بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات–میدان

طراحی و ساخت کوپلر خط شاخه ای پهن باند به روش موجبر مجتمع شده در زیرلایه SIW

استاد راهنما:

آقای دکتر علیرضا ملاح زاده

نام دانشجو

محمدجوادتوکلی

خرداد۱۳۹۳

	اظهار نامه دانشجو	شماره: تاریخ:

اینجانب محمدجوادتوکلی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مخابرات گرایش میدان دانشکده فنی مهندسی دانشگاه شاهد، گواهی می دهم که پایان نامه تدوین شده حاضر با عنوان؛ " طراحی و ساخت کوپلر خط شاخه ای پهن باند به روش موجبر مجتمع شده در زیرلایه SIW " به راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر علیرضا ملاح زاده، توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنان چه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان نامه حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید هم چنین اعلام می دارد در صورت بهره گیری از منابع مختلف شامل؛ گزارش های تحقیقاتی، رساله، پایان نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان نامه حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارایه نشده است. در تدوین متن پایان نامه حاضر، چارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً این که، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان نامه حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو(دست نویس):.....

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تقدیم

به پدر و مادرم

که در چندین سال دوری و با چندین غم دلتنگی، همواره یاد و نام و صدای گرم و محبت انگیزشان در راه تحصیل به من انرژی دوچندان می داد. امیدوارم صحت و سلامت همواره همراهشان باشد.

تشکر و قدردانی

از اساتید محترم گروه مخابرات به ویژه آقای دکتر ملاح زاده که مشوق و راهنمای دلسوزی بودند.

چکیده

در این پایان نامه کوپلر خط شاخه ای با استفاده از تکنیک SIW بررسی شده و برای افزایش پهنای باند فرکانسی اش از روش چند بخشی سازی بهره گرفته شده است. در ابتدا برای طراحی از تحلیل زوج و فرد (حالت متقارن) و تحلیل مداری گره ها (حالت غیر متقارن) استفاده شده، سپس به تحلیل تمام موج عنصر پرداخته شده است. در انتها یک نمونه ی پنج بخشی در محدوده فرکانسی باند موج میلیمتری ساخته و اندازه گیری شده و با نتایج قبلی مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده ی افزایش پهنای باند نسبت به ساختارهای قبلی است. نوآوری دیگر علاوه بر پهنای باند، بهینه بودن اندازه ساختار نسبت به کارهای قبلی انجام شده است.

کلید واژه: موجبر مجتمع شده در زیرلایه، کوپلر خط شاخه ای، مدار معادل، چند بخشی سازی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ج

فهرست شکل‌ها ..... د

فصل ۱- مقدمه ۱

فصل ۲- کوپلر جهتی خط شاخه ای ٦

۲-۱- مقدمه ٦

۲-۲- کوپلرهای قوی و کوپلرهای ضعیف ۸

۲-۳- کوپلر خط شاخه ای ۹

فصل ۳- موجبر مجتمع شده در زیرلایه ۱۱

۳-۱- مقدمه ۱۱

۳-۲- مدل سازی SIW توسط موجبر مستطیلی ۱۳

۳-۲-۱- رابطه ی تحلیلی عرض موجبر مستطیلی (RW) معادل SIW ۱۵

۳-۳- روابط موجود برای انتشار موج در موجبر مستطیلی ۱۷

۳-٤- کوپلرهای SIW ۱۹

فصل ٤- روش های تحلیل ۲۳

٤-۱- مقدمه ۲۳

٤-۲- افزایش پهنای باند به روش چند بخشی سازی ۲۳

٤-۳- تجزیه و تحلیل مد زوج و فرد ۲۵

٤-۳-۱- کوپلر خط شاخه ای تک بخشی ۲۵

٤-۳-۲- کوپلر خط شاخه ای چند بخشی ۳۲

٤-٤- روش ماتریسی تحلیل گره ۳۳

٤-٤-۱- کاربرد روش مداری در کوپلر خط شاخه ای SIW ۳٦

4-5- تقاطع T ٤۲

٤-٦- روش تحلیلی عددی ٤٦

٤-٦-١- معادلات اساسی تحلیل ماتریسی ٤٧
٤-٦-٢- معادله ماتریسی کوپلر ۲ خط شاخه ای ۵۰
٤-٦-٣- تحلیل ماتریسی کوپلر ۵ خط شاخه ای 3dB ۵۲
فصل ۵- طراحی و تحلیل نتایج ۵۷
۵-۱- مقدمه ۵۷
۵-۲- طراحی و شبیه سازی ۵۸
۵-۳- نتایج ساخت ٦٢
فصل ٦- جمع بندی و پیشنهاد ٦٤
٦-١- مقدمه ٦٤
٦-٢- نوآوری ها ٦٥
٦-٣- پیشنهادها ٦٦
ضمیمه أ -تبدیل ماتریس های شبکه های چهار دهانه به یکدیگر ٦٧
ضمیمه ب -محاسبه ی ماتریس پراکندگی تقاطع T غیر متقارن ٦٨
ضمیمه ج - ماتریس پراکندگی ناپیوستگی در عرض موجبر ٦٩
ضمیمه د - ترکیب ماتریس پراکندگی تقاطع T متقارن و ناپیوستگی در عرض موجبر ۷۰
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۷۱
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۷۲
فهرست مراجع ۷۳

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ٦-١: مقایسه پارامترهای طرح فعلی با کارهای قبلی ٦٥

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: چهار نوع از خطوط انتقال مایکروویو a)دو سیمه b)هم محور c)موجبر مستطیلی d)موجبر دایروی. ۱

شکل ۱-۲: چند خط انتقال مسطح a)ریز نوار b)ریز نوار شیلد شده c)ریز نوار معلق d)ریز نوار معکوس شده. ٤

شکل ۲-۱: شکل کلی یک کوپلر چهار دهانه ۷

شکل۲-۲: انواع کوپلرهای مایکروویو a)کوپلر خط شاخه ای b)کوپلر متوالی c)کوپلر لانج d)کوپلر دورگه حلقوی ۹

شکل ۲-۳: کوپلر جهتی خط شاخه ای اصلاح شده برای دستیابی به تزویج های ضعیف ۱۰

شکل ۳-۱: ساختار SIW ۱۲

شکل ۳-۲: نمای بالایی از یک واحد سلول ساختار SIW [۱۰]. ۱٤

شکل۳-۳: شماتیک ساختار موجبر مستطیلی ۱۵

شکل۳-٤: خطوط میدان داخل RW و SIW (نیمی از نمای بالایی نشان داده شده است). ۱۷

شکل ۳-۵: کوپلر SIW، تزویج توسط روزنه [...] ۱۹

شکل ۳-٦: ساختار کوپلر دورگه شامل یک SIW و CPW روی آن [۱٦]. ۱۹

شکل ۳-۷: ساختار کوپلر خط شاخه ای SIW [۱۸] ۲۰

شکل ۳-۸: پارامترهای S کوپلر a SIW)تلفات بازگشتی b)ایزولاسیون c)ثابت تزویج S21 d)ثابت تزویج S31 [۱۸]. ۲۲

شکل ۳-۹: شبیه سازی کوپلر خط شاخه ای SIW توسط نرم افزار HFSS و نتایج حاصل از آن با استفاده از مقادیر داده شده در [۱۸]. ۲۲

شکل ٤-۱: کوپلر خط شاخه ای چند بخشی ۲٤

شکل ٤-۲: کوپلر خط شاخه ای چندبخشی SIW ۲۵

شکل ٤-۳: کوپلر خط شاخه ای تک بخشی ۲٦

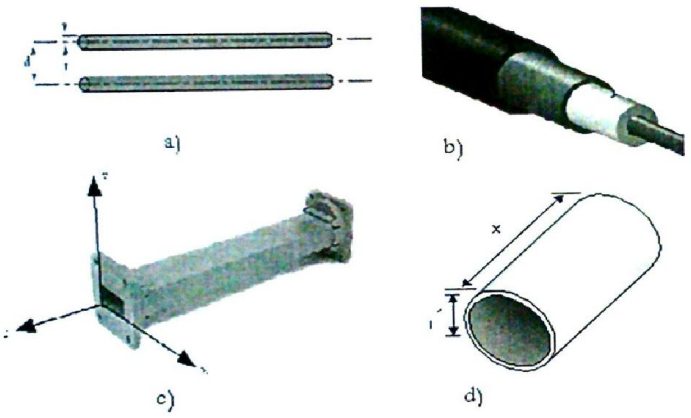
شکل ٤-٤: مدار یک کوپلر دورگه خط شاخه ای به شکل نرمالیزه شده ۲۷

شکل ٤-۵: تجزیه کوپلر خط شاخه ای به تحریک های مد زوج و فرد a) مد زوج b) مد فرد. ۲۹

شکل ٤-٦: مدار معادل تقاطع T به همراه شاخه و تبدیل ماتریس پراکندگی ۳×۳ به ماتریس ۲×۲
a) مد زوج b) مد فرد..... ۳۰
شکل ٤-۸: تجزیه عناصر تشکیل دهنده ی کوپلر خط شاخه ای n بخشی ۳٦
شکل ٤-۹: شبکه ی ٤ دهانه ای n بخشی ساده شده ی کوپلر.....۳۷
شکل ١٤- ۱۰: شبکه ی افقی تشکیل شده از دو خط SIW ۲٦
شکل ٤-۱۱: شبکه ی عمودی تشکیل شده از تقاطع T و خط SIW ۲۷
شکل ٤-۱۲: تقاطع T نامتقارن a) از بالا باریک شده b) از پایین باریک شده c) بلوک ناپیوستگی
تقاطع T متقارن d) بلوک ناپیوستگی در عرض موجبر(از بالا باریک شده) e) بلوک ناپیوستگی در
عرض موجبر(از پایین باریک شده) ۳۱
شکل ٤-۱۳: ساختار تقاطع T متقارن با ابعاد دلخواه موجبر کناری ۳۲
شکل ٤-١٤: مدار معادل تقاطع T صفحه ی H ۳۲
شکل٤-۱۵: خط انتقال ایزوله شده با تعیین جهت مثبت سیگنال ها ۳٤
شکل٤-١٦: ارتباط ولتاژ و جریان در اتصال E-plane ۳٤
شکل٤-۱۷: کوپلر ۲خط شاخه ای با ٤ اتصال T صفحه ی E ۳۵
شکل ٤-۱۸: کوپلر ۵خط شاخه ای با ۱۰ اتصال T صفحه E ۳۸
شکل ٤-۱۹: اتصال T صفحه ی E موجبری و مدار معادل ۳۹
شکل ٤-۲۰: مدار معادل کوپلر ۵خط شاخه ای با ۱۰ اتصال T صفحه E ۳۹
شکل ۵-۱: کوپلر تک بخشی SIW پهن باند ٤۱
شکل ۵-۲: کوپلر تک بخشی SIW پهن باند در نرم افزار ٤۱
شکل ۵-۳: نتایج شبیه سازی کوپلر تک بخشی SIW پهن باند ٤۲
شکل ۵-٤: شبیه سازی کوپلر چند بخشی SIW پهن باند ٤۲
شکل ۵-۵: نتایج شبیه سازی پارامترهای پراکندگی کوپلر چند بخشی SIW پهن باند..... ٤۳
شکل ۵-٦: نتایج شبیه سازی اختلاف فازکوپلر چند بخشی SIW پهن باند ٤۳
شکل ۵-۷: ساخت کوپلر با زیرلایه ی RO4003 .....٤۳
شکل ۵-۸: ساخت کوپلر با زیرلایه ی RO5880 .....٤۳

فصل ۱- مقدمه

به دلیل بالا بودن فرکانس و کم بودن طول موج در فرکانس های مایکروویو و میلیمتری باید از ابزار مناسبی برای انتقال موج سود جست. کار اصلی در اینجا انتقال انرژی الکترومغناطیسی از محیطی به محیط دیگر بدون پراکندگی و یا انتشار ناخواسته ی آن می باشد. به طور معمول برای این کار از وسایلی استفاده می شود که هر یک دارای برتری و ضعفی نسبت به یکدیگرند و کاربرد آن ها را در محدوده ی فرکانسی خاصی مناسب می سازد. از جمله خطوط انتقالی که از مدت ها قبل کاربرد فراوان داشته اند در شکل ۱-۱ آمده اند.



شکل ۱-۱: چهار نوع از خطوط انتقال مایکروویو a)دو سیمه b)هم محور c)موجبر مستطیلی d)موجبر دایروی.

خطوط انتقال نشان داده شده در شکل ۱-۱ از مشهورترین ابزار انتقال موج در مایکروویو بوده و برای مثال خط دوسیمه باز که ساخت آن بسیار ارزان و آسان است در فرکانس های رادیویی کاربرد زیادی دارد. خط انتقال هم محور که ساخت آن نسبت به خط انتقال دوسیمه باز بسیار

گران تر و نیز سخت تر است کاربرد فراوانی در فرکانس پایین (در حد فرکانس رادیویی) دارد و از کاربردهای روزمره آن می توان تغذیه آنتن ها را نام برد.

عناصر موجبر مستطیلی و موجبر دایروی، به طور وسیعی در سیستم های ارتباطی مایکروویو و میلیمتریک مانند رادار با ویژگی های مهمشان مانند تلفات کم، فاکتور Q بالا و قدرت توان بالا، کاربرد دارند. اما به خاطر حجم زیاد، مشکلات ساخت خصوصا در فرکانس های بالا که طول موج بسیار کوتاه است و ساختار غیر مسطحش برای مجتمع شدن در مدارهای مجتمع میلیمتریک و مایکروویو مشکل دارد.

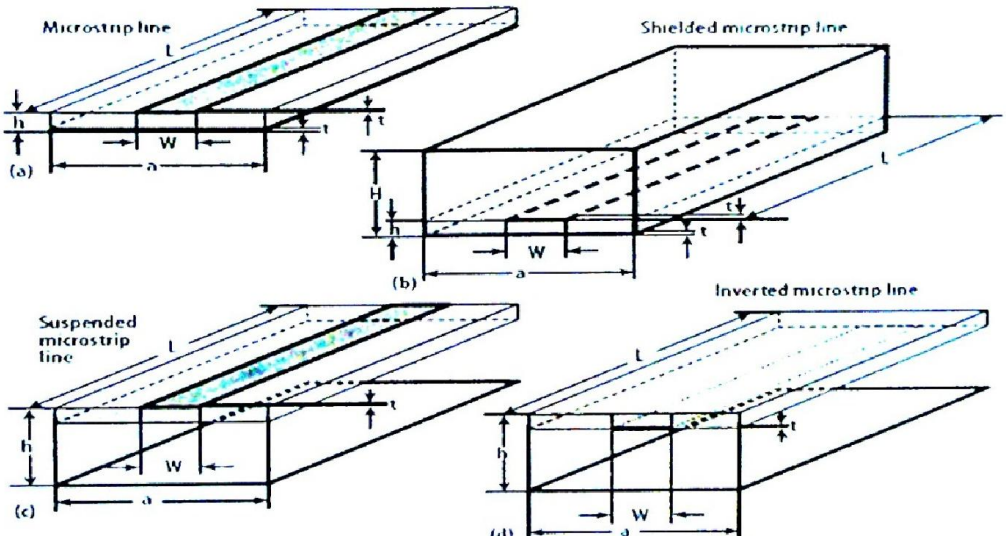
از جمله خطوط انتقالی که در فرکانس های بالای مایکروویو به راحتی قابل ساخت بوده و ارزان نیز می باشد، خطوط انتقال مسطح هستند که دارای انواع مختلفی بوده و هر یک نیز کاربردهای خاصی دارند. شکل۱-۲ انواع مختلف آن را نشان می دهد.

از بین خطوط انتقال مسطح، پرکاربردترین آن ها مایکرواستریپ یا ریز نوار می باشد. به دلیل ویژگی های خوب مثل مقطع عرضی کوچک، تلفات محدود و هزینه کم، مدارهای مایکرواستریپ در حال حاضر انتخاب اصلی برای مدارهای مجتمع مایکروویو و میلیمتری می باشد. متاسفانه مدارهای چاپی دارای مشکلاتی می باشند. یکی از ضعف های بزرگ آن عدم دستیابی به امپدانس های مشخصه بیشتر از ۱۶۰ اهم می باشد که علت آن کوچک شدن بیش از حد پهنا و عدم قابلیت ساخت است. به دلیل وجود دو نوع ماده موجود در خط انتقال مایکرواستریپ، هوا و زیرلایه دی الکتریک، تحلیل TEM خالص را نمی توان به کار برد و به دلیل مشابهت به حالت TEM خالص، تحلیل شبه TEM را در آن به کار می برند. حساسیت به

تداخل ایجاد شده از تابش سایر عناصر غیر فعال و فعال که روی زیرلایه مشترک هستند نیز از دیگر مشکلات این خط انتقال می باشد. در این پروژه از خط انتقال موجبر مجتمع شده در زیرلایه SIW استفاده شده که به طور همزمان دارای ویژگی های خوب موجبر و مایکرواستریپ می باشد.

تکنیک موجبر مجتمع شده در زیر لایه،SIW، به طور همزمان دارای بسیاری از ویژگی های خوب مدارهای چاپی و موجبر مستطیلی از قبیل هزینه کم، اندازه کوچک و تلفات انتقالی و تلفات تشعشعی خیلی کم می باشد و به تداخل های خروجی حساس نیست. بنابراین برای طراحی مدارها و عناصر مایکروویو و میلیمتریک مناسب خواهد بود.

کوپلرهای دو جهتی یا اتصالات دورگه عناصر غیر فعالی هستند که برای تقسیم یا ترکیب توان در مدارها و سیستم های مایکروویو و موج میلیمتری و تراهرتز کاربرد زیادی دارند. در کوپلر خط شاخه ای که یک کوپلر 3dB است، طول تمامی خطوط طراحی به اندازه ی $\lambda/4$ در فرکانس طراحی است. این طول باعث می شود تا پاسخ فرکانسی مطلوبی در اطراف فرکانس f_0 نداشته باشیم. به این معنا که پهنای باند کاری یک کوپلر دو رگه 90^o بسیار کم است و این مشکل در کوپلر SIW بسیار بیشتر خواهد بود.



شکل ۱-۲: چند خط انتقال مسطح a)ریز نوار b)ریز نوار شیلد شده c)ریز نوار معلق d)ریز نوار معکوس شده [۲۰].

در ادامه در فصل کوپلر خط شاخه ای، عنصر کوپلر به همراه پارامترهایش توضیح داده شده و انواع کوپلر معرفی شده است. در انتها کوپلر خط شاخه ای که مورد بحث این پایان نامه می باشد معرفی و بررسی شده است. در فصل سوم که موجبر مجتمع شده در زیرلایه نام گرفته، خط انتقال SIW به طور کامل با تمام ویژگی های آن، تشریح شده و نحوه ی مدل کردنش با موجبر مربعی بررسی شده و کوپلر خط شاخه ای SIW نشان داده شده است.

در فصل چهارم به بررسی دو روش تحلیل مداری ساختار، تحلیل زوج و فرد در حالت متقارن و تحلیل ماتریسی در حالت غیر متقارن پرداخته شده و تئوری کار به طور کامل تشریح شده است. در فصل پنجم نتایج حاصل از مدل مداری و مدل تمام موج با یکدیگر مقایسه شده اند و نمونه ی ساخته شده ارائه شده است. کدهای مربوط به مدل مداری که به روش حداقل مربعات بهینه شده اند به وسیله برنامه متلب نوشته شده و شبیه سازی های تمام موج با نرم افزار

HFSS انجام گرفته اند. در فصل پنجم برای حالت های چندبخشی، متقارن و غیر متقارن و مقدار تزویج نامساوی مثال هایی ارائه شده اند.

فصل ۲- کوپلر جهتی خط شاخه ای

۲-۱- مقدمه

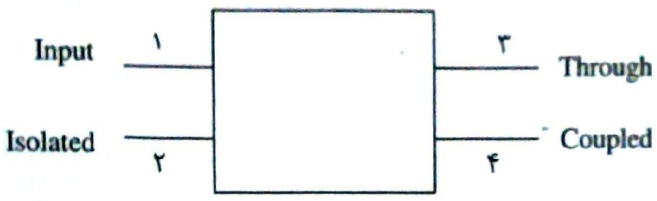
کوپلرهای جهتی[1] استفاده فراوانی در مدارات و سیستم های مایکروویو و میلیمتری دارند. برای به دست آوردن نمونه توان و جبران حرارت و کنترل دامنه و نیز برای تقسیم و ترکیب توان در محدوده فرکانس های بالا کاربرد فراوان دارند. در ترکیب کننده های متوازن و دستگاه های مایکروویو (از جمله تحلیل گر شبکه[2]) در نمونه گیری سیگنال های تابشی و بازتابی به کار می رود. کوپلرهای جهتی دارای چهار دهانه بوده و یکسان بودن مشخصات آن ها در چهار دهانه، آن ها را برای قرار دادن در یک مدار یا سیستم، ایده آل می کند.

بررسی رشد تاریخی کوپلرهای جهتی مایکروویو در مقاله ای تحت عنوان "تاریخ قطعات غیر فعال مایکروویو با تاکید بر کوپلرهای جهتی" که در سال ۱۹۸٤ انجام گرفته است.[۱] اولین کوپلر جهتی با استفاده از یک ساختار دوسیمه به طول ربع طول موج در سال ۱۹۲۲ گزارش شده است و در طی سال های ۱۹٤۰ و ۱۹۵۰ پیشرفت قابل توجهی در کوپلرهای موجبری با استفاده از شکاف هایی در دیواره مشترک انجام گرفت. کوپلر های جهتی با استفاده از خطوط TEM مسطح شبیه خطوط نواری تزویج شده[3] در نیمه هادی سال ۱۹۵۰ رشد یافت. مقالات متعددی در سال های ۱۹۵۰ تا ۱۹٦۰، تئوری، طراحی، ساخت و اندازه گیری کوپلرها را بررسی کرده اند و تاکنون

[1] Directional Couplers
[2] Network Analayzer
[3] Coupled Strip Lines

که حدود ۹۰ سال از اولین کوپلر مطرح شده می گذرد، رشد و بهینه سازی کوپلرهای جهتی متوقف نشده و مقالات اخیر در مجلات گوناگون شاهدی بر این ادعاست.

عملکرد اصلی کوپلر جهت دار را می توان با استفاده از شکل توضیح داد. توان مصرف شده در دهانه ی ۱ به دهانه ی ٤ تزویج می گردد (دهانه ی تزویج شده) و فاکتور تزویج s_{14} می باشد. در حالی که باقیمانده توان ورودی با فاکتور انتقال $|s_{13}|^2 = 1 - |s_{14}|^2$ به دهانه ی ۳ انتقال می یابد (دهانه عبوری). در یک کوپلر جهت دار ایده آل هیچ توانی به دهانه ی ۲ تحویل نمی شود (دهانه ی مجزا).



شکل ۲-۱: شکل کلی یک کوپلر چهار دهانه

ثابت تزویج = $C = 10\log\frac{P_1}{P_4}$

سمتگرایی = $D = 10\log\frac{P_4}{P_2}$

جداسازی = $I = 10\log\frac{P_1}{P_2}$

فاکتور تزویج مشخص می سازد که چه کسری از توان ورودی به دهانه ی خروجی کوپلردیده است. سمتگرایی معیاری برای ارزیابی قابلیت کوپلر در جداسازی امواج جلورونده و عقب رونده مانند ضریب جداسازی است. این کمیت ها به صورت زیر با هم در ارتباط می باشند.

$$I = D + C \qquad dB$$

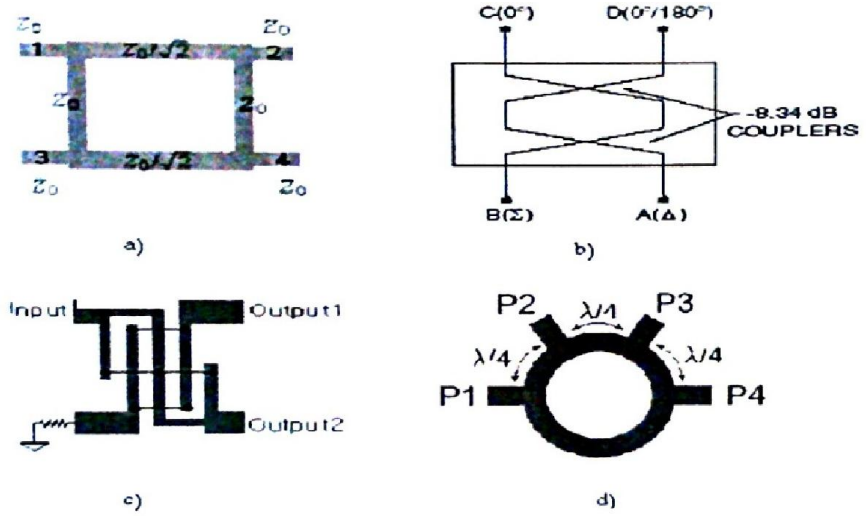
کوپلر ایده آل دارای مقادیر بی نهایت سمتگرایی و جداسازی است (s_{12}=0). کوپلر دورگه حالت خاصی از کوپلرهای جهت دار می باشد که در آن ها فاکتور تزویج مساوی 3dB- است [۲]. از آن جایی که 3dB- نشان دهنده ی نصف توان است، یک کوپلر 3dB توان را بین دهانه های خروجی مستقیم و تزویج شده به طور مساوی تقسیم می کند.

۲-۲- کوپلرهای قوی[4] و کوپلرهای ضعیف[5]

کوپلرهای قوی به آن دسته از کوپلرها گفته می شود که درصد قابل توجهی از توان ورودی در خروجی ظاهر می شود و معمولا این توان 0.5 تا 0.1 توان ورودی است که در اصطلاح به آن ها کوپلرهای 3dB تا 10dB می گویند.

از جمله کوپلرهایی که در این دسته قرار می گیرند، کوپلر خط شاخه ای[6]، کوپلر حلقوی[7]، کوپلر لانج[8] و کوپلر متوالی[9] می باشند. شکل ۲-۲ این کوپلرها را نشان می دهد.

[4] Tight Couplers
[5] Loose Couplers
[6] Branch Line Coupler
[7] Rat Race
[8] Lange Coupler
[9] Tandem



شکل۲-۲: انواع کوپلرهای مایکروویو a)کوپلر خط شاخه ای b)کوپلر متوالی c)کوپلر لانج d)کوپلر دورگه حلقوی

کوپلر های ضعیف به آن دسته از کوپلر هایی گفته می شود که مقدار توان خروجی نسبت به توان دریافتی کمتر از 0.1 است و معمولا به کوپلر های 20dB شهرت دارند که کوپلر های خطوط تزویج شده از این جمله هستند[۳].

۲-۳- کوپلر خط شاخه ای

در بین کوپلر های قوی، کوپلر جهتی خط شاخه ای کاربرد فراوانی در محدوده عملی مایکروویو دارد. شکل (۱-a۲) یک کوپلر خط شاخه را که به سادگی ساختار مشهور است، نشان می دهد. در حالت تزویج نصف توان (3dB)، دهانه ۲ و دهانه ۳ هر یک نصف توان ورودی را با اختلاف فاز ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر دارا می باشند. به همین علت گاهی به کوپلر جهتی خط شاخه ای، کوپلر دورگه ۹۰ درجه نیز می گویند.