۱۳۷۸ /۷/ ۱۲

مرکز اطلاعات مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه علم و صنعت

دانشکده برق

تحلیل، طراحی و ساخت یک مقسم توان حلقوی باند وسیع

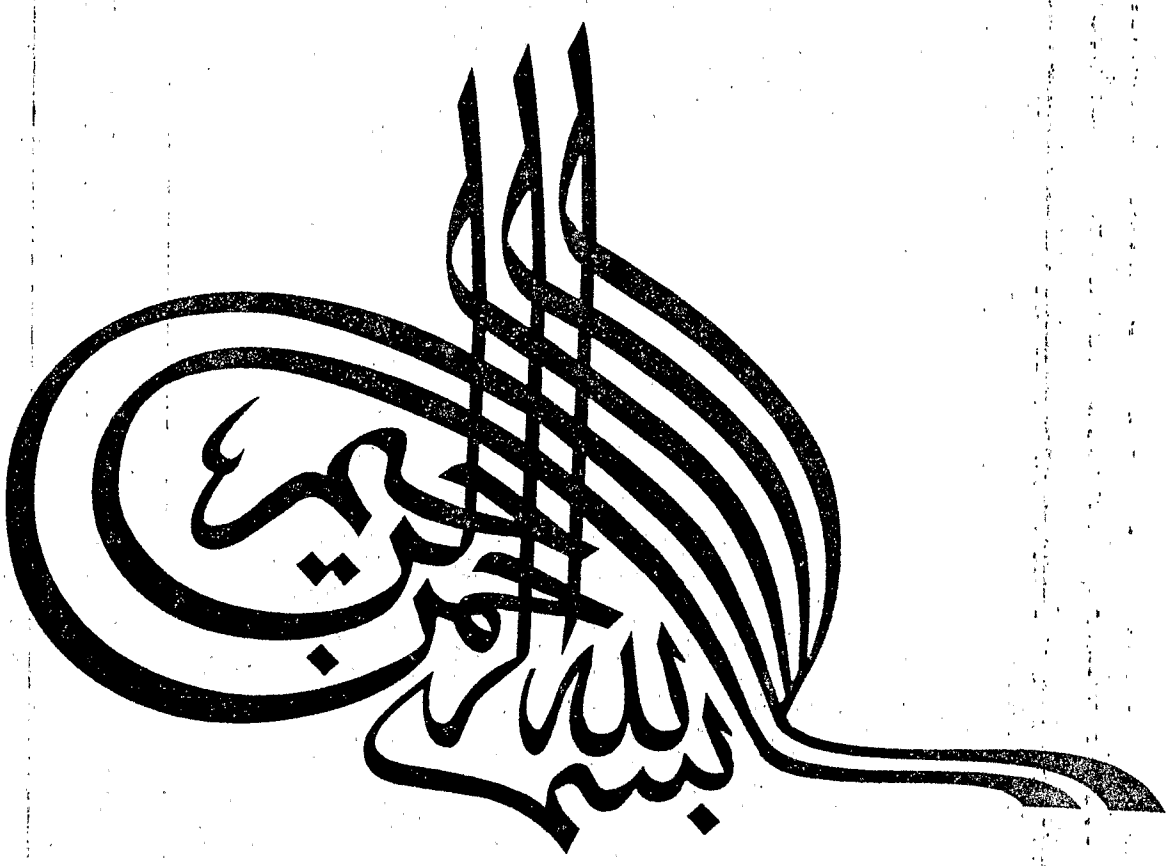
امیر رضا نیک فال

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی برق – مخابرات

۴۰۴۵۲

استاد راهنما:
آقای دکتر فرخ حجت کاشانی

پاییز ۱۳۷۷


بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده

کوپلر جهت‌دار حلقوی یکی از ابزارهای اساسی تقسیم توان در آنتنهای آرایه‌ای میکرواستریپی می‌باشد و مشخصات مهمی را داراست از قبیل: بازوهای خروجی بخوبی ایزوله شده‌اند و پورتهای خروجی هم فاز می‌باشند. با این وجود از پهنای باند مناسبی برخوردار نیست.

پهنای باند یک کوپلر حلقوی متداول فقط ۲۰-۲۵ درصد فرکانس مرکزی آن (بسته به مشخصات مورد نیاز) می‌باشد. مهمترین عامل محدود کننده، تغییرات دامنه و فاز در پورتهای خروجی با تغییرات فرکانس است.

در این پروژه ابتدا ما روشهای مختلفی که جهت افزایش پهنای باند در گذشته پیشنهاد شده را مرور می‌کنیم و سپس یک مقسم توان بفرم کوپلر حلقوی را معرفی می‌نماییم که دارای مشخصه دامنه و فاز بهبود یافته در محدودهٔ وسیعی از فرکانس (تقریباً دو برابر یک کوپلر حلقوی متداول) می‌باشد.

افزایش پهنای باند با اضافه کردن یک پورت پنجم به طرح چهارپورتی کوپلر حلقوی حاصل می‌شود. طرح جدید قابل استفاده در هر دو حالت تقسیم توان برابر و نابرابر می‌باشد و معادلات مربوط به درجهٔ کوپلینگ همان معادلات موجود برای کوپلر جهت‌دار حلقوی متداول است. عوامل اصلی محدود کننده پهنای باند در این حالت متفاوت از گذشته و عبارتنداز VSWR ورودی و ایزولاسیون بین دو پورت خروجی. مقایسهٔ تئوری بین مشخصات کوپلر باند وسیع و کوپلر حلقوی متداول با استفاده از یک برنامهٔ کامپیوتر نوشته شده بزبان مطلب انجام گرفته است و سپس نتایج بدست آمده با یک برنامه Touchstone بررسی شده است.

سرانجام طرح یک نمونه مقسم توان حلقوی باند وسیع با تقسیم توان برابر به وسیله میکرواستریپ ساخته شده و نتایج با تئوری مقایسه گردیده است.

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: مقدمه‌ای بر میکرو استریپ ۴

۱-۱- تاریخچه ۴

۱-۲- معرفی روشهای تحلیل میکرواستریپ ۵

۱-۳- ناپیوستگی‌ها در میکرواستریپ ۱۲

فصل دوم: بررسی کوپلرهای حلقوی جهت‌دار (ratrace) ۱۴

۲-۱- معرفی کوپلر حلقوی جهت‌دار ۱۴

۲-۲- آنالیز فرکانسی ۱۶

۲-۳- معرفی چند طرح برای افزایش پهنای باند ۲۳

۲-۴- معرفی روشی دیگر جهت تحلیل کوپلر حلقوی ۲۵

فصل سوم: بررسی و تحلیل مقسم توان حلقوی باند وسیع ۳۵

۳-۱- معرفی مقسم توان باند وسیع ۳۵

۳-۲- **روش سعی و خطا** ۴۰

۳-۳- مقایسه نتایج به دست آمده ۴۸

فصل چهارم: طراحی تقسیم کنندهٔ توان باند وسیع ۵۳

۴-۱- بدست آوردن ضریب دی‌الکتریک میکرواستریپ ۵۳

۴-۲- طراحی قطعه ۵۶

عنوان | صفحه

۳-۴- بررسی قطعه با نرم‌افزار touch stone ۵۷

فصل پنجم: ساخت تقسیم کننده توان باند وسیع ۶۲

۱-۵- روش ساخت ۶۲

۲-۵- خلاصه،نتایج و پیشنهادات ۶۷

پیوست ۶۹

ضمیمهٔ ۱- نرم‌افزار محاسبه پارامترهای S برای یک ratrace ۷۰

ضمیمهٔ ۲- بدست آوردن پارامترهای پراکندگی ناپیوستگی‌ها ۷۱

ضمیمهٔ ۳- ماتریس W برای یک ratrace ۷۴

ضمیمهٔ ۴- نرم‌افزار نوشته شده برای قسمت ۴-۲ ..... ۷۸

ضمیمهٔ ۵- بدست آوردن فرکانس رزونانس برای موجبر صفحات موازی ۹۲

فهرست تصاویر

شکل	عنوان	صفحه
مقدمه		
م-۱	انواع اتصال هایبرید	۲
فصل اول		
۱-۱	خط میکرواستریپ	۶
۱-۲	انواع ناپیوستگی‌ها و موارد استفاده آنها	۱۳
۱-۳	معادل راکتانسی ناپیوستگی‌ها در میکرواستریپ	۱۳
فصل دوم		
۲-۱	انواع کوپلر حلقوی جهت‌دار	۱۵
۲-۲	کوپلر حلقوی جهت‌دار میکرواستریپی	۱۶
۲-۳	تفکیک کوپلر به حالت زوج و فرد	۱۷
۲-۴	تفکیک کوپلر حلقوی در دو حالت زوج و فرد به معادل خط انتقالی	۱۸
۲-۵	کوپلر حلقوی با تقسیم توان نامتساوی	۱۹
۲-۶	مدار معادل کوپلر حلقوی با تقسیم توان نامتساوی	۱۹
۲-۷	پارامترهای پراکندگی حول فرکانس مرکزی	۲۲
۲-۸	کوپلر حلقوی باند وسیع با خطوط کوپل شده	۲۳
۲-۹	طرح دیگری برای کوپلر حلقوی باند وسیع	۲۴
۲-۱۰	مقایسه منحنی‌های تقسیم توان یک کوپلر معمولی و باند وسیع	۲۵
۲-۱۱	نمای اتصال دو پورت در شبکه	۲۷
۲-۱۲	نمای اتصال اجزاء یک شبکه	۲۸

شکل	عنوان	صفحه

۲-۱۳ یک نمونه ratrace تفکیک شده ۳۲
۲-۱۴ دامنه سیگنال در دو پورت خروجی برای یک کوپلر حلقوی جهت‌دار ratrace ۳۳
۲-۱۵ فاز سیگنال در دو پورت خروجی برای یک کوپلر حلقوی جهت‌دار ratrace ۳۴

فصل سوم

۳-۱ یک کوپلر حلقوی جهت‌دار در دو حالت ۳۵
۳-۲ ratrace با پورت اضافی ۳۶
۳-۳ دامنه سیگنال در پورتهای خروجی ۳۸
۳-۴ دامنه و فاز سیگنال برای یک مقسم توان در دو حالت ۳۹
۳-۵ مقادیر پارامترهای پراکندگی برای پورتهای خروجی ۴۲
۳-۶ عدم تطبیق پورت ورودی با تغییر امپدانس رینگ ۴۳
۳-۹ طرح نهایی مقسم توان الف - تقسیم توان برابر ب- تقسیم توان نابرابر ۴۴
۳-۷ مقادیر پارامترهای S و امپدانس ورودی به ازای امپدانسهای ۵۰ و ۷۵ اهم ۴۵
۳-۸ مقادیر پارامترهای S و امپدانس ورودی به ازای امپدانسهای ۱۰۰ و ۱۲۵ اهم ۴۵
۳-۱۰ مقادیر دامنه و فاز سیگنال برای طرح نهایی در دو حالت ۴۷
۳-۱۱ مقایسهٔ کوپلرهای حلقوی جهت‌دار معمولی و کوپلر باند وسیع ۴۹
۳-۱۲ مقایسهٔ کوپلرهای حلقوی جهت‌دار معمولی و کوپلر باند وسیع ۵۰
۳-۱۳ مقایسهٔ کوپلرهای حلقوی جهت‌دار معمولی و کوپلر باند وسیع ۵۱
۳-۱۴ مقایسهٔ کوپلرهای حلقوی جهت‌دار معمولی و کوپلر باند وسیع ۵۲

فصل چهارم

۴-۱ نمای یک قطعه میکرواستریپ ۵۴
۴-۲ دستگاه اندازه‌گیری فرکانس رزونانس ۵۴

شکل	عنوان	صفحه

۴-۳ فرکانسهای رزونانس حاصل از رابطه ۱-۴ ..... ۵۵

۴-۴ اندازه ضریب انعکاس در پورت ورودی ۵۹

۴-۵ دامنه سیگنال خروجی در هر دو پورت ۶۰

۴-۶ فاز سیگنال خروجی در هر دو پورت ۶۱

فصل پنجم

۵-۱ دامنه سیگنال در پورت شماره ۱ خروجی ۶۴

۵-۲ دامنه سیگنال در پورت شماره ۳ خروجی ۶۵

۵-۳ ایزولاسیون بین پورت ورودی و پورت تفاضل ۶۶

پیوست

ض-۲-۱ اتصال T-junction ۷۱

ض-۲-۲ ناپیوستگی در امپدانس ۷۲

ض-۵-۱ نمای رزوناتور ۹۴

فهرست جداول

صفحه

جدول عنوان

فصل اول

۱-۱ روشهای تحلیل میکرواستریپ ۸

فصل دوم

۲-۱ فلوچارت نرم‌افزار ۳۱

مقدمه

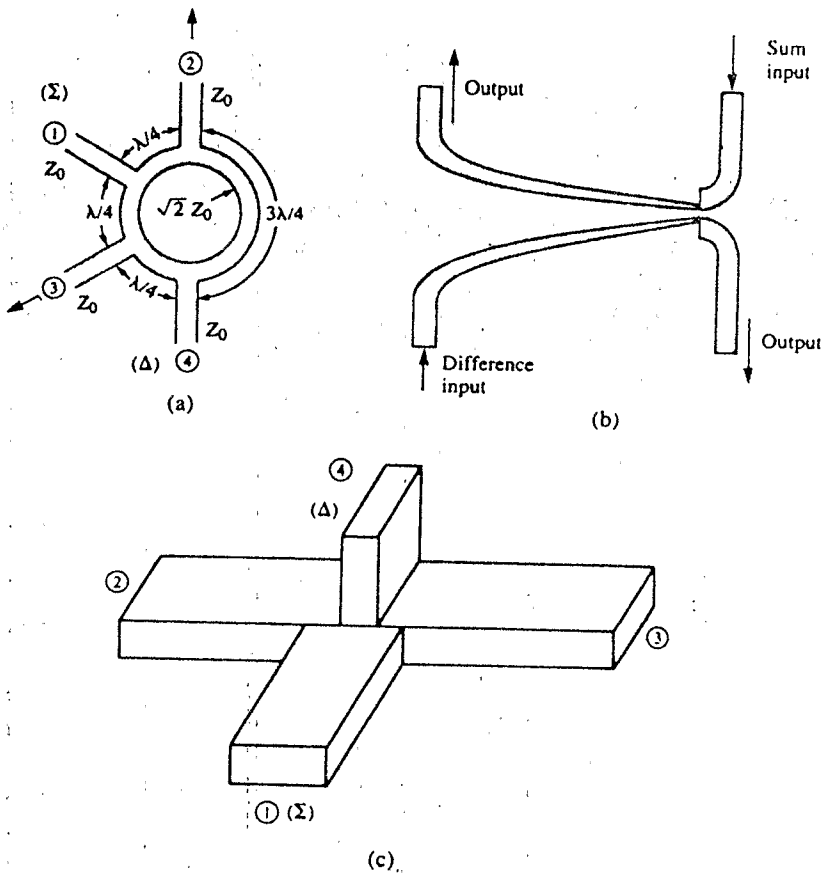
یک اتصال هایبرید ۱۸۰°، یک شبکهٔ چهارپورتی است که اختلاف فاز بین دو پورت خروجی آن ۱۸۰° می‌باشد. سیگنال تابش از پورت ۱ به دو قسمت هم فاز در پورتهای ۲ و ۳ تقسیم می‌گردد و پورت ۴ ایزوله است. اگر سیگنال تابشی به پورت ۴ اعمال شود به دو قسمت با اختلاف فاز ۱۸۰° در پورتهای ۲ و ۳ تقسیم می‌گردد و پورت ۱ ایزوله است. هنگامی که این قطعه بعنوان یک جمع کننده بکار می‌رود مجموع سیگنالهای تابشی پورتهای ۲ و ۳ در پورت ۱ و تفاضل آنها در پورت ۴ ظاهر می‌شود و به همین دلیل گاهی پورتهای ۱ و ۴ را پورتهای مجموع (Σ) و تفاضل (Δ) می‌نامند.

یک هایبرید ۱۸۰° به چند صورت قابل ساخت است:

۱- به صورت یک کوپلر حلقوی جهت‌دار (یا ratrace) که به آسانی توسط خطوط میکرواستریپ یا استریپ لاین تهیه می‌شود.

۲- بصورت یک tapered coupled line hybrid

۳- بصورت هایبرید با اتصال موجبری (magic - T)



شکل م-۱- انواع اتصال هایبرید

اتصال هایبرید بصورت کوپلر حلقوی جهت‌دار کاربردهای بسیار در رادار و مخابرات باند وسیع دارد بعنوان مثال در ساخت قطعاتی همچون مخلوط‌کننده‌ها، در تقسیم توان بر آنتنهای آرایه‌ای میکرواستریپ و غیره استفاده می‌شود. اما با توجه به مقدار تغییرات دامنه و فاز، VSWR و ایزولاسیون پورتها پهنای باند آن حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد فرکانس مرکزی خواهد بود که برای بسیاری از کاربردها نیازمندیم این پهنای باند را افزایش دهیم.

هدف از انجام این پروژه افزایش پهنای باند این قطعه و به عبارت دیگر تئوری، طراحی و

ساخت یک Broad Band Printed Circuit Hybrid Ring Power Divider یا مقسم توان حلقوی باند وسیع در فرکانس مرکزی ۸۰۰ MHz و بررسی مشخصات آن می‌باشد.

چون با مراجعه اینجانب به چند مرکز دانشگاهی سابقه تحقیقاتی در این زمینه مشاهده نشده است و از طرفی تحقیقات و مقالات خارجی در مورد موضوع این پروژه عمدتاً در فرکانسهای بالا نظیر باند Ku انجام شده است بررسی و ساخت قطعه در فرکانسهای پایین بدلیل کاربردهای آن مورد نیاز می‌باشد. ساختار پایان نامه شامل پنج فصل است در فصل اول، در مورد میکرواستریپ و روشهای تحلیل آن بصورت بسیار مختصر توضیح داده می‌شود، در فصل بعد کوپلر حلقوی جهت‌دار یا ratrace بعنوان نقطهٔ شروع پروژه مورد بررسی قرار می‌گیرد و در پایان این فصل چند طرح جهت افزایش پهنای باند ratrace معرفی می‌گردد. در فصل سوم طرح مقسم توان باند وسیع مورد نظر را معرفی و تحلیل می‌کنیم، جهت تحلیل آن از یک برنامه کامپیوتر نوشته شده بزبان مطلب کمک می‌گیریم. در فصل بعد ابتدا در مورد روش اندازه‌گیری ضریب دی‌الکتریک بحث شده و سپس قطعه مربوطه را طراحی می‌کنیم، طرح مزبور را توسط نرم‌افزار touch stone شبیه‌سازی می‌کنیم

سرانجام فصل پنجم اختصاص به روش ساخت و نتایج حاصله دارد.

فصل اول

مقدمه‌ای بر میکرو استریپ

۱-۱- تاریخچه [۱]

در خلال جنگ جهانی دوم عموم سیستمهای مایکروویو با موجبرهای مستطیلی یا خطوط کواکسیال کار می‌کردند. موجبر مستطیلی این خصوصیت ارزنده را داراست که از قابلیت انتقال بالای توان برخوردار است به همین دلیل قابل استفاده در سیستمهایی نظیر رادار می‌باشد ولی بسیار حجیم و پر خرج است و از طرفی دارای محدودیتهایی در پهنای باند می‌باشد. خطوط کواکسیال اگر چه برای کاربردهای مختلف مایکروویو در آن زمان مناسب بود ولی استفاده از آن هنگام ساخت شبکه‌های مایکروویو با دشواریهای فراوان روبرو بود. مشکلات مربوط به موجبرهای مستطیلی و خطوط کواکسیال با معرفی خطوط انتقال صفحه‌ای (Planartransmition line) همانند میکرواستریپ، strip line، Coplanar waveguide و غیره برطرف شد. این خطوط حجم کمی دارند، ارزان هستند وقطعات اکتیو مایکروویو همانند دیود و ترانزیستور براحتی بر روی آنها نصب می‌گردند.

اگر چه اولین خط انتقال صفحه‌ای، چیزی شبیه به خطوط stripline بوده که در ساخت یک شبکه تقسیم توان برای نوعی آنتن در جنگ جهانی دوم استفاده می‌شده است اما خطوط

صفحه‌ای تا دهه ۱۹۵۰ پیشرفت چندانی نکردند. از آقای R.Barrett می‌توان به عنوان مخترع stripline نام برد اگر چه تئوری و موارد استفاده آن توسط آقای S.Cohn و دیگران تکمیل و معرفی گردید. بزودی در ساخت بسیاری از ادوات مایکروویو نظیر کوپلرها، فیلترها، آنتنها و غیره از خط stripline استفاده شد.

خط میکرواستریپ ابتدا توسط لابراتوار ITT و بعنوان رقیبی برای خط strip line ساخته شد. اولین خط میکرواستریپ از یک عایق (Substrate) ضخیم ساخته شده بود که از مشخصه‌های آن می‌توان به رفتار غیر TEM شدید و پاشندگی سیگنال در آن اشاره نمود. این مشخصات باعث شد که میکرواستریپ مقبولیت کمتری نسبت به stripline پیدا کند تا اینکه در دهۀ ۱۹۶۰ عایقهای بسیار نازکی ساخته شد که باعث بهبود خطوط میکرواستریپ گردید.

امروزه میکرواستریپ یکی از کاراترین خطوط انتقال موجود در فرکانس بالا می‌باشد که توسط روش فوتولیتوگرافی تهیه شده و به آسانی به سایر اجزاء مدارهای فعال و غیرفعال مایکروویو و عناصر فشرده (lumped element) قابل اتصال است.

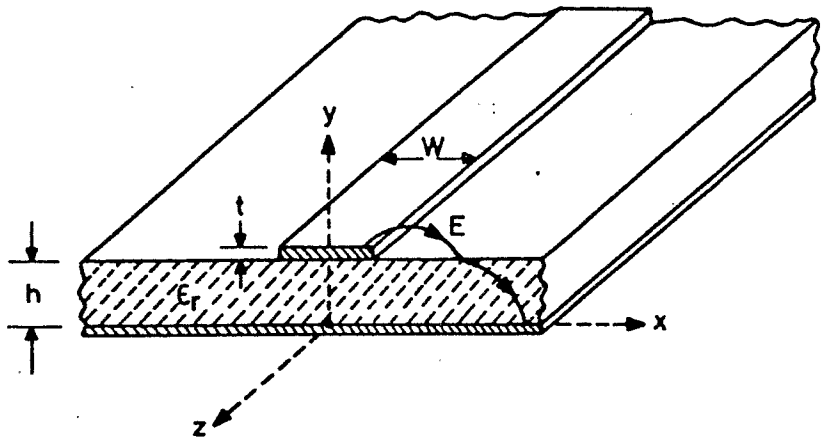
۲-۱- معرفی روشهای تحلیل میکرواستریپ

تصویری از یک خط میکرواستریپ در شکل ۱-۱ دیده می‌شود که شامل دو هادی می‌باشد که فضای بین آنها با عایقی به ضخامت h و ضریب دی الکتریک ε_r پوشیده شده است. مد انتشار موج در میکرواستریپ تقریباً مد TEM می‌باشد اما بعلت وجود اتصال دی‌الکتریک و

هوا، مد منتشر شده در میکرواستریپ به یک مد غیرخالص TEM بدل می‌گردد.

با توجه به شکل ۱-۱ برای میدان الکتریکی در مرز بین دی الکتریک و هوا خواهیم داشت:

$$E_x\Big|_d = E_x\Big|_a \qquad (۱-۱)$$



شکل ۱-۱-خط میکرواستریپ

از رابطه ۱-۱ و با استفاده از معادله ماکسول داریم:

$$(\nabla \times H)_x\Big|_d = \varepsilon r(\nabla \times H)_x\Big|_a \qquad (۱-۲)$$

سرانجام با بسط رابطهٔ بالا و با فرض $\varepsilon_r \neq 1$ و $Hy \neq 0$ داریم:

$$\varepsilon_r \frac{\partial H_z}{\partial y}\Big|_a - \frac{\partial Hz}{\partial y}\Big|_d = (\varepsilon_r - 1)\frac{\partial Hy}{\partial z} \qquad (۱-۳)$$