بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق - الکترونیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق

گرایش الکترونیک

عنوان پایان نامه

طراحی، بهینه‌سازی و ساخت تقسیم کننده توان برای کاربرد درسه باندفرکانسی

استاد راهنما:

دکتر محسن حیاتی

نگارش:

سید علی ملکوتی

مهر ۱۳۹۲

سپاس گزاری

تحست خدای خود را سپاس می گویم که در غم ها و شادی ها همواره در کنار من بوده است و از فیض نعمت و رحمتش برخوردار بوده ام.

سپاس خالصانه ی خود را به همه ی آنان که در مراحل مختلف زندگی مرا یاری کرده و مهربانی و لطف و تلاش خود را در جهت رشد و تربیت و سعادت من صرف نموده اند، تقدیم می کنم.

از زحمات و راهنمایی های استاد فرزانه و دانشمند، آقای دکتر محسن حیاتی که در کلیه ی مراحل تحصیل و انجام این پایان نامه پشتیبان اینجانب بوده اند، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

در این پایان نامه، نوع جدیدی از تقسیم کننده توان Gysel که سه باند عبور فرکانسی دارد مطرح می‌شود. یک مبدل سه بانده و زوج‌هایی که با هم تشدید می‌کنند در مدار مرسوم استفاده گشته تا خصوصیت عبور سه باند فرکانسی برآورده شود. معادلات دقیق این ساختار از تحلیل حالت زوج و فرد بدست آمده است. برای نشان دادن صحت معادلات و طراحی، دو مدار با سه باند عبور مختلف که اولی دارای فرکانس‌های عبور ۱ و ۲/۱ و ۲/۴ گیگاهرتز و دومی دارای فرکانس‌های عبور ۱ و ۲/۶ و ۲/۸ گیگاهرتز است ساخته می‌شود. مشاهده می‌گردد که تطابق خوبی بین نتایج ساخت و شبیه سازی وجود دارد. دیده می‌شود که علاوه بر تلفات بازگشتی، تلفات انتقال و ایزولاسیون خوب مدار مطرح شده دارای برتری قابلیت عبور توان‌های بالا نسبت به مدار Wilkinson است.

کلمات کلیدی:

تکنولوژی مایکرواستریپ

تقسیم کننده توان Gysel

سه باند فرکانسی

قابلیت عبور توان بالا

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- امواج مایکروویو ۲

۱-۲- تکنولوژی مایکرو استریپ ۳

۱-۳- آشنایی با تقسیم کننده‌های توان ۳

فصل دوم:شبکه‌هایسه پورتی و انواع تقسیم کننده‌های توان

۲-۱- ساختار شبکه‌های سه پورتی ۷

۲-۲- انواع تقسیم کننده‌های توان ۱۰

۲-۲-۱- تقسیم کننده اتصال ۱۰

۲-۲-۲- تقسیم کننده مقاومتی ۱۱

۲-۲-۳-تقسیم کننده توان Wilkinson ۱۳

۲-۲-۳-۱-تحلیل حالت زوج و فرد برای تقسیم کننده توان Wilkinson ۱۴

۲-۲-۳-۲- تقسیمکننده توان Wilkinson با تقسیم توان نابرابر ۱۹

۲-۲-۳-۳- تقسیم کننده توان Wilkinson با N مسیر مختلف ۲۱

۲-۲-۴- تقسیم کننده توان Gysel ۲۲

۲-۲-۴-۱-تحلیل حالت زوج و فرد برای تقسیم کننده توان Gysel ۲۳

۲-۲-۴-۲- تقسیمکننده توان Gysel با تقسیم توان نابرابر ۲۶

۲-۳-مقایسه دو نوع تقسیم کننده توان Wilkinson و Gysel ۲۸

فصل سوم: تکنولوژی مایکرواستریپ

۳-۱- معرفی یک ساختار مایکرواستریپی ۳۰

۳-۲- ضریب دیالکتریکی مؤثر و امپدانس مشخصه.....۳۲
۳-۳- طول موج هدایت شده، ثابت انتقال، سرعت فاز و طول الکتریکی.....۳۶
۳-۴- تلفات مایکرواستریپ ۳۶

فصل چهارم: مروری بر کارهای پیشین

۴-۱- تقسیم کنندههای توان Gysel برای کار در دو باند فرکانسی ۳۹
۴-۲- تقسیم کنندههای توان Gysel با تقسیم توان نابرابر ۵۲
۴-۳- تقسیم کنندههای توان Gysel با پهنای باند بهبود یافته ۶۹
۴-۴- تقسیم کنندههای توان دارای سه باند عبور فرکانسی.....۷۴

فصل پنجم: طراحی و ساخت تقسیم کننده توان Gysel برای کاربرد در سه باند فرکانسی

۵-۱- طراحی و تحلیل تقسیم کننده توان Gyselدو بانده ۸۱
۵-۲- طراحی و تحلیل مبدل سه بانده ۸۳
۵-۳ -طراحی تقسیم کننده توان Gysel سه بانده.....۸۷
۵-۳-۱- تحلیل حالت فرد ۸۸
۵-۳-۲- تحلیل حالت زوج..... ۸۸
۵-۳-۳-اثبات روابط برای پارامترهای مجهول..... ۸۹
۵-۴- محدودیتها و انتخاب نسبت فرکانسی ۹۰
۵-۵-نتایج شبیه سازی ۱۰۰
۵-۶-نتایج عملی.....۱۰۱
۵-۷- نتیجه گیری ۱۰۷

فصل ششم: کارهای آینده

منابع ۱۱۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱ امواج مایکروویو[1]

این امواج مانند نور مرئی از جنس امواج الکترومغناطیسی[2] هستند که فرکانس بسیار بالا و طول موج[3] بسیار کمی دارند. این امواج معمولاً برای ارتباطات ماهواره‌ای، تلفن همراه، رادار، کمک به راه‌یابی در آسمان و دریا به کار می‌روندواز کاربردهای دیگر آن می‌توان به وسیله‌ای برای گرم کردن در صنایع و درمان حرارتی در دیاترمی اشاره کرد. امواج مایکروویو به فرکانس‌های تا ۳۰۰ گیگاهرتز[4] اطلاق می‌گردد.

توجه روز افزون به این امواج بنا به مجموعه‌ای از عوامل و دلایل رو به فزونی نهاده است که از آن جمله فضای طیفی بیشتری است که در فرکانس‌های رادیویی[5]، امکان اختصاص تعداد کمتری کاربر به هر فرکانس را فراهم می‌آورد.

اما در فرکانس‌های بالای مایکروویو، مشکلات و محدودیت‌هایی رخ می‌دهد که مهم‌ترینآن‌ها ناکارآمد بودن عناصر فشرده‌ی مداری است. خاصیت عمده عناصر فشرده، کوچکی اندازه‌ی آن‌ها در مقایسه با طول موجی که با فرکانس طبیعی کار آن‌ها متناظر است، می‌باشد [۱].

قوانین کیرشهف[6] تنها برای مدارات فشرده صادق می‌باشند و برای یک مدار مایکروویو که در آن طول موج مقداری بین ۱۰ سانتی متر و یک میلی متر است، ما با حفره‌های تشدید کننده[7]، رو برو خواهیم بود و معادلات کیرشهف برای این تشدید کننده‌ها صدق نمی‌کنند، زیرا آن‌ها در فرکانس‌هایی که طول موج آن‌ها در حدود اندازه‌ی ابعاد حفره‌هامی‌باشند کار می‌کنند [۱].

از دیگر چالش‌های موجود در فرکانس‌های بالا محدودیت ابزار و وسایل اندازه گیری است که در مقایسه با ابزارهای رایجی که پیرامون مدارات فشرده موجود می‌باشد، ناچیز و گران‌قیمت می‌باشند.

---

[1] Microwave
[2] Electromagnetic Waves
[3] Wave Lenght
[4] Giga Hertz
[5] Radio Frequency
[6] Kirchhoff Law
[7] Resonator

۱-۲ تکنولوژی مایکرو استریپ[1]

پیشرفت ادوات و سیستم‌های مایکروویو حالت جامد به کاربرد وسیع شکل خاصی از خطوط صفحه‌ای موازی به نام خطوط مایکرواستریپ منتهی شده است [۲]. این نوارهای فلزی که معمولاً در فرکانس‌های پایین، به صورت اتصال کوتاه عمل می‌کنند، در فرکانس‌های بالا رفتارهای خازنی و سلفی از خود نشان می‌دهند[۳] که با طراحی هوشمندانه و هدفمند می‌توان آن‌ها را به جای سلف‌ها و خازن‌های فشرده به کار برد.

درباره‌ی مشخصات و جزییات ساختارهای مایکرواستریپ در فصل ۳ به تفصیل بیشتری صحبت خواهیم کرد.

خطوط مایکرواستریپ، کاندیدای مناسبی برای طراحی فیلترهای مایکروویو[2]، تقسیم کننده‌های توان، کوپلرها می‌باشند. از مواردی که فیلترهای مایکرواستریپ را برجسته می‌سازد می‌توان به: کم هزینه بودن، فشرده بودن از لحاظ اندازه، سبک وزن بودن، ساخت آسان و قابلیت مجتمع شدن با عناصر دیگر مدارات مایکروویو بر روی یک برد مداری را، اشاره کرد[۴].

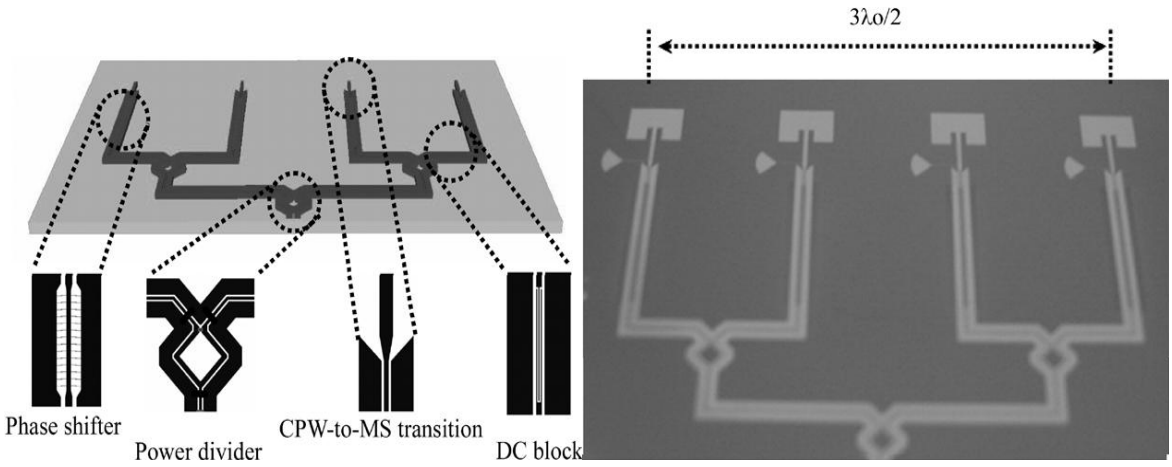
از دیگر کاربردهای خطوط مایکرواستریپ می‌توان به ساخت انواع آنتن‌ها، موج برها، نوسانگرها و تقسیم‌کننده‌های توان مایکروویو نام برد.

۱-۳ آشنایی با تقسیم کننده‌های توان

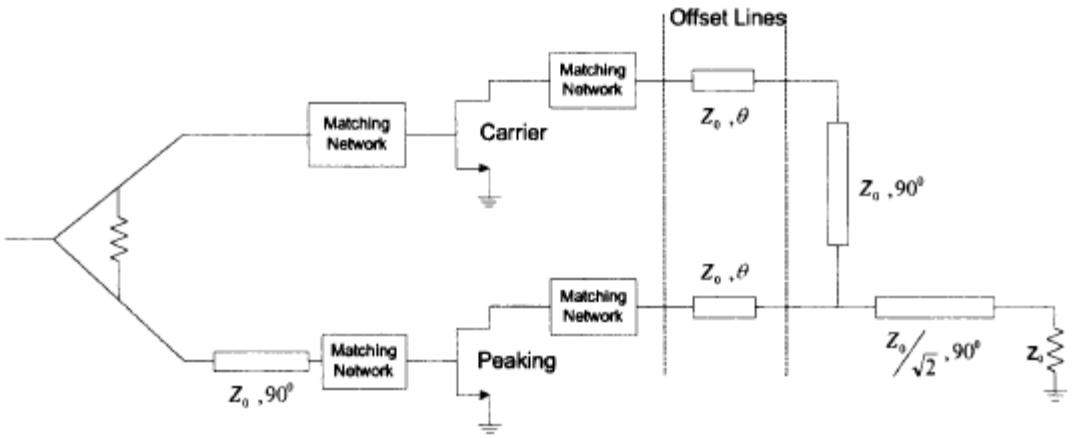
تقسیم کننده‌های توانعناصرسه پورتی مهمی برای کار در ادوات مایکروویو وسیستم آنتن هستند که همان‌طور که از نام آن‌ها مشخص است هنگامی که پورت ورودی آن‌ها تحریک شود وظیفه تقسیم توان را بر عهده دارند و در جهت برعکس وظیفه ترکیب توان. بسیاری از انواع تقسیم کننده/ترکیب کننده‌های توان در سال ۱۹۴۰ در آزمایشگاه تشعشعات MIT ابداع شد که شامل موجبرهایE-plane و H-planeو اتصال T-junction بودند که با ابداع خطوط StriplineوMicrostrip این خطوط انتقال به دلیل خاصیت ارزان بودن و ساختار سطحی[3] در طراحی مجدد تقسیم کننده‌های توان مورد استفاده قرار گرفتند.

[1] Microstrip
[2] Microwave Filters
[3] Planar

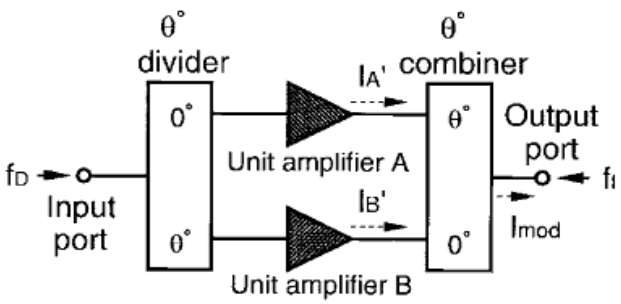
تقسیم کننده‌های توان به طور عمده در شبکه تغذیه آرایه آنتن [۵]، تقویت کننده‌های توان [۶]و میکسرها[۷]کاربرد دارند.



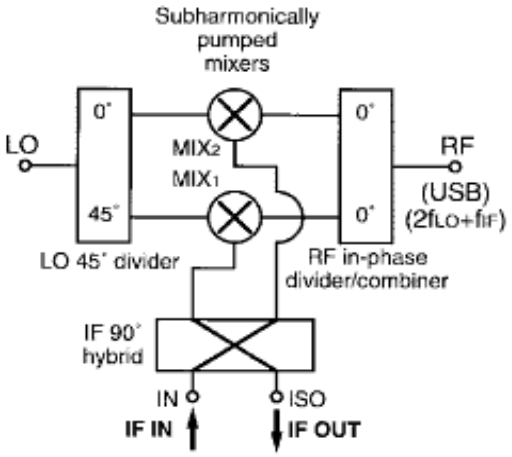
شکل ۱-۱: آنتن آرایه فاز با ٤ المان شامل سه تقسیم کننده توان [۵].



شکل ۱-۲: تقویت کننده توان دوهتری با استفاده از تقسیم کننده توان در ورودی [٦].



شکل ۱-۳: تقویت کننده توان موازی با استفاده از تقسیم کننده (ترکیب کننده) توان [۷].



شکل ۱-٤: دیاگرام میکسر SHP، با استفاده از تقسیم کننده (ترکیب کننده) توان [۷].

شکل ۱-۱ تا ۱-۴ انواع سیستم‌هایی که از تقسیم‌کننده (ترکیب‌کننده) توان استفاده می‌کنند را نشان می-دهند.در بین انواع تقسیم کننده‌های توان، دو نوع Wilkinson و Gysel به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد، مورد توجه محققین هستند.

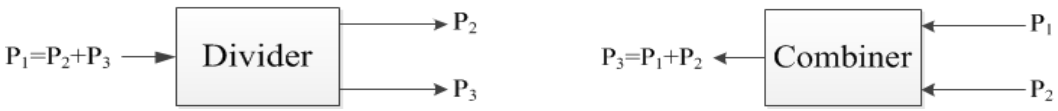
فصل دوم:

شبکه‌های سه پورتی و انواع تقسیم کننده‌های توان

در این فصل می‌کوشیم که اصول کلی شبکه‌های سه پورتی را بررسی کنیم و تقسیم کننده‌های توان را به عنوان زیر مجموعه‌ای از آن مورد بررسی قرار دهیم. تقسیم کننده‌های توان دارای اشکال مختلفی هستند که بر اساس چند ساختار پایه بر مبنای خطوط ریز نوار پیاده سازی می‌شوند. در این فصل توصیف عمومی یک شبکه‌ی سه پورتی را معرفی نموده و سپس با تعریف پارامترهای مختلف آن، ساختار تقسیم کننده‌های توان را به عنوان جزء مهمی در مدارات مایکروویو مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲-۱ ساختار شبکه‌های سه پورتی

این نوع مدارات دارای ساختاری به شکل ۲-۱می‌باشند



شکل ۲-۱: نمای کلی یک شبکه‌یسه پورتی

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود ساختار این مدارات به شکل ترکیب کننده و یا تقسیم کننده توان است.ماتریس پراکندگی این مدارات سه پورتی به شکل زیر است.

$$S=\begin{pmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{12} & 0 & S_{23} \\ S_{13} & S_{23} & 0 \end{pmatrix} \qquad (۱-۲)$$

اگر مواد مورد استفاده در ساختار این شبکه‌ها غیر فعال[11] باشند و شامل هیچ ماده ناهمسانگردی[12] نباشند آنگاه ماتریس پراکندگی متقارن خواهد بود ($S_{ij}=S_{ji}$) و شبکه سه پورتی در اصطلاح هم پاسخ[13] است. اگر شبکه سه پورتی دارای خاصیت تطبیق در تمامی پورت‌ها باشد ($S_{ii}=0$) و دارای خاصیت هم‌پاسخ بودن باشد می‌خواهیم ببینیم که آیا این شبکه قادر خواهد بود که اتلاف توان، نداشته باشد یا خیر؟

[11] Passive
[12] Anisotropic
[13] Reciprocal

برای بررسی این موضوع، نیازمند این هستیم که ماتریس پراکندگی را بررسی کنیم و ببینیم که آیا دارای خاصیت یکتایی[14] هست یا نه؟ خاصیت یکتایی باید فرمول ۲-۲ را برآورده سازد.

$$\sum_{k=1}^{N} S_{ki}\, S_{ki}^{*} = 1, \quad \sum_{k=1}^{N} S_{ki}\, S_{kj}^{*} = 0 \qquad (۲-۲)$$

بنابراین داریم:

$$|S_{13}|^2 + |S_{12}|^2 = 1\,,\ |S_{12}|^2 + |S_{23}|^2 = 1\,,\ |S_{13}|^2 + |S_{23}|^2 = 1 \qquad (۲-۳)$$

$$S_{12}^{*} S_{13} = 0\,,\ S_{23}^{*} S_{12} = 0\,,\ S_{13}^{*} S_{23} = 0 \qquad (۲-۴)$$

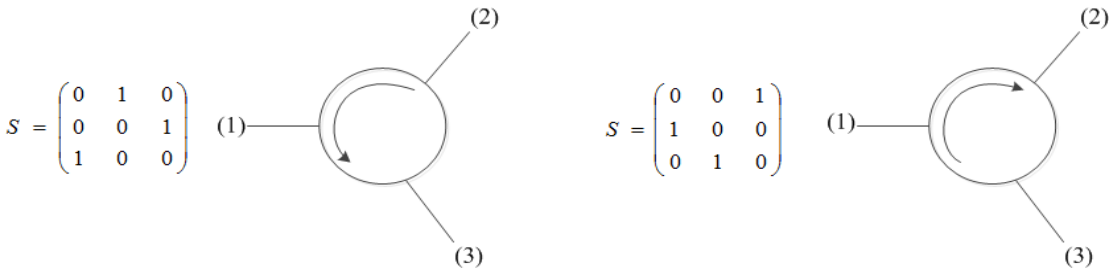
بر اساس رابطه ۲-۴ حداقل دو پارامتر از سه پارامتر S_{12}, S_{13}, S_{23} باید صفر باشند که با رابطه ۲-۳ در تناقض است بنابراین به این نتیجه می‌رسیم که یک شبکه سه پورتی نمی‌تواند به طور همزمان تطبیق شده، هم پاسخ و بی اتلاف باشد.بنابراین یک شبکه با سه پورت می‌تواند دارای سه حالت مختلف زیر باشد:

۱) شبکه سه پورتی با تطبیق امپدانس در تمامی پورت‌ها، بدون اتلاف و غیر هم پاسخ.

۲) شبکه سه پورتی بدون اتلاف، هم پاسخ و تطبیق نشده در یک یا چند پورت.

۳) شبکه سه پورتی با تطبیق امپدانس در تمام پورت‌ها، هم پاسخ ودارای تلفات.

در توضیح حالت ۱می‌توان از چرخاننده[15] به عنوان مثال اسم برد. شکل ۲-۲ چرخاننده را با دو جهت متفاوت شارش توان مشخص می کند.



شکل ۲-۲:نمای چرخاننده با دو جهت شارش توان مختلف و ماتریس پراکندگی متناظر

[14] Unitary
[15] Circulator

اساس کار یک چرخاننده به این صورت است که در ساختار آن از مواد ناهمسانگرد استفاده می‌شود و بنابراین در این حالت شبکه، هم پاسخ نیست (یعنی$S_{ji}S_{ij}\neq$). اگر دو شرط تطبیق و بی اتلاف بودن برقرار باشد ماتریس S به صورت زیر است.

$$S=\begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & 0 & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & 0 \end{bmatrix} \qquad (۵-۲)$$

$$S_{21}^{*}S_{23}=0, S_{12}^{*}S_{13}=0, S_{31}^{*}S_{32}=0 \qquad (۶-۲)$$

$$|S_{13}|^2+|S_{12}|^2=1\,,\ |S_{21}|^2+|S_{23}|^2=1\,,\ |S_{31}|^2+|S_{32}|^2=1 \qquad (۷-۲)$$

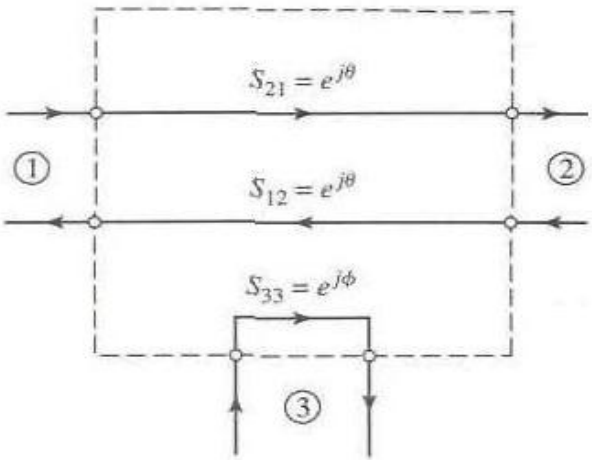
بنابراین یکی از این دو حالت، می‌تواند رخ دهد:

$$S_{12}=S_{23}=S_{31}=0, |S_{21}|=|S_{32}|=|S_{13}|=1 \qquad (۸-۲\text{-الف})$$

و یا

$$S_{21}=S_{32}=S_{13}=0, |S_{12}|=|S_{23}|=|S_{31}|=1 \qquad (۸-۲\text{-ب})$$

شمای کلی مدارات حالت ۲ مشابه با شکل ۲-۳ می‌باشد.



شکل ۲-۳: نمونه یک شبکه سه پورتی بدون اتلاف و هم پاسخ و عدم تطبیق در یکی از پورت‌های آن

ماتریس پراکندگی آن به شکل زیر است.

$$[S]=\begin{bmatrix} 0 & e^{j\theta} & 0 \\ e^{j\theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\varphi} \end{bmatrix} \qquad (۹-۲)$$

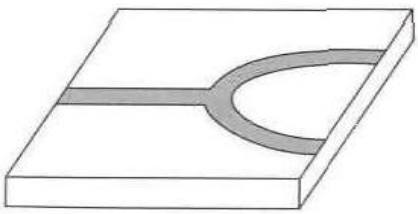
با توجه به خاصیت یکتایی ماتریس، می‌بینیم که شبکه شکل ۲-۳ بدون اتلاف است.

درنهایت، حالت ۳ اساس تقسیم کننده‌های مقاومتی و تقسیم کننده‌های توانی همچون Wilkinson و Gysel را تشکیل می‌دهد که در ادامه مورد بحث قرار خواهند گرفت.

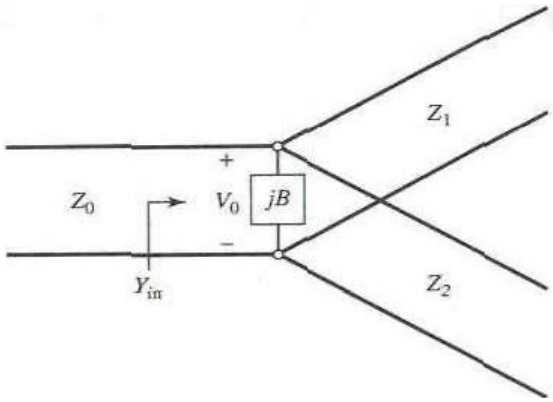
۲-۲ انواع تقسیم کننده‌های توان

۲-۲-۱ تقسیم کننده اتصال T[۱۶]

این نوع تقسیم کننده در رده شبکه‌های سه پورتی بدون اتلاف و هم پاسخ قرار می‌گیرد که در تمامی پورت‌ها تطبیق شده نیست و دارای ساختاری به شکل ۲-۴ است.



شکل ۲-٤-الف: ساختار تقسیم کننده اتصال T



شکل ۲-٤-ب: مدل خط انتقال اتصال T

[16] T junction

شکل ۲-۴ -الف می‌تواند با شکل خط انتقال ۲-۴-ب مدل شود. عموماً میدان‌هایحاشیه‌ای[۱۷] و آثار مرتبه بالا باعث ذخیره انرژی‌ایمی‌شود که می‌توانآن‌را با یک ساسپتانس معادل کرد. برای تطبیق پورت ورودی با امپدانس مشخصه Z_0باید رابطه زیر را داشته باشیم.

$$Y_{in}=jB+\frac{1}{Z_1}+\frac{1}{Z_2}=\frac{1}{Z_0} \qquad (۱۰-۲)$$

اگر خطوط انتقال بدون اتلاف باشند در این صورت امپدانس‌ها حقیقی هستند و همچنین اگر مقدار $B=0$ شود آنگاه داریم:

$$\frac{1}{Z_1}+\frac{1}{Z_2}=\frac{1}{Z_0} \qquad (۱۱-۲)$$

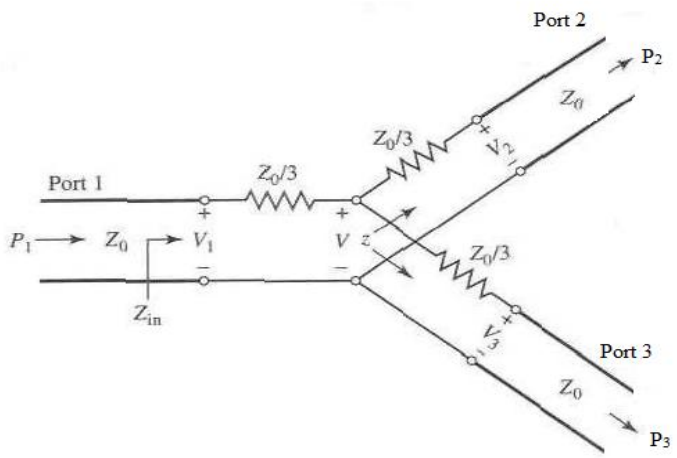
در عمل اگر نتوانیم از ساسپتانس B صرف نظر کنیم، تعدادی المان عکس‌العملی[۱۸]می‌توان اضافه کرد تا اثر این ساسپتانس را بر طرف کرد.

امپدانس‌های خروجی Z_1 و Z_2، تعیین کننده میزان تقسیم توان در خروجی هستند. بنابراین برای یک خط ۵۰ اهمی شرط تطبیق در پورت ورودی این است که دو امپدانس دیگر برابر با ۱۰۰ اهم باشند.

۲-۲-۲ تقسیم کننده مقاومتی

اگر یک تقسیم کننده توان شامل عناصر با اتلاف توان باشد. می‌تواند به گونه‌ای ساخته شود که در تمامی پورت‌ها تطبیق شده باشد. اگر چه دو پورت خروجی آن تفکیک شده از یکدیگر[۱۹] نیستند. شکل مداری این تقسیم کننده، که در آن از مقاومت‌های فشرده[۲۰] استفاده شده به شکل ۲-۵ می‌باشد.

[17] Fringing
[18] Reactive elements
[19] Isolated
[20] Lumped resistors



شکل ۲-۵: تقسیم کننده توان مقاومتی با تقسیم توان برابر

این مدار به راحتی با اعمال تئوری مداری قابل تحلیل است. فرض کنید که تمامی پورت‌ها متصل به امپدانس مشخصه Z_0 است. امپدانس Z، دیده شده از سر $Z_0/3$ و پورت خروجی برابر است با

$$Z=Z_0/3+Z_0=4Z_0/3 \qquad (۱۲-۲)$$

سپس امپدانس ورودی برابرست با

$$Z_{in}=Z_0/3+2Z_0/3=Z_0 \qquad (۱۳-۲)$$

که نشان دهنده تطبیق امپدانس در پورت ورودی است. چون که شبکه در هر سه پورت خود متقارن است بنابراین تمامی پورت‌ها تطبیق شده می‌باشند. بنابراین، $S_{11}=S_{22}=S_{33}=0$. اگر ولتاژ پورت ۱ برابر با V_1باشد آنگاه با تقسیم ولتاژ در مرکز اتصال داریم:

$$V=V_1\frac{2Z_0/3}{Z_0/3+2Z_0/3}=\frac{2}{3}V_1 \qquad (۱۴-۲)$$

و ولتاژ خروجی نیز با استفاده از تقسیم ولتاژ برابر خواهد بود با:

$$V_2=V_3=V\frac{Z_0}{Z_0+Z_0/3}=\frac{3}{4}V=\frac{2}{3}V_1 \qquad (۱۵-۲)$$

بنابراین، $S_{21}=S_{31}=S_{23}=1/2$، که به مقدار 6 dB-پایین‌تر از توان ورودی است. شبکه هم پاسخ است بنابراین ماتریس پراکندگی متقارن است و می‌تواند به شکل زیر نوشته شود.

$$[S]=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}0 & 1 & 1\\ 1 & 0 & 1\\ 1 & 1 & 0\end{bmatrix} \qquad (۱۶-۲)$$

توان ورودی برابر است با:

$$P_{in}=\frac{1}{2}\frac{V_1^2}{Z_0} \qquad (۱۷-۲)$$

که توان در خروجی‌ها برابر می‌شود با

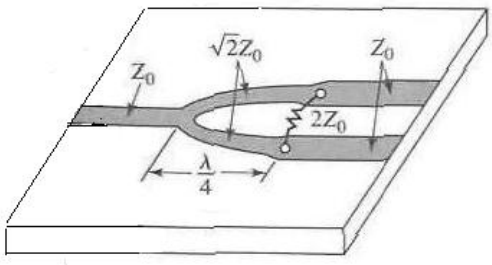
$$P_2=P_3=\frac{1}{2}\frac{(1/2V_1)^2}{Z_0}=\frac{1}{8}\frac{V_1^2}{Z_0}=\frac{1}{4}P_{in} \qquad (۱۸-۲)$$

این امر نشان می‌دهد که نصف توان ورودی در مقاومت‌ها تلف می‌شود.

۲-۲-۳-تقسیم کننده توان Wilkinson

تقسیم کننده بدون اتلاف اتصال T، دارای مشکل عدم تطبیق در پورت‌های خروجی خود است علاوه بر این موضوع هیچ جداسازی‌ای بین دو پورت خروجی وجود ندارد. تقسیم کننده توان مقاومتی می‌تواند در تمام پورت‌های خود تطبیق شده باشد اما دارای اتلاف توان است وهمچنین بین دو پورت خروجی آن، هیچ تفکیکی وجود ندارد.همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد یک شبکه با سه پورت می‌تواند دارای اتلاف و تطبیق شده در تمام پورت‌ها و هم پاسخ باشد. تقسیم کننده توان Wilkinson[۸]نمونه‌ای از این نوع شبکه‌هاست که از خاصیت وجود تلفات در آن به گونه‌ای بهینه استفاده کرده است و تنها توان انعکاسی در مقاومت تلف می‌شود.

تقسیم کننده توان Wilkinsonمی‌تواند به گونه‌ای ساخته شود که تقسیم توان دلخواهی را تولید کند. ما در ابتدا حالت تقسیم برابر را در نظر می‌گیریم. این نوع تقسیم کننده توان می‌تواند توسط خطوط میکرواستریپ یا استریپ لاین ساخته شود که ساختار آن در شکل ۲-۶-الف به صورت میکرواستریپی و در شکل ۲-۶-ب به صورت مدار خط انتقال متناظر با آن نشان داده شده است.



شکل ۲-۶-الف: تقسیم کننده توان Wilkinson با استفاده از خطوط میکرواستریپ