۷۰: بردهای Splitter و Combiner ۵۱
- شکل ۳-۱: نمودار مدت زمان روشن ماندن برد ۶۰۰ وات بر حسب توان بازتابی ۵۵
- شکل ۳-۲: دیاگرام بلوکی مدار نمونه گیر توان ۵۶
- شکل ۳-۳: شماتیک مدار نمونه گیر توان ۵۶
- شکل ۳-۴: مدل سازی مدار نمونه گیر توان ۵۶
- شکل ۳-۵: اثر ترانس نمونه گیر جریان ۵۷
- شکل ۳-۶: اثر ترانس نمونه گیر ولتاژ ۵۷
- شکل ۳-۷: شماتیک بخش تغذیه برد مدار محافظ ۵۹
- شکل ۳-۸: شماتیک ورودی ها و خروجی های پردازنده ۶۰
- شکل ۳-۹: مدارهای اتصال پردازنده به خروجی ها ۶۱
- شکل ۳-۱۰: فیلتر پایین گذر کلیدهای فعال و غیرفعال ۶۱
- شکل ۳-۱۱: اتصال پردازنده به صفحه نمایشگر ۶۲
- شکل ۳-۱۲: فیلتر اتصال ورودی ها به ADC ۶۲
- شکل ۳-۱۳: اتصال به پردازنده مرکزی در برد کنترل کننده ۶۳
- شکل ۴-۱: نمودار تغییرات اندازه بار محفظه پلاسما ۶۵
- شکل ۴-۲: امپدانس دیده شده توسط مولد فرکانس رادیویی با وجود MB و محفظه پلاسما ۶۶
- شکل ۴-۳: محدوده تغییرات خازن بار ۶۷
- شکل ۴-۴: محدوده تغییرات سلف سری ۶۸
- شکل ۴-۵: محدوده تغییرات خازن تنظیم ۶۸
- شکل ۴-۶: نمای سلف ساخته شده ۶۹
- شکل ۴-۷: نمای خازن بار ساخته شده ۷۰
- شکل ۴-۸: نمای خازن تنظیم ساخته شده ۷۰
- شکل ۴-۹: شماتیک نمونه گیر ولتاژهای رفت و بازگشتی ۷۱
- شکل ۴-۱۰: مدار کاربردی نمونه گیر ولتاژهای رفت و بازگشتی ۷۱
- شکل ۴-۱۱: شماتیک اندازه گیر VSWR ۷۱
- شکل ۴-۱۲: مدار نمونه گیر ولتاژ و جریان بار الکتریکی ۷۲
- شکل ۴-۱۳: شماتیک تراشه AD8302 ۷۳

۷۳	شکل ۴-۱۴: نمایش پایه های تراشه AD8302
۷۴	شکل ۴-۱۵: مدار کاربردی تراشه AD8302
۷۴	شکل ۴-۱۶: خروجی اندازه تراشه AD8302
۷۵	شکل ۴-۱۷: خروجی فاز تراشه AD8302
۷۵	شکل ۴-۱۸: تضعیف کننده مدل π
۷۶	شکل ۴-۱۹: مدار اندازه گیر توان
۷۷	شکل ۴-۲۰: ترانس های ولتاژ و جریان
۷۷	شکل ۴-۲۱: نقشه مدار چاپی Attenuator اول
۷۷	شکل ۴-۲۲: برد مدار چاپی Attenuator اول
۷۸	شکل ۴-۲۳: ترانس ولتاژ و جریان و برد Attenuator اول داخل جعبه شیلد
۷۸	شکل ۴-۲۴: شماتیک بخش تغذیه برد الکترونیکی
۷۸	شکل ۴-۲۵: شماتیک Attenuator دوم و تراشه AD8302 برد الکترونیکی
۷۹	شکل ۴-۲۶: شماتیک بخش مبدل های آنالوگ به دیجیتال برد الکترونیکی
۷۹	شکل ۴-۲۷: شماتیک بخش فیلتر و تضعیف کننده اندازه گیر توان برد الکترونیکی
۷۹	شکل ۴-۲۸: شماتیک بخش پردازنده و برنامه ریز روی برد برای برد الکترونیکی
۷۹	شکل ۴-۲۹: شماتیک بخش صفحه نمایشگر برد الکترونیکی
۸۰	شکل ۴-۳۰: نقشه مدار چاپی برد الکترونیکی
۸۰	شکل ۴-۳۱: برد الکترونیکی
۸۱	شکل ۴-۳۲: برد نمونه گیر ولتاژ به همراه جعبه شیلد آن
۸۲	شکل ۴-۳۳: صفحه نمایشگر MB ۶۰۰ وات
۸۳	شکل ۴-۳۴: اجزای سیستم کنترلی MB
۸۴	شکل ۴-۳۵: موتور Servo
۸۴	شکل ۴-۳۶: شماتیک بخش راه انداز موتورهای Servo
۸۵	شکل ۴-۳۷: شماتیک مربوط به مدار بخش حالت دستی
۸۶	شکل ۴-۳۸: نمایش اسمیت چارت بار الکتریکی
۸۶	شکل ۴-۳۹: امپدانس حاصل با افزودن سلف سری
۸۷	شکل ۴-۴۰: امپدانس حاصل با افزایش خازن تنظیم
۸۷	شکل ۴-۴۱: امپدانس حاصل با افزایش خازن بار
۹۰	شکل ۴-۴۲: فلوچارت الگوریتم تطبیق خودکار
۹۲	شکل ۱-۰۰: مدار معادل AC ماژول ۶۰۰ وات
۹۴	شکل ۲-۰: انتقال گرما از طریق هدایت
۹۵	شکل ۳-۰: نمایش مواد واصل گرمایی
۹۹	شکل ۴-۰: تقویت کننده ۳۰۰ وات ساخت شرکت NXP
۱۰۰	شکل ۵-۰: شبکه های L با دو جزء

- شکل ۶-۰: انتقال رو به بالا در شبکه های L با دو جزء..... ۱۰۰
- شکل ۷-۰: انتقال رو به پایین در شبکه های L با دو جزء..... ۱۰۱
- شکل ۸-۰: شبکه های L با سه جزء..... ۱۰۱
- شکل ۹-۰: شبکه های نوع π ۱۰۲
- شکل ۱۰-۰: انتقال رو به پایین در شبکه های نوع π ۱۰۳
- شکل ۱۱-۰: انتقال رو به بالا در شبکه های نوع π ۱۰۳
- شکل ۱۲-۰: شبکه های نوع T..... ۱۰۴
- شکل ۱۳-۰: انتقال رو به پایین در شبکه های نوع T..... ۱۰۴
- شکل ۱۴-۰: انتقال رو به بالا در شبکه های نوع T..... ۱۰۵

فهرست جداول

جدول ۱-۳: محافظت در برابر عدم تطبیق.....	۵۵
جدول ۲-۳: عملکرد پایه های پردازنده.....	۵۹
جدول ۱-۴: محدودیت های سیگنال های ورودی تراشه AD8302.....	۷۳
جدول ۲-۴: توضیحات مربوط به پایه های تراشه AD8302.....	۷۳
جدول ۳-۴: المان های موجود در مدار کاربردی تراشه AD8302.....	۷۴
جدول ۴-۴: مشخصات دو تضعیف کننده مدل π استفاده شده.....	۷۵
جدول ۵-۴: مقادیر المان های استفاده شده در مدار اندازه گیر توان.....	۷۶
جدول ۶-۴: مشخصات هسته KT80-2.....	۷۷
جدول ۱-۰: امپدانس ورودی و خروجی MRF150 و BLF177 در فرکانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز.....	۹۲
جدول ۲-۰: دسته بندی مواد واصل گرمایی بر اساس Interface gap values.....	۹۵
جدول ۳-۰: دسته بندی مواد واصل گرمایی بر اساس Contact pressure scale.....	۹۵
جدول ۴-۰: دسته بندی مواد واصل گرمایی بر اساس Electrical insulation.....	۹۵

مقدمه

پیشگفتار

در آغاز سپاس می‌گوییم خداوندی را که آفرینش هر چیز را نیکو ساخت و آگاه کرد بندگانش را از وجود پیامبر درونیشان، تا به واسطه‌ی آن، جهان را به تسخیر درآورند.

مولد فرکانس رادیویی ۶۰۰ وات با فرکانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز در حقیقت یک منبع سیگنال سینوسی در محدوده‌ی فرکانس‌های رادیویی است که می‌تواند توانی معادل با ۶۰۰ وات را به یک بار الکتریکی ۵۰ اهم خالص تحویل دهد. فرکانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز قسمتی از باند فرکانس رادیویی است که به کاربردهای علمی، صنعتی و پزشکی اختصاص داده شده است. کاربرد خاص این مولدهای فرکانس رادیویی تولید پلاسمای RF است که از کاربردهای آن می‌توان به مواردی چون لایه‌نشانی لایه‌های عایق و فلزی به روش RF Sputtering برای کاربرد در صنایع نظامی، هوایی، اتمی، میکروالکترونیک و نانوالکترونیک، لایه‌نشانی سیلیکون نیترایدها و سیلیکون اکسایدها به روش PECVD برای کاربرد در صنایع میکروالکترونیک و نانوالکترونیک، زدایش خشک^۱ برای کاربرد در صنایع میکروالکترونیک و نانوالکترونیک، زدایش خشک عمیق برای کاربرد در صنعت MEMS، شتابدهنده‌های ذرات در صنایع اتمی و پزشکی و عملیات سطحی اشاره کرد. خروجی مولد فرکانس رادیویی مورد نظر سیگنالی سینوسی با فرکانس ۱۳/۵۶ مگاهرتز و توانی حدود ۶۰۰ وات است. این دستگاه به عنوان منبع تولید توان به یک بار الکتریکی که در اینجا یک محفظه‌ی پلاسماست، وصل می‌شود و باید توانی حدود ۶۰۰ وات را به آن تحویل دهد، محفظه‌ی پلاسمای از نظر الکتریکی باری متغیر با زمان محسوب می‌شود و مولد فرکانس رادیویی تنها می‌تواند به بار ۵۰ اهم خالص بیشینه توان را تحویل دهد لازم است که بین مولد فرکانس رادیویی و محفظه‌ی پلاسمای یک شبکه تطبیق قرار دهیم. طراحی یک شبکه تطبیق به میزان توان الکتریکی مولد فرکانس رادیویی و محدوده‌ی تغییرات بار محفظه وابسته است و بر اساس آن روش‌های مختلفی برای تطبیق به وجود آمده‌اند که از این دست می‌توان به مواردی چون شبکه‌های نوع L، نوع π و نوع T اشاره کرد.

موضوعات مورد بحث

این پایان نامه در ۴ فصل مجزا تدوین شده است :

- ۱- مقدمه‌ای بر پلاسمای و مدل سازی الکتریکی محفظه‌ی پلاسمای
- ۲- طراحی و ساخت مولد فرکانس رادیویی ۱۳/۵۶ مگاهرتز ۶۰۰ وات
- ۳- طراحی و ساخت یک سیستم تشخیص خطا برای محافظت از مولد فرکانس رادیویی ۶۰۰ وات
- ۴- طراحی و ساخت جعبه‌ی تطبیق امپدانس برای انجام عملیات سطحی با استفاده از پلاسمای RF

^۱ Reactive Ion Etching

فصل اول

مقدمه‌ای بر پلاسما و مدل‌سازی الکتریکی محفظه پلاسما

هدف:

در این فصل از پایان نامه ابتدا با مفاهیم اولیه‌ی پلاسما آشنا می‌شویم و در ادامه به کلیات مربوط به پلاسما می‌پردازیم و در مورد مباحثی چون محیط و شرایط مورد نیاز تشکیل پلاسما، فرآیندهای تحت پلاسما (Plasma Processing) و کاربردهای پلاسما مطالبی را ارائه می‌کنیم. در انتها نیز به مهمترین بخش این فصل یعنی مدل‌سازی الکتریکی محفظه‌ی پلاسما می‌پردازیم. قرار است که در نتیجه‌ی این مدل‌سازی محدوده‌ی بار الکتریکی محفظه را شناسایی کنیم که مقدمه‌ای در راستای طراحی جعبه‌ی تطبیق امپدانس در فصل ۴ است.

فصل ۱ – مقدمه‌ای بر پلاسما و مدل‌سازی الکتریکی محفظه پلاسما

۱-۱- دید کلی نسبت به پلاسما

برای پلاسما تعاریف مختلفی ارائه شده است ولی در اینجا منظور ما از پلاسما ماده‌ای گازی شکل است که در آن بخشی از مولکول‌های آن یونیزه شده باشند. در حالت عادی در هر گازی تعدادی الکترون آزاد وجود دارد. حال اگر توسط یک میدان الکتریکی به آنها نیرویی اعمال کنیم این الکترون‌ها شتاب گرفته و در صورتی که نیروی اعمالی به حد کافی بالا باشد، انرژی جنبشی آن به قدری بالا می‌رود که در صورت برخورد با مولکول‌های گاز قادر خواهد بود آنها را یونیزه و برانگیخته کرده و تشکیل پلاسما دهد.

۱-۲- کاربردهای پلاسما

در بسیاری از فرآیندها و به ویژه تقریباً در ساخت تمام قطعات نیمه هادی و مدارات مجتمع بخشی از کار در معرض پلاسما انجام می‌شود. پلاسما بسته به نحوه و ساختار اعمال‌کننده‌ی میدان الکتریکی کاربردهای متفاوتی دارد. مولکول‌های گاز پس از برانگیخته و باردار شدن خود تحت میدان الکتریکی شتاب گرفته و به واسطه جرم زیاد قادرند عملیاتی مانند تمیزکاری سطوح را قبل از لایه نشانی و کندوپاش^۱ انجام دهند و در لایه نشانی نافلز روی فلز به خاطر برانگیخته بودن مولکول گاز، سرعت واکنش شیمیایی گاز با فلز را بسیار افزایش می‌دهند، علاوه بر موارد ذکر شده که کاربرد پلاسما در صنایع میکروالکترونیک است، پلاسما در زمینه‌های دیگری نیز کاربرد دارد که در ادامه به آن اشاره می‌کنیم:

۱- صنایع پلیمر

۲- صنایع نساجی

۳- صنایع پزشکی

در صنعت پلیمر از پلاسما در بخشهای مختلفی از قبیل رنگ‌زدن سطوح، لایه‌نشانی^۲ و جوش دادن دو پلیمر به یکدیگر استفاده می‌شود. در صنعت نساجی از پلاسما برای آبدوست کردن بافت پارچه^۳، ضد آب کردن^۴، لایه نشانی و رنگ زدن استفاده می‌شود و در صنعت پزشکی برای استریلیزه کردن وسایل به کار می‌رود.

در انجام عملیات ساخت نیمه‌هادی دو نوع خاص از پلاسما کاربرد بیشتری دارند: پلاسما DC و پلاسما RF. اولی اغلب در لایه نشانی فلزها کاربرد دارد و دومی در فرآیندهایی مثل تمیزکاری، لایه نشانی نافلز بر روی فلز، لایه‌برداری کاربرد دارد. برای تشکیل پلاسما RF استانداردهای فرکانسی متفاوتی وجود دارد که در بازه‌های فرکانسی متفاوت، از چند کیلو هرتز تا چند گیگا هرتز قرار گرفته‌اند. یکی از مشهورترین این فرکانس‌ها، فرکانس استاندارد ۱۳/۵۶ مگاهرتز است. قابل ذکر است که انتخاب این فرکانس برای ساخت پلاسما به این دلیل است که اولاً این فرکانسی در یک باند آزاد

¹ Sputtering

² coating

³ Hydrophilic

⁴ Hydrophobic

قرار داشته و ثانیاً ساخت موآد در این فرکانس خیلی مشکل نیست و همچنین بر اساس تجربه پلاسمای حاصل دارای پارامترهای نسبی مناسبی خواهد بود.

۳-۱- فرآیندهای تحت پلاسما

بعضی از فرآیندهای تحت پلاسما عبارتند از:

۱- Plasma Ashing

این عملیات برای از بین بردن فوتورزیست در فرآیند ساخت نیمه‌هادی‌ها کاربرد دارد. برای این منظور سطحی که روی آن فوتورزیست قرار دارد تحت پلاسمای گاز اکسیژن و یا ترکیبات فلئوئوردار قرار می‌گیرد و در اثر برخورد گاز یونیزه شده، لایه فوتورزیست از روی سطح برداشته می‌شود.

۲- Plasma cutting

برای برش استیل و یا سایر فلزات با ضخامت مختلف از تورچ پلاسما استفاده می‌شود. در این فرآیند، گاز خنثی (و یا در بعضی موارد هوای فشرده) با سرعت زیادی از یک نازل خارج شده و در اثر ایجاد همزمان تخلیه الکتریکی پلاسما تشکیل می‌شود. به علت دمای بالای پلاسما فلز مد نظر در محل برخورد پلاسما ذوب شده و برش ایجاد می‌شود.

۳- Plasma etching

در این فرآیند که برای زدودن لایه‌های نازک - طبق الگوی مد نظر - استفاده می‌شود، یک گاز خنثی مثل آرگون وارد محفظه خلأ شده و تحت تأثیر میدان RF گاز یونیزه شده تشکیل می‌شود. گاز یونیزه شده تحت میدان شتاب گرفته و با سطح نمونه برخورد می‌کند و در اثر اعمال ضربه به اتم‌های لایه، موجب کنده شدن آن‌ها می‌شود.

۴- Reactive-ion etching

این فرآیند شبیه به Plasma Etching است با این تفاوت که در این نوع از عملیات به جای گاز خنثی از یک گاز واکنش‌دهنده^۱ استفاده می‌شود. هنگامی که یونهای گاز واکنش‌دهنده با سطح نمونه برخورد می‌کنند، هم در اثر اعمال ضربه و هم در اثر واکنش شیمیایی منجر به کنده شدن اتم‌های لایه می‌شوند و بدین ترتیب نرخ زدایش لایه در این عملیات بالاتر از عملیات Plasma Etching است.

۵- RF / DC Sputtering

یکی از روش‌های لایه‌نشانی لایه‌های نازک فلزی و غیر فلزی استفاده از پلاسمای DC و RF می‌باشد. در این روش معمولاً یک گاز خنثی و یا مخلوطی از گاز خنثی و گاز فرایند وارد محفظه خلأ می‌شوند و اعمال تغذیه DC و یا RF منجر به یونیزه شدن گاز (گازها) می‌شود یونهای گاز تحت تأثیر میدان الکتریکی ناشی از تغذیه اعمالی، با شتاب به سطح ماده هدف (ماده مورد نظر برای کندن لایه از آن) برخورد نموده و در اثر اعمال ضربه اتم‌های آن را جدا می‌کند. این اتم‌ها بعد از جداسدن روی زیرلایه می‌نشینند.

۶- Plasma arc waste disposal

^۱ reactive

یکی از روش‌های بازیافت زباله، استفاده از پلاسما می‌باشد. در این روش زباله‌ها بعد از تبدیل به قطعات کوچکتر، درون محفظه‌ای قرار داده می‌شوند در محفظه تخلیه دو الکتروود از جنس گرافیت^۱ وجود دارد که بین آنها از طریق یک منبع تغذیه DC ولتاژ بالایی (معمولاً ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ ولت) اعمال می‌شود. در اثر اعمال ولتاژ، گازی که در این محفظه تزریق می‌شود (معمولاً اکسیژن یا هوا) یونیزه شده و پلاسما تشکیل می‌شود. کمترین دمای مورد نیاز برای بازیافت زباله‌ها °C ۱۵۰۰ می‌باشد. در روش Plasma Waste Converter (Plasma arc waste disposal) زباله‌های فلزی، مواد سمی، سیلیکونی، پلاستیکی، ترکیبات شیمیایی و بیولوژیکی به مواد غیر سمی فلزی (اکسیدهای فلزی) و یا گاز (عمدتاً H₂, CO₂) تبدیل می‌شوند.

۴-۱- محیط و شرایط مورد نیاز برای تشکیل پلاسما

برای تشکیل پلاسما و استفاده از آن برای کاربردهای مختلف به موارد زیر نیاز داریم:

- محفظه‌ای که قابلیت خلا شدن را داشته باشد
- پمپ خلا برای ایجاد خلا در درون محفظه
- شیرهای ورود گاز به محفظه
- شیر خروج گاز از محفظه برای تنظیم فشار گاز درون محفظه
- فشارسنج و نمایشگر مربوط به آن
- مولد فرکانس رادیویی و جعبه تطبیق امپدانس
- الکتروود RF
- پایه^۲ برای قرار دادن زیرلایه روی آن
- گرم‌کن برای گرم کردن زیرلایه‌ها (در صورت نیاز)
- سیستم خنک کننده
- شیلدینگ

۵-۱- مدل سازی الکتریکی محفظه پلاسما

از دید الکتریکی در محل پورت تحریک محفظه، امپدانس مشاهده می‌شود که مقدار آن بستگی به ابعاد محفظه، الکتروود، نوع گاز درون محفظه، فشار آن و دارد و رابطه‌ای غیرخطی با توان RF اعمالی دارد. شمانیک محفظه‌ای خلأ به همراه الکتروود آن در شکل ۱-۱ آورده شده است. معمولاً دیواره‌ی محفظه زمین می‌شود و توان RF به الکتروود اعمال می‌شود. درون محفظه به علت جرم سبک‌تر الکترون‌ها نسبت به یونها (در نتیجه‌ی تحرک پذیری^۳ بیشتر الکترون نسبت به

¹ US Patent 7752983

² Base

³ Mobility

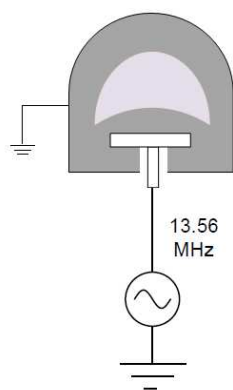
محفظه) و پاسخ سریع‌تر آنها به تغییر جهت میدان الکتریکی، حضور الکترون در مجاورت الکترودها بیش از یون است و یونهای سنگین در ناحیه تابناک ۱ حضور بیشتری دارند (مطابق با شکل ۱-۲). بر این اساس مدل ساده‌ای که برای پلاسما در نظر گرفته می‌شود در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. گفتنی است که بالک پلاسما به علت تجمع یونها شبیه به یک رسانا است که مقاومت آن با R_{Bulk} نشان داده می‌شود. در صورت ساده‌سازی می‌توانیم امپدانس محفظه‌ی پلاسما را مطابق با شکل ۱-۴ با یک مدار RC سری نیز مدل کنیم که محدوده‌ی تغییرات R_b آن در یک محفظه‌ی استاندارد بین دو تا ۳۰ اهم است. قابل ذکر است که بخش اهمی این امپدانس، ناشی از جذب توان توسط پلاسما است که در نهایت به صورت گرما و تشعشع تلف می‌شود. در این مدل روابط آورده شده در زیر برقرار است که در آن متوسط زمانی ولتاژ DC و V_{s-ac} ولتاژ AC روی خازن و n_e چگالی الکترون در پلاسما و q بار الکترون و μ_e تحرک‌پذیری^۲ الکترون است:

$$R_b = \frac{|V|}{|I|} \cos\theta \quad 1-1$$

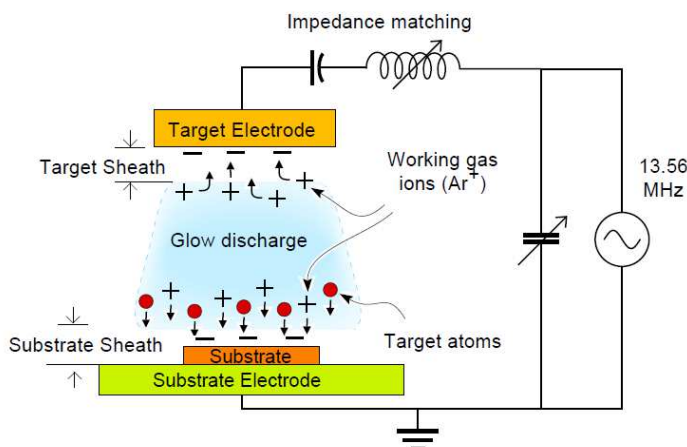
$$C_s = -\frac{2|I|}{\omega|V|\sin\theta} \quad 2-1$$

$$V_s \approx V_{s-ac} = \frac{|I|}{\omega C_s} \quad 3-1$$

$$n_e = \frac{d}{qAR_b\mu_e} \quad 4-1$$



شکل ۱-۱: شماتیک محفظه خلا به همراه الکترون آن



شکل ۱-۲: نمایش الکترون‌ها و یون‌ها در محفظه پلاسما

¹ Glow

² mobility