



عنوان:

طراحی تقسیم کننده‌ی توان RF با نسبت تقسیم توان نابرابر برای کاربردهای چند فرکانسی

Design of RF power divider with arbitrary power division ratio
for multi-frequency applications

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک

استاد راهنما :

دکتر حسین میار نعیمی

استاد مشاور:

دکتر بیژن ذاکری

نگارش :

سینا داراب ملک آبادی

پاییز

فهرست

فهرست شکل‌ها

فهرست جداول

فصل اول مقدمه ای بر تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون و کاربردهای آن..... ۱

۱-۱) مقدمه..... ۲

۱-۲) مقدمه‌ای بر خط انتقال..... ۶

۱-۲-۱) خط انتقال ختم شده و روابط حاکم بر آن..... ۶

۱-۲-۲) خط انتقال ریزوارک..... ۸

۱-۲-۳) ظرفیت توان خط انتقال..... ۹

۱-۳) تقسیم‌کننده توان اتصال T..... ۱۰

۱-۳-۱) تقسیم‌کننده بدون تلفات..... ۱۰

۱-۳-۲) تقسیم‌کننده مقاومتی..... ۱۱

۱-۴) تقسیم‌کننده توان ویلکینسون..... ۱۲

۱-۴-۱) تقسیم‌کننده توان ویلکینسون برابر..... ۱۳

۱-۴-۲) تقسیم‌کننده توان ویلکینسون نابرابر..... ۱۶

۱-۵) ارزیابی تقسیم‌کننده‌ها بر اساس تعداد باندهای فرکانسی..... ۲۰

فصل دوم مروری بر تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون ارائه شده..... ۲۲

۱-۲) مقدمه..... ۲۳

۱-۲-۲) مروری بر چگونگی طراحی تقسیم‌کننده‌ها..... ۲۴

۲۴	..... مقدمه‌ای بر ماتریس انتقال (ABCD)
۳۰	..... مقدمه‌ای بر مدارات تطبیق
۳۲	..... (۱-۲-۲-۲) تطبیق با عناصر فشرده
۳۳	..... (۲-۲-۲-۲) مدار تطبیق تک استاب
۳۵	..... (۳-۲-۲-۲) مدار تطبیق دو استاب
۳۶	..... (۴-۲-۲-۲) مبدل ربع طول موج تک بخشی
۳۷	..... (۵-۲-۲-۲) مبدل چند بخشی
۳۹	..... (۶-۲-۲-۲) مبدل تطبیق دهنده چندبخشی دو جمله‌ای
۴۱	..... (۷-۲-۲-۲) مبدل تطبیق دهنده چندبخشی چپی شف
۴۳	..... (۳-۲) تحقیقات صورت گرفته در خصوص WPD ها
۴۳	..... (۱-۳-۲) تقسیم کننده‌های توان ویلکینسون برابر
۵۰	..... (۲-۳-۲) تقسیم کننده‌های توان ویلکینسون نابرابر
۵۶	..... فصل سوم طراحی مدار تطبیق ۳ بانده
۵۷	..... (۱-۳) مقدمه
۵۷	..... (۲-۳) رویکرد کلی
۵۸	..... (۳-۳) طراحی مدار تطبیق n فرکانسی
۶۶	..... فصل چهارم پیاده سازی و تحلیل نتایج تقسیم کننده پیشنهادی
۶۷	..... (۱-۴) مقدمه
۶۸	..... (۲-۴) تقسیم کننده توان ویلکینسون نابرابر ۳ بانده با باندهای فرکانسی مستقل

۳-۴) تقسیم‌کننده توان و یلکینسون نابرابر ۳ بانده با باندهای فرکانسی وابسته..... ۷۵

فصل پنجم بحث، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات..... ۸۳

۱-۵) بحث و نتیجه‌گیری..... ۸۴

۲-۵) پیشنهادی برای آینده..... ۸۵

پیوست..... ۸۶

مراجع..... ۸۹

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱). کاربرد تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون در سیستم موبایل 3G..... ۳
- شکل (۲-۱). قرارگیری تقسیم‌کننده توان ویلکینسون در یک سیستم آرایه فازی و شبکه Beam-forming..... ۴
- شکل (۳-۱). خط انتقال ختم شده به بار..... ۶
- شکل (۴-۱). خط انتقال ریزنوارک..... ۸
- شکل (۵-۱) مدل خط انتقال یک اتصال T..... ۱۱
- شکل (۶-۱) یک تقسیم‌کننده توان مقاومتی سه دهانه با تقسیم برابر..... ۱۲
- شکل (۷-۱). تقسیم‌کننده‌ی توان عمومی ویلکینسون..... ۱۳
- شکل (۸-۱). مدار معادل مد زوج..... ۱۴
- شکل (۹-۱). مدار معادل مد فرد..... ۱۴
- شکل (۱۰-۱). ضریب انعکاس در یک خط انتقال..... ۱۵
- شکل (۱۱-۱). پاسخ فرکانسی تقسیم‌کننده‌ی توان عمومی ویلکینسون برابر..... ۱۶
- شکل (۱۲-۱). تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون نابرابر عمومی..... ۱۶
- شکل (۱۳-۱). مدار معادل مد زوج..... ۱۷
- شکل (۱۴-۱). مدار معادل مد فرد..... ۱۹
- شکل (۱-۲). شبکه دو قطبی..... ۲۵

- شکل (۲-۲). مدار معادل برای محاسبه درایه A..... ۲۶
- شکل (۳-۲). مدار معادل برای محاسبه درایه B..... ۲۷
- شکل (۴-۲). مدار معادل برای محاسبه درایه C..... ۲۸
- شکل (۵-۲). مدار معادل برای محاسبه درایه D..... ۲۹
- شکل (۶-۲). شبکه تطبیق میان امپدانس بار و خط انتقال..... ۳۱
- شکل (۷-۲). شبکه‌های تطبیق بخش L..... ۳۲
- شکل (۸-۲). مدارات تنظیم تک استاب..... ۳۴
- شکل (۹-۲). مدارات تطبیق دو استاب..... ۳۵
- شکل (۱۰-۲). مبدل تطبیق‌دهنده تک بخشی..... ۳۶
- شکل (۱۱-۲). نمودار ضریب انعکاس مبدل ربع طول موج تک بخشی بر حسب طول الکتریکی..... ۳۷
- شکل (۱۲-۲). مبدل چندبخشی..... ۳۸
- شکل (۱۳-۲). نمودار دامنه ضریب انعکاس مبدل تطبیق‌دهنده چندبخشی دو جمله‌ای بر حسب فرکانس..... ۴۱
- شکل (۱۴-۲). تغییرات دامنه ضریب انعکاس مبدل چبی شف بر حسب فرکانس..... ۴۲
- شکل (۱۵-۲). ساختار T شکل توسعه یافته..... ۴۴
- شکل (۱۶-۲). نمودار مربوط به پارامترهای پراکندگی ساختار..... ۴۵
- شکل (۱۷-۲). شبکه انشعاب ۳ پورتی..... ۴۶
- شکل (۱۸-۲). ساختار پیشنهادی تقسیم کننده‌ی توان سه بانده..... ۴۷
- شکل (۱۹-۲). ادمیتانس معادل تقسیم کننده‌ی عمومی..... ۴۸
- شکل (۲۰-۲). نمودار پارامترهای پراکندگی ساختار پیشنهادی..... ۵۰

- شکل (۲-۲۱). انتقال دهنده دو بخشی..... ۵۱
- شکل (۲-۲۲). نمودار S_{11} تطبیق دهنده دو بخشی به ازای نسبت فرکانسی مختلف..... ۵۲
- شکل (۲-۲۳). خط انتقال با و بدون بار..... ۵۲
- شکل (۲-۲۴). ساختار یک تقسیم کننده ی توان نابرابر..... ۵۳
- شکل (۲-۲۵). ساختار پیشنهادی برای تقسیم کننده توان نابرابر با نسبت تقسیم بزرگ..... ۵۴
- شکل (۲-۲۶). نمودار پارامترهای پراکندگی ساختار ارائه شده..... ۵۵
- شکل (۳-۱). نحوه قرار گیری شبکه تطبیق در یک ساختار..... ۵۸
- شکل (۳-۲). خط انتقال ختم شده به بار..... ۵۹
- شکل (۳-۳). انتقال دهنده ی دو فرکانسی دو بخشی در فرکانس های f_1, f_2 ۶۰
- شکل (۳-۴). مدار تطبیق جدید..... ۶۱
- شکل (۳-۵). مدار انتقال دهنده ۳ فرکانسی در فرکانس f_3 ۶۱
- شکل (۳-۶). مدار تطبیق ۳ فرکانسی..... ۶۴
- شکل (۳-۷). مدار تطبیق ۳ فرکانسی پیشنهادی..... ۶۵
- شکل (۴-۱). تقسیم کننده ی توان ویلکینسون نابرابر عمومی بر حسب ادمیتانس..... ۶۸
- شکل (۴-۲). تقسیم کننده توان ویلکینسون نابرابر پیشنهادی..... ۶۹
- شکل (۴-۳). نمودار پارامترهای پراکندگی ساختار پیشنهادی در حالت اول..... ۷۲
- شکل (۴-۴). نمودار پارامترهای پراکندگی ساختار پیشنهادی در حالت دوم..... ۷۴
- شکل (۴-۵). ساختار T شکل توسعه یافته..... ۷۵
- شکل (۴-۶). ساختار پیشنهادی تقسیم کننده ی توان ویلکینسون نابرابر ۳ بانده..... ۷۷

شکل (۴-۷). نمودار امپدانس خطوط ساختار T شکل براساس f_2 / f_2 ۷۹

شکل (۴-۸). نمودار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تقسیم‌کننده‌ی پیشنهادی ۸۰

شکل (۴-۹). تقسیم‌کننده توان ویلکینسون ساخته شده ۸۱

فهرست جداول

جدول (۴-۱). مقادیر امپدانس مشخصه‌های تقسیم‌کننده توان ویلکینسون نابرابر عمومی با نسبت تقسیم ۱:۳ ۷۶

جدول (۴-۲). مقادیر امپدانس مشخصه‌های تقسیم‌کننده‌ی نابرابر پیشنهادی ۷۸

چکیده

امروزه عملکرد چند استاندارد فرستنده گیرنده‌های بی‌سیم اهمیت روز افزونی پیدا کرده است. می‌دانیم که هر سیستم بی‌سیم ترکیبی از مدارات فعال و غیرفعال است. در میان مدارات غیرفعال فرکانس بالا، تقسیم‌کننده‌های توان یک مؤلفه‌ی پرکاربرد و مهم به شمار می‌روند. در بین تقسیم‌کننده‌های توان با تلف و بدون تلف، تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون می‌توانند بهترین انتخاب باشند چراکه ویژگی تقسیم‌کننده‌های بدون تلف و مقاومتی را همزمان دارا می‌باشند. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به ایزوله‌سازی پورت‌های خروجی، تطبیق امپدانس ورودی و خروجی، عدم اتلاف توان در عناصر ساختار و نیز ساختار مسطحشان اشاره کرد. به همین خاطر تلاش‌های زیادی در راستای تولید انواع گوناگون تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون صورت گرفته است.

عموماً تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون که تا کنون ارائه شده‌اند یا بر اساس طراحی مدارات تطبیق بوده‌اند و یا از طریق طراحی ساختاری بوده‌اند که ماتریس انتقال آن با ماتریس انتقال خط انتقال ربع طول موج به کار برده شده در تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون عمومی متناظر بوده است. بسیاری از تقسیم‌کننده‌های نابرابر، تقسیم‌کننده‌های دو فرکانسی هستند که تعدادی از آن‌ها مبتنی بر تئوری ارائه شده توسط *C. Monzon* هستند. همچنین برخی دیگر از این نوع تقسیم‌کننده‌ها با استفاده از خطوط انتقال کوپل شده طراحی شده‌اند. علاوه بر این در بعضی از مقالات با استفاده از خط انتقال و نیز عناصر فشرده، ساختاری برای عملکرد تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون در دو فرکانس ارائه شده است. همچنین تقسیم‌کننده‌های ۳ بانده با نسبت تقسیم توان برابر نیز طراحی شده‌اند که در این بین در برخی از آن‌ها نسبت تمامی فرکانس‌ها قابل انتخاب نبوده اما در بعضی دیگر طراحی براساس نسبت فرکانسی قابل انتخاب است.

همانطور که اشاره شد تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون ۳ فرکانسی به تقسیم‌کننده‌های با نسبت تقسیم برابر محدود شده‌اند. در این پایان‌نامه ساختاری ارائه شده است که می‌تواند فرکانس‌های عملکرد تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون را در حالت تقسیم توان نابرابر به ۳ فرکانس افزایش دهد که این امر از طریق ایجاد تطبیق در پورت‌های ورودی و خروجی در فرکانس‌های مورد نظر حاصل خواهد شد. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی صحت عملکرد ساختار پیشنهادی در این پایان‌نامه را تصدیق می‌کند.



فصل اول

مقدمه‌ای بر تقسیم‌کننده‌های توان

و

کاربردهای آن

امروزه سیستم‌های بی‌سیم^۱ کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند. می‌دانیم که هر سیستم بی‌سیم ترکیبی از مدارات فعال^۲ و غیرفعال^۳ است [5]–[1]. در میان مدارات غیرفعال فرکانس بالا، تقسیم‌کننده‌های توان^۴ یک مؤلفه‌ی پرکاربرد و مهم به شمار می‌روند. در تقسیم‌کننده‌ی توان، سیگنال ورودی توسط یک جفتگر^۵ به دو (یا بیشتر) سیگنال با توان کمتر تقسیم می‌شود [6]. یک تزویج‌گر ممکن است یک ترکیب ۳ دهانه با تلفات یا بدون تلفات باشد. این شبکه‌های ۳ دهانه به شکل اتصالات T هستند. تقسیم‌کننده‌های توان اغلب از نوع تقسیم برابر هستند اما نسبت تقسیم توان نابرابر نیز امکان پذیر است.

تقسیم‌کننده توان اتصال T یک شبکه ساده سه دهانه‌ای است که می‌تواند به منظور تقسیم یا ترکیب توان به کار رفته و قابلیت آن را دارد که در هر نوعی از خط انتقال یا محیط رابط مانند موجبر، ریزنوارک یا خط نواری عمل نماید. در صورتی که خط انتقال با تلفات نباشد، اتصالات بدون تلفات می‌باشند. چنین اتصالاتی را همزمان با تمام دهانه‌ها نمی‌توان تطبیق نمود؛ از طرفی یک تقسیم‌کننده شامل عناصر با تلفات می‌تواند در تمام دهانه‌ها تطبیق گردد. به همین منظور از تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون که هر دو ویژگی بیان شده یعنی بدون تلف بودن و نیز تطبیق در تمام دهانه‌ها را دارند استفاده می‌کنیم. در بخش‌های بعد تقسیم‌کننده‌های با تلف و بدون تلف را به تفصیل شرح خواهیم داد.

از ویژگی‌های تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون می‌توان به ایزوله‌سازی پورت‌های خروجی، تطبیق امپدانس ورودی و خروجی و نیز ساختار مسطحشان اشاره کرد. به همین خاطر تلاش‌های زیادی در راستای تولید انواع گوناگون تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون صورت گرفته است. امروزه تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون زیادی طراحی شده‌اند و ساختارهای جدید نیز مدام پیشنهاد می‌گردند. یکی از مهمترین امتیازات یک تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون عملکرد آن در چند فرکانس مختلف است. فرکانس‌های عملکرد^۶ مدار می‌توانند همان هارمونیک‌های زوج و فرد فرکانس اصلی باشند و یا اینکه با نسبتی اختیاری قابل انتخاب باشند. یکی از دلایل لزوم عملکرد چند فرکانسی برای یک تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون، کاهش اندازه و هزینه است؛

¹ Wireless system

² Active

³ Passive

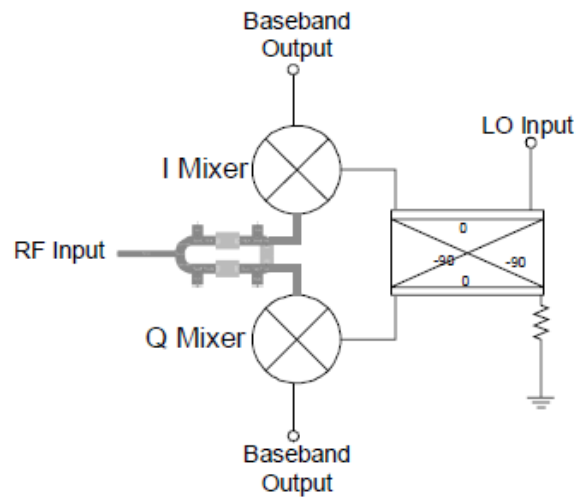
⁴ Power divider

⁵ Coupler

⁶ Operating frequency

از موارد عملکرد تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون می‌توان به سیستم‌های ارتباط از راه دور سیار عمومی، باند ارتباطی موبایل، تقویت‌کننده‌های فرکانس بالا و میکسرها [25] اشاره کرد. چند نمونه از کاربردهای تقسیم‌کننده‌های توان با نسبت تقسیم توان نابرابر، سیستم‌های آرایه فازی و شبکه‌های Beam-forming [25] هستند. همچنین از کاربردهای یک تقسیم‌کننده‌ی توان می‌توان به GPS، تلفن سلولی و تکنولوژی Wi-Fi اشاره کرد [7]؛ همچنین یک آنتن آرایه فازی^۱ ممکن است در چند باند فرکانسی نظیر باندهای فرکانسی K،X،L و Ka عمل کند؛ بنابراین بهتر است که از تقسیم‌کننده‌های چند فرکانسی در این زمینه‌ها استفاده گردد.

یک نمونه از کاربرد تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون در گیرنده‌های موبایل نسل سوم در شکل زیر آورده شده است [8].



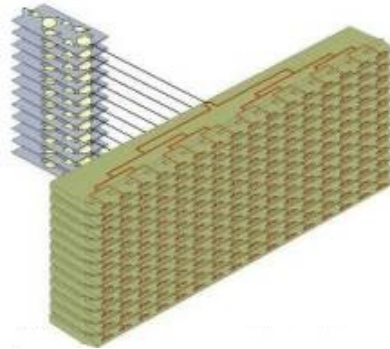
شکل (۱-۱). کاربرد تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون در گیرنده تبدیل مستقیم 3G

همانطور که از شکل (۱-۱) پیداست توان ورودی بایستی بین میکسرهای I و Q تقسیم گردد که به همین منظور از تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون در این سیستم استفاده شده است.

فرکانس مرکزی در سیستم‌های نسل سوم برابر 2140MHz است و تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون به کار برده شده در این فرکانس طراحی شده است.

همانطور که در بالا اشاره شد از دیگر کاربردهای تقسیم‌کننده‌ها، سیستم‌های آرایه فازی است که به منظور قابلیت در تفکیک زاویه از آن‌ها استفاده می‌شود. در آرایه فازی، توان دریافت شده توسط گیرنده‌ی آرایه‌ها با یکدیگر جمع می‌شوند. مرکز آرایه را به

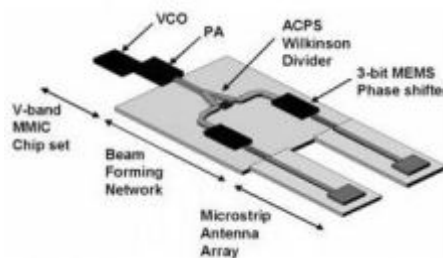
عنوان مرجع در جایی در نظر می‌گیریم که فاز آن صفر بوده و فاز عناصر هم جوار نیز براساس رابطه‌ای که متناسب با فاصله‌ی بین این عناصر است تعیین می‌شود. بین عناصر مجاور، یک شیفت‌دهنده فاز قرار دارد که تغییر فازی برابر ϕ ایجاد می‌کند.



(الف) سیستم آرایه فازی

اختلاف فاز لازم بین عناصر را می‌توان به یکی از دو صورت موازی یا متوالی ایجاد نمود. در تغذیه‌ی متوالی ممکن است انرژی از یک انتهای آرایه (خط) و یا از میانه‌ی آرایه وارد گردد و به سمت چپ و راست تقسیم گردد و به سوی دو انتهای آن منتشر شود؛ در حالی که در آرایه‌ها با تغذیه‌ی موازی انرژی تابشی به وسیله‌ی تقسیم‌کننده‌ی توان ویلکینسون بین عناصر مختلف توزیع می‌شود.

یک شبکه Beam-forming هم می‌تواند در یک سیستم گیرنده به کار رود و هم در سیستم فرستنده. شبکه Beam-forming می‌تواند سیگنال دریافتی توسط چند آنتن آرایه‌ای را برای تشکیل سیگنال خروجی با یکدیگر ترکیب نماید و یا سیگنال ورودی را به چند سیگنال برای تحویل به آرایه‌های آنتن تقسیم نماید. نمونه‌ای از کاربرد یک تقسیم‌کننده توان ویلکینسون در یک شبکه Beam-forming به صورت زیر است:



(ب) شبکه Beam-forming

شکل (۱-۲). تقسیم‌کننده توان ویلکینسون در یک سیستم آرایه فازی (ب) شبکه Beam-forming

ماهواره‌های GPS دو نوع فرکانس حامل تولید می‌نمایند. حامل نوع L_1 که دارای فرکانس 1575.42 مگاهرتز بوده که هم کدهای مجازی تصادفی و هم اطلاعات مربوط به وضعیت ماهواره را حمل می‌نماید. حامل نوع L_2 که دارای فرکانس 1227.6 مگاهرتز بوده که برای ارسال کدهای مجازی تصادفی بسیار دقیق برای کاربرد نظامی استفاده می‌شود. در سیستم GPS یک سیگنال غیر نظامی امنیت زندگی نیز وجود دارد که بر روی سیگنال حامل L_5 با فرکانس 1176.45MHz منتقل می‌شود.

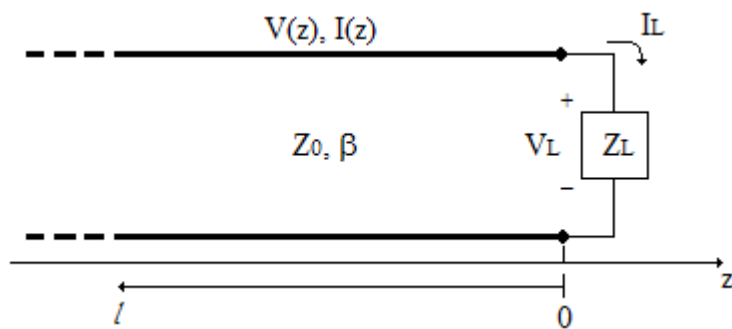
امواج رادیویی که برای شبکه‌های بی‌سیم (Wi-Fi) استفاده می‌شوند، با امواج رادیویی به کار رفته در تلفن‌های همراه و واکی‌تاکی‌ها و مانند آنها تفاوت‌هایی دارد. در شبکه‌های بی‌سیم (Wi-Fi) انتقال اطلاعات با استفاده از امواج فرکانس بالای 2.4GHz و 5.8GHz صورت می‌گیرد که فرکانس آن از فرکانس امواج رادیویی واکی‌تاکی تلفن‌های همراه به مراتب بالاتر است.

۲-۱) مقدمه‌ای بر خط انتقال

خطوط انتقال برای انتقال توان میکروویو از نقطه‌ای به نقطه دیگر به کار می‌روند لذا بعنوان اساسی‌ترین قطعات میکروویو شناخته می‌شوند. یک خط انتقال توسط ثابت انتشار و امپدانس مشخصه معرفی می‌گردد و در صورتی که تلفات هم داشته باشد مقدار تضعیف نیز مدنظر قرار خواهد گرفت [6].

۱-۲-۱) خط انتقال ختم شده و روابط کلی حاکم بر آن

شکل زیر یک خط انتقال بدون اتلاف را نشان می‌دهد که به یک امپدانس بار Z_L ختم شده است. این مسأله باعث انعکاس موج در خطوط انتقال خواهد شد که این خاصیت اساسی سیستم‌های گسترده می‌باشد.



شکل (۱-۳). خط انتقال ختم شده به بار

فرض می‌کنیم که یک موج تابشی به شکل $V_0^+ e^{-j\beta z}$ از یک منبع در $Z < 0$ تولید شده باشد. می‌دانیم که نسبت ولتاژ به

جریان برای این موج حرکتی Z_0 یا امپدانس مشخصه می‌باشد. اما هنگامی که خط انتقال به یک امپدانس دلخواه بار $Z_L \neq Z_0$ ختم شده باشد نسبت ولتاژ به جریان در بار می‌بایستی Z_L باشد. بنابراین برای آن که این شرایط تحقق یابند می‌بایست یک موج انعکاسی با دامنه مناسب موجود باشد. کل ولتاژ بر روی خط به صورت مجموع امواج تابشی و انعکاسی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$V(z) = V_0^+ e^{-j\beta z} + V_0^- e^{j\beta z} \quad (1-1)$$

به طور مشابه کل جریان روی خط به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$I(z) = \frac{V_0^+}{Z_0} e^{-j\beta z} - \frac{V_0^-}{Z_0} e^{j\beta z} \quad (2-1)$$

از دو رابطه‌ی فوق و با توجه به این که ضریب انعکاس در محل بار اتفاق می‌افتد خواهیم داشت:

$$Z_L = \frac{V(0)}{I(0)} = \frac{V_0^+ + V_0^-}{V_0^+ - V_0^-} \times Z_0 \quad (3-1)$$

با استفاده از رابطه‌ی فوق و با توجه به مفهوم ضریب انعکاس خواهیم داشت:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (4-1)$$

از رابطه‌ی فوق مشاهده می‌شود که از برابری امپدانس مشخصه‌ی خط Z_0 و امپدانس بار Z_L ضریب انعکاس Γ برابر صفر

خواهد شد و لذا تمامی توان منتشر شده به بار تحویل می‌گردد. چنین باری به نام بار تطبیق داده شده به خط نامیده می‌شود چرا که در آن هیچ انعکاسی از موج تابشی نخواهیم داشت.

از درس مدارهای الکتریکی می‌دانیم که توان متوسط به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}[V(z)I(z)^*] \quad (5-1)$$

حال با توجه به این رابطه و نیز روابط 1,2 و 4 می توان متوسط را در یک خط انتقال به صورت زیر به دست آورد:

$$P_{av} = \frac{1}{2} \frac{|V_0^+|^2}{Z_0} (1 - |\Gamma|^2) \quad (6-1)$$

رابطه‌ی فوق نشان می‌دهد که جریان توان متوسط در هر نقطه از خط ثابت بوده و مجموع توان تحویلی به بار (P_{av}) مساوی

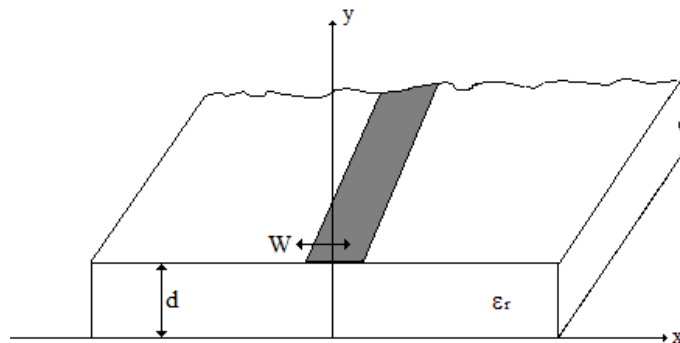
توان تابشی ($|V_0^+|^2 / 2Z_0$) منهای توان انعکاسی ($|V_0^+|^2 |\Gamma|^2 / 2Z_0$) می‌باشد. اگر $\Gamma = 0$ باشد بیشترین توان به بار منتقل شده و در صورتی که $\Gamma = 1$ باشد توان تحویلی به بار صفر خواهد بود.

در اینجا این نکته قابل ذکر است که در صورت وجود تلفات هادی و یا عایق ثابت انتشار، عددی مختلط خواهد بود و بایستی در روابط فوق به جای $j\beta$ عبارت $\gamma = \alpha + j\beta$ را قرار داد.

۱-۲-۲) خط انتقال ریزنوارک

هدف از این زیر بخش ارائه دید کلی نسبت به این نوع خط انتقال و ویژگی‌های آن است؛ چرا که طراحی‌ها در این پایان‌نامه بر اساس خطوط ریزنوارک انجام می‌گردد.

خطوط ریزنوارک یکی از متداول‌ترین انواع خطوط انتقال صفحه‌ای می‌باشد به این خاطر که به وسیله‌ی فرآیندهای عکسبرداری لیتوگرافی می‌تواند ساخته شود و به آسانی با سایر ادوات میکروویوی فعال و غیر فعال به کار می‌آید. ساختار یک ریزنوارک در شکل (۱-۴) نشان داده شده. به طور کلی ریزنوارک یک هادی با پهنای W است که در یک دی‌الکتریک با ضخامت d و ضریب نفوذپذیری الکتریکی نسبی ϵ_r جا داده شده است.



شکل (۱-۴). خط انتقال ریزنوارک

طراحی با استفاده از خطوط ریزنوارک نیازمند تعریف برخی مشخصات برای زیرلایه استفاده شده جهت پیاده‌سازی در نرم‌افزار است که بسته به نوع زیرلایه این مشخصات تغییر می‌یابند. این پارامترها به قرار زیرند:

H: ضخامت زیرلایه در واحد مشخص شده

ϵ_r : ثابت دی‌الکتریک نسبی

μ_r : نفوذپذیری نسبی

Con: رسانایی هادی در واحد متر

T: ضخامت هادی در واحد طول

Tan δ : تلفات مماسی عایق

Rough: سختی سطح هادی

برای تخمین طول و عرض فیزیکی خط ریزنوارک بایستی علاوه بر تعریف پارامترهای فوق به عنوان ویژگی زیرلایه به کار برده شده، امپدانس مشخصه Z_0 و طول الکتریکی θ طراحی شده نیز در نظر گرفته شوند.

۱-۲-۳) ظرفیت توان خطوط انتقال

ظرفیت توانی که یک موجبر یا خط انتقال می‌تواند حمل نماید با ولتاژ شکست محدود می‌گردد. این ظرفیت توان به شکل فیزیکی خط انتقال یا موجبر بستگی دارد؛ چرا که همانطور که از فیزیک الکتریسته و مغناطیس به خاطر داریم میدان الکتریکی اطراف هر توزیع بار پیوسته‌ای تابعی از شکل ظاهری سطحی است که بار روی آن توزیع شده است. میدان الکتریکی دارای نقطه‌ی بیشینه است که همین نقطه بیان‌گر ماکزیمم ولتاژ شکست است چرا که میدان الکتریکی با میزان ولتاژ متناسب است. با توجه به اینکه توان نیز تابعی از ولتاژ است، لذا با محاسبه‌ی میدان الکتریکی اطراف خط انتقال می‌توان در نهایت ماکزیمم ظرفیت توان خط را به دست آورد.

به عنوان مثال در یک کابل هم‌محور پر شده از هوا، میدان الکتریکی به صورت $E_\rho = V_0 / (\rho \ln b/a)$ تغییر می‌نماید که دارای ماکزیممی در $\rho = a$ است. بنابراین ماکزیمم ولتاژ شکست عبارت است از:

$$V_{\max} = E_d a \ln \frac{b}{a} \quad (7-1)$$

در نتیجه ماکزیمم ظرفیت توان خط انتقال به صورت زیر خواهد بود:

$$P_{\max} = \frac{V_{\max}^2}{2Z_0} = \frac{\pi a^2 E_d^2}{\eta_0} \ln \frac{b}{a} \quad (8-1)$$

۳-۱) تقسیم‌کننده توان اتصال T

همانطور که پیش‌تر اشاره شد تقسیم‌کننده توان اتصال T یک شبکه ساده سه دهانه‌ای است که می‌تواند به منظور تقسیم یا ترکیب توان به کار رود. در این بخش اتصالات با تلفات و بدون تلفات را مورد بررسی قرار می‌دهیم و زمینه را برای ارائه تقسیم‌کننده‌های توان ویلکینسون فراهم می‌آوریم.

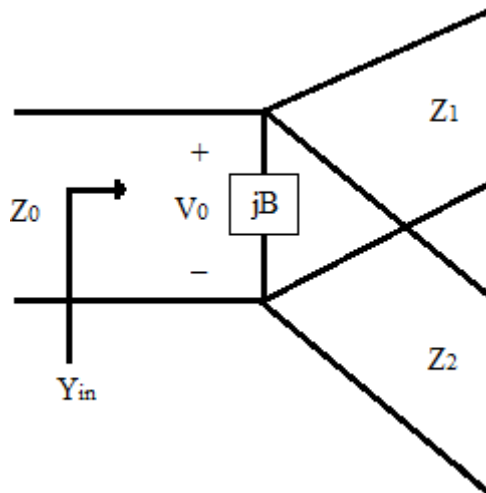
۱-۳-۱) تقسیم‌کننده بدون تلفات

تمام اتصالات T شکل را می‌توان با یک اتصال ناشی از سه خط انتقال که در شکل (۵-۱) نشان داده شده است مدل‌سازی نمود. در حالت کلی، میدان‌های پراکنده شده منجر به انرژی ذخیره شده خواهد شد که می‌توان آن را توسط یک سوسپتانس فشرده B مدل کرد. برای آن که تقسیم‌کننده با خط ورودی که امپدانس مشخصه آن Z_0 است تطبیق گردد می‌بایست داشته باشیم:

اگر خط انتقال بدون تلفات (یا کم اتلاف) باشد امپدانس مشخصه حقیقی خواهد بود و اگر $B=0$ باشد خواهیم داشت:

$$Y_{in} = jB + \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{Z_0} \quad (9-1)$$

امپدانس‌های خروجی خط، Z_1 و Z_2 را می‌توان به گونه‌ای انتخاب نمود که نسبت‌های تقسیم توان متفاوتی داشته باشیم. بنابراین برای یک خط ورودی 50Ω ، یک تقسیم‌کننده توان برابر را می‌توان با استفاده از دو خط خروجی 100Ω به دست آورد. اگر خط خروجی تطبیق یافته باشند در نتیجه خط ورودی نیز تطبیق یافته بوده اما هیچ جداسازی میان دو دهانه خروجی نخواهیم داشت و یک عدم تطبیق از نگاه به دهانه‌های خروجی وجود خواهد داشت.



شکل (۵-۱) مدل خط انتقال یک اتصال T

۱-۳-۲) تقسیم‌کننده مقاومتی

اگر یک تقسیم‌کننده سه دهانه شامل عناصر با تلفات باشد در آن صورت می‌تواند در تمام دهانه‌ها تطبیق گردیده اگر چه دو دهانه خروجی آن ممکن است مجزا باشند. مدار برای چنین تقسیم‌کننده‌ای در شکل (۶-۱) نمایش داده شده است که در آن از مقاومت‌های به صورت عنصر فشرده استفاده شده است. یک بخش مساوی در تقسیم‌کننده در شکل نمایش داده شده است اما نسبت‌های تقسیم توان نامساوی نیز امکان دارند.

تقسیم‌کننده مقاومتی شکل (۶-۱) را می‌توان با استفاده از تئوری مدار تجزیه و تحلیل نمود. با فرض آن که تمام دهانه‌ها به امپدانس مشخصه Z_0 ختم گردند، امپدانس Z دیده شده به سمت مقاومت $Z_0/3$ که توسط خط خروجی دنبال می‌شود عبارت است از:

$$Z = \frac{Z_0}{3} + Z_0 = 4\frac{Z_0}{3} \quad (10-1)$$

در نتیجه امپدانس ورودی تقسیم‌کننده مساوی است با:

$$Z_{in} = \frac{Z_0}{3} + 2\frac{Z_0}{3} = Z_0 \quad (11-1)$$

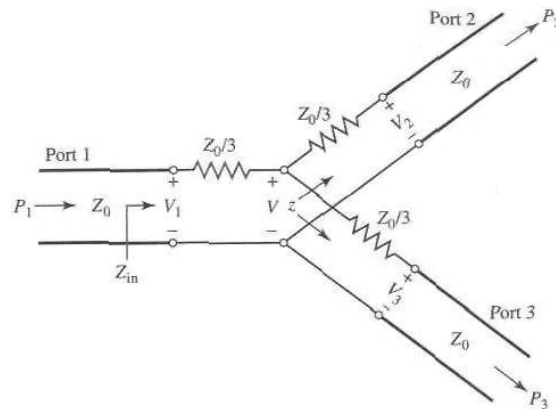
که بیانگر تطبیق ورودی با خط تغذیه می‌باشد. از آنجا که از دید تمام ۳ دهانه شبکه متقارن می‌باشد لذا دهانه‌های خروجی نیز تطبیق می‌باشند.

حال اگر ولتاژ در دهانه ۱ مساوی V_1 باشد بنابراین با خواهیم داشت:

$$V = V_1 \frac{2Z_0/3}{Z_0/3 + 2Z_0/3} = \frac{2}{3}V_1 \quad (12-1)$$

و مجدداً با استفاده از تقسیم ولتاژ برای ولتاژهای خروجی به رابطه زیر خواهیم رسید:

$$V_2 = V_3 = V \frac{Z_0}{Z_0 + Z_0/3} = \frac{3}{4}V = \frac{1}{2}V_1 \quad (13-1)$$



شکل (۶-۱) یک تقسیم‌کننده توان مقاومتی سه دهانه با تقسیم برابر

توان تحویلی به ورودی تقسیم‌کننده عبارت است از:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \frac{V_1^2}{Z_0} \quad (14-1)$$

در حالی که توان‌های خروجی عبارتند از:

$$P_2 = P_3 = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{1}{2}V_1\right)^2}{Z_0} = \frac{1}{8} \frac{V_1^2}{Z_0} = \frac{1}{4} P_{in} \quad (15-1)$$

از رابطه فوق می‌توان فهمید که نیمی از توان ورودی در مقاومت‌ها تلف می‌گردد.

۴-۱) تقسیم‌کننده توان ویلکینسون

تقسیم‌کننده اتصال T بدون تلفات از عدم تطبیق در تمام دهانه‌ها رنج می‌برد همچنین جداسازی میان دهانه‌های خروجی صورت نپذیرفته است. تقسیم‌کننده مقاومتی را می‌توان در تمام دهانه‌ها تطبیق نمود اما دیگر در آن صورت بدون تلفات نبوده و ایزوله سازی پورت‌های خروجی نیز صورت نپذیرفته است. [6] تقسیم‌کننده توان ویلکینسون [9] شبکه‌ای است که علاوه بر این که