دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی برق

گروه مخابرات میدان

پایان نامه کارشناسی ارشد

تخمین ماکزیمم حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند آنتن های مایکرواستریپ با استفاده از قضیه Bode-Fano

نگارش

محمد علی انصاری زاده

استاد راهنما

دکتر ایاز قربانی

اسفند ۱۳۸۶

بسمه تعالي

تاريخ : ....١٣٨٦/٢/١٠....
شماره : .....

فرم اطلاعات پايان نامه
كارشناسي ارشد و دكترا

دانشگاه صنعتي اميركبير
(پلي تكنيک تهران)

معاونت پژوهشي
فرم پروژه تحصيلات تكميلي ٧

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگي : محمد علی انصاری زاده ■ دانشجوي آزاد ☐ بورسيه ☐ معادل

شماره دانشجويي: ٨٤١٢٣٠٤٩ دانشكده : مهندسی برق رشته تحصيلي:مخابرات-ميدان

نام و نام خانودگي استاد راهنما : ایاز قربانی

عنوان به فارسي: تخمين ماكزيمم حاصلضرب ضريب تطبيق-پهنای باند آنتن های مایکرواستریپ با استفاده از قضیه-Bode Fano

عنوان به انگليسي: ESTIMATION OF THE MAXIMUM GAIN - BANDWIDTH PRODUCT FOR MICROSTRIP ANTENNAS WITH REFER TO THE BODE-FANO THEORY

نوع پروژه: كارشناسي ارشد ☐ **كاربردي** ■ **بنيادي** ☐ **توسعه اي** ☐ **نظري**
دكترا

تاريخ شروع: **تاريخ خاتمه :** **١٣٨٦/١٢/٢٠** **تعداد واحد:٦**

سازمان تامين كننده اعتبار : مركز تحقيقات مخابرات ايران

واژه هاي كليدي به فارسي : آنتن های مایکرواستریپ، قضیه بد-فانو، قضیه یولا، حداکثر پهنای باند

واژه هاي كليدي به انگليسي : Microstrip antennas, Bode-Fano theory, Youla Theory, maximum bandwidth

---

نظرها و پيشنهادها به منظور بهبود فعاليت هاي پژوهشي دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما : **تاريخ:**

نسخه ١: معاونت پژوهشي
نسخه ٢ : كتابخانه و به انضمام دو جلد پايان نامه به منظور تسويه حساب با كتابخانه و مركز اسنادومدارک علمي

چکیده

هدف این پایان نامه محاسبه نظری حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند آنتن های مایکرواستریپ بر اساس قضیه های تطبیق امپدانس باند وسیع بد-فانو و یولا می باشد. از آنجا که قضیه های بد-فانو و یولا به مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ اعمال می شود، در این پروژه نخست روش های محاسبه مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ تشریح می شود. بعد از معرفی مدار معادل باند باریک چند آنتن مایکرواستریپ نمونه ای، روش محاسبه نظری حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند با استفاده از قضیه بد-فانو بررسی شده و سپس حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند مد TM_{10} برای چند آنتن مایکرواستریپ نمونه ای محاسبه می شود. برای مدار معادل فشرده باند وسیع این نوع آنتن ها، توپولوژی انتخاب شده، نتیجه اعمال تکنیک بسط مدال به آنتن های مایکرواستریپ مستطیلی با زیرلایه نازک و ضریب دی الکتریک بالا می باشد. در این پایان نامه روش نوینی به منظور محاسبه مقدار اولیه المانهای مدار معادل باند وسیع آنتن های مایکرواستریپ ارائه شده و مقدار نهایی این المانها نیز از روشهای بهینه سازی بدست می آید. در ادامه، با بهره گیری از قضیه تطبیق امپدانس باند وسیع یولا و مدار معادل فشرده باند وسیع، حداکثر حاصلضرب اتلاف بازگشتی-پهنای باند چند آنتن مایکرواستریپ نمونه ای محاسبه می شود. روشهای محاسبه نظری حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق- پهنای باند در نهایت به یک سیستم معادلات غیر خطی می رسد که پس از بهینه سازی و حل این سیستم حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند بدست می آید. آگاهی از حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق- پهنای باند در طراحی آنتن های مایکرواستریپ با پهنای وسیع و همچنین طراحی شبکه های تطبیق امپدانس اهمیت دارد. محاسبه نظری حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند آنتن های مایکرواستریپ E-شکل که پهنای باند وسیع یا کارکرد دو-باندی دارد نشان می دهد که ایجاد اسلات های موازی روی یک آنتن مایکرواستریپ مستطیلی حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند آن را کاهش می دهد.

کلید واژه: آنتن های مایکرواستریپ، قضیه بد-فانو، قضیه یولا، حداکثر پهنای باند

To Kathleen A. Harber

تقدیر و تشکر

این پایان نامه طبق قرارداد شماره ۵۰۰/۱۲۲۰۸/ت مورخ ۱۳۸۵/۱۰/۳ مورد حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران قرار گرفته است که در اینجا از این سازمان سپاسگزاری می شود. همچنین از آقایان دکتر ایاز قربانی، دکتر Neil J. McEwan، دکتر رائد الحمید، دکتر عبدالعلی عبدی پور و دکتر فروهر فرزانه که مرا در انجام این پروژه یاری کردند سپاسگزاری می نمایم.

فهرست مطالب

پیش گفتار

نگاه کلی به پروژه ۲

هدف از انجام پروژه ۳

نظام پایان نامه ۳

فصل اول: مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ

مقدمه ای بر مدار معادل آنتن های مایکرواستریپ ۵

۱-۱ آنتن های مایکرواستریپ بررسی شده در این پایان نامه ۵

۱-۲ انواع مدار معادل آنتن مایکرواستریپ ۷

۱-۲-۱ مدار معادل گسترده ۷

۱-۲-۲ مدار معادل فشرده ۸

۱-۲-۳ مدار معادل مخلوط ۸

۱-۲-۴ انتخاب نوع مدار معادل ۸

۱-۳ روشهای محاسبه مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ ۹

۱-۴ سنتز تابع انتقال با تجزیه مقدار منفرد ۹

۱-۴-۱ اعمال روش تجزیه مقدار منفرد به آنتن های مایکرواستریپ ۱۰

۱-۵ توپولوژی مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ ۱۱

۱-۶ محاسبه مدار معادل فشرده آنتنهای مایکرواستریپ در مجاورت مد TM_{10} ۱۲

۱-۶-۱ تقریب مینیمم مربعات. ۱۴

۱-۷ محاسبه مدار معادل باند وسیع ۱۸

۱-۷-۱ محاسبه مقدار اولیه المانهای مدار معادل فشرده ۱۸

۱-۷-۲ بهینه سازی مقادیر اولیه المانهای مدار معادل. ۲۰

۱-۸ جمع بندی روش های محاسبه مدار معادل. ۲۸

فصل دوم: قضیه تطبیق امپدانس باند وسیع بد-فانو

مقدمه ای بر نظریه تطبیق امپدانس باند وسیع بد-فانو. ۳۰

۲-۱ مفاهیم اساسی قضیه بد-فانو ۳۰

۲-۲ شبکه های تطبیق امپدانس بی اتلاف ۳۱

۲-۳ قضیه تطبیق امپدانس بد ۳۱

۲-۴ شرایط تحقق پذیری فیزیکی شبکه تطبیق امپدانس. ۳۴

۲-۴-۱ بسط سری تیلورحول صفر های انتقال ۳۶

۲-۴-۲ حالتهای نامولد. ۳۸

۲-۴-۳ پارامترهای مستقل از شبکه تطبیق امپدانس. ۳۹

۲-۵ محدودیتهای بنیادین روی حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند ۴۰

۲-۶ پیاده سازی صفرهای ضریب انعکاس. ۴۴

۲-۷ حداکثر پهنای باند مدار رزونانس موازی. ۴۵

۲-۸ حداکثر پهنای باند مد اصلی آنتن های مایکرواستریپ. ۴۷

۲-۹ جمع بندی و نتیجه گیری ۵۵

فصل سوم: قضیه تطبیق امپدانس باند وسیع یولا

مقدمه ای بر نظریه تطبیق امپدانس باند وسیع یولا. ۵۸

۳-۱ اشکالات قضیه بد-فانو. ۵۸

۳-۲ ماتریس پراکندگی شبکه تطبیق امپدانس ۵۹

۳-۳ نظریه تطبیق امپدانس در باند وسیع ۶۳

۳-۴ صفرهای ضریب انتقال بار ۶۶

۳-۵ کاربرد قضیه یولا در طراحی شبکه های تطبیق امپدانس باند وسیع ۶۹

۳-۶ فرم انتگرالی نظریه تطبیق امپدانس باند وسیع یولا. ۷۳

۳-۷ اعمال قضیه یولا به آنتن های مایکرواستریپ نمونه ای ۷۶

۳-۸ جمع بندی و نتیجه گیری. ۸۳

فصل چهارم : نتیجه گیری و پیشنهادها

۴-۱ نتیجه گیری و پیشنهادها. ۸۵

مراجع. ۸۹

پیش گفتار

آنتن های مایکرواستریپ به دلیل مزایای زیادی نظیر سادگی ساخت، وزن کم، سازگاری با ساختارهای MMIC و غیره که دارند در سالهای اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته اند. با وجود مزایای مختلف، این آنتن ها یک اشکال عمده دارند و آن پهنای باند کم (در حد چند درصد) آنها می باشد. به همین دلیل تحقیقات زیادی به منظور افزایش پهنای باند آنتن های مایکرواستریپ انجام شده است. با محاسبه نظری مقدار حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق- پهنای باند یک آنتن مایکرواستریپ می توان به معیار جدیدی برای ارزیابی شایستگی شبکه های تطبیق امپدانس یا روشهای افزایش پهنای باند دست یافت و درصد بهره برداری از پتانسیل پهنای باند یک آنتن مایکرواستریپ را بصورت کمی محاسبه نمود.

نگاه کلی به پروژه

محاسبه پهنای باند امپدانسی آنتن های مایکرواستریپ همواره موضوع قابل توجهی بوده است. در در روشهای کلاسیک، پهنای باند امپدانسی بصورت پهنای باند افت نصف توان تعریف می شود. اما، در مورد آنتن های مایکرواستریپ پهنای باند امپدانسی بصورت بازه فرکانسی تعریف می شود که در آن اتلاف بازگشتی آنتن از $10\,dB$ بزرگتر است. به منظور تخمین پهنای باند افت نصف توان از معیار ضریب کیفیت استفاده می شود و پهنای باند نسبی حول یک فرکانس بصورت معکوس ضریب کیفیت حول فرکانس مورد نظر تعریف می شود.

حداکثر پهنای باند یک بار به ازای ضریب تطبیق یا اتلاف بازگشتی مشخص، مقدار ماکزیمم پهنای باند قابل حصول از بار است که اگر از هر شبکه تطبیق امپدانس قابل تحقق فیزیکی با المانهای پسیو، فشرده و بی اتلاف جهت تطبیق امپدانس استفاده شود، نمی توان پهنای باندی بزرگتر از آن بدست آورد.

به دلیل پیچیدگی محاسبه مدار معادل فشرده باند وسیع یک آنتن مایکرواستریپ و اعمال نظریه های فانو و یولا به آن، معمولا پتانسیل پهنای باند یک آنتن با اعمال روشهای تطبیق امپدانس به آنتن، تخمین زده می شود. به بیان دیگر، با استفاده از روشهای عددی تعدادی شبکه تطبیق امپدانس به منظور تطبیق بار به منبع طراحی می شود و بیشترین پهنای باند قابل حصول از این روش، حداکثر پهنای باند در نظر گرفته می شود. با ضرب مقدار پهنای باند ماکزیمم در حداقل ضریب تطبیق در بازه فرکانسی مورد نظر، حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند به طور تقریبی محاسبه می شود. این فرض که شبکه تطبیق امپدانسی که از روشهای عددی محاسبه می شود می تواند حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند را مشخص کند در حالت کلی نادرست می باشد، چون بر اساس قضیه های بد-فانو و یولا یک شبکه تطبیق امپدانس ایده آل که حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق- پهنای باند یک آنتن را در دسترس منبع قرار می دهد در حالت کلی باید شامل بی نهایت

المان پسیو راکتیو باشد.

هدف از انجام پروژه

هدف از این پایان نامه محاسبه نظری حداکثر پهنای باند آنتن های مایکرواستریپ بر حسب ضریب تطبیق یا اتلاف بازگشتی در باند عبور با استفاده از قضیه های بد–فانو و یولا و ارائه یک معیار کمی برای مقایسه روشهای مختلف افزایش پهنای باند آنتن های مایکرواستریپ است. اگرچه استفاده از نظریه های بد–فانو و یولا با تقریبهایی در مدل سازی آنتن های مایکرواستریپ با المانهای فشرده و پسیو همراه است، اما در بین روشهای موجود دقیقترین مقدار حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق–پهنای باند یک آنتن مایکرواستریپ را بدست می دهد زیرا در این روش فرض می شود که از شبکه تطبیق امپدانس ایده آل شامل بی نهایت المان مستقل به منظور تطبیق امپدانس آنتن مایکرواستریپ به منبع استفاده شده است.

نظام پایان نامه

چون قضیه های تطبیق امپدانس باند وسیع بد–فانو و یولا به مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ اعمال می شود، ابتدا روش های محاسبه مدار معادل فشرده این آنتن ها مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین یک روش نوین و سیستماتیک به منظور محاسبه مدار معادل باند وسیع آنتن های مایکرواستریپ معرفی شده و برای چند آنتن مایکرواستریپ مستطیلی و E–شکل نمونه ای مدار معادل فشرده باند وسیع محاسبه می شود. در فصل دوم، قضیه تطبیق امپدانس باند وسیع بد–فانو معرفی شده و کاربرد آن در محاسبه حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق–پهنای باند مد اصلی آنتن های مایکرواستریپ تشریح می شود. در فصل سوم، قضیه تطبیق امپدانس باند وسیع یولا معرفی شده و روابط قضیه یولا ابتدا به فرم دیفرانسیلی و بعد به فرم انتگرالی ارائه می شود. با استفاده از فرم انتگرالی روابط یولا و مدار معادل باند وسیع آنتن های مایکرواستریپ، حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق–پهنای باند چند آنتن مایکرواستریپ نمونه ای محاسبه می شود.

فصل اول

مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ

مقدمه ای بر مدار معادل آنتن های مایکرواستریپ

مداری که امپدانس ورودی آن در یک باند فرکانسی مشخص تقریبا با امپدانس ورودی یک آنتن برابر است را در اصطلاح مدار معادل آنتن مورد نظر می نامند. به منظور محاسبه نظری حداکثر حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند یک آنتن مایکرواستریپ ابتدا به مدار معادل فشرده آنتن نیاز است تا آنتن مورد نظر در باند فرکانسی وسیع مدلسازی شود [۱-۴]. مدار معادل می تواند از المان های فشرده، گسترده یا هر دو تشکیل شده باشد. در این فصل توپولوژی مدار معادل آنتن های مایکرواستریپ در حالت کلی معرفی می شود، همچنین بعضی از جدیدترین روشهایی که تاکنون برای تخمین مدار معادل آنتن های مایکرواستریپ مطرح شده است معرفی شده و مزایا و معایب هر کدام مورد بحث قرار می گیرد. همچنین در این فصل یک روش نوین و سیستماتیک برای محاسبه مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ تشریح شده و نتایج اعمال این روش به چند نمونه آنتن مایکرواستریپ ارائه می شود.

۱-۱ آنتن های مایکرواستریپ بررسی شده در این پایان نامه

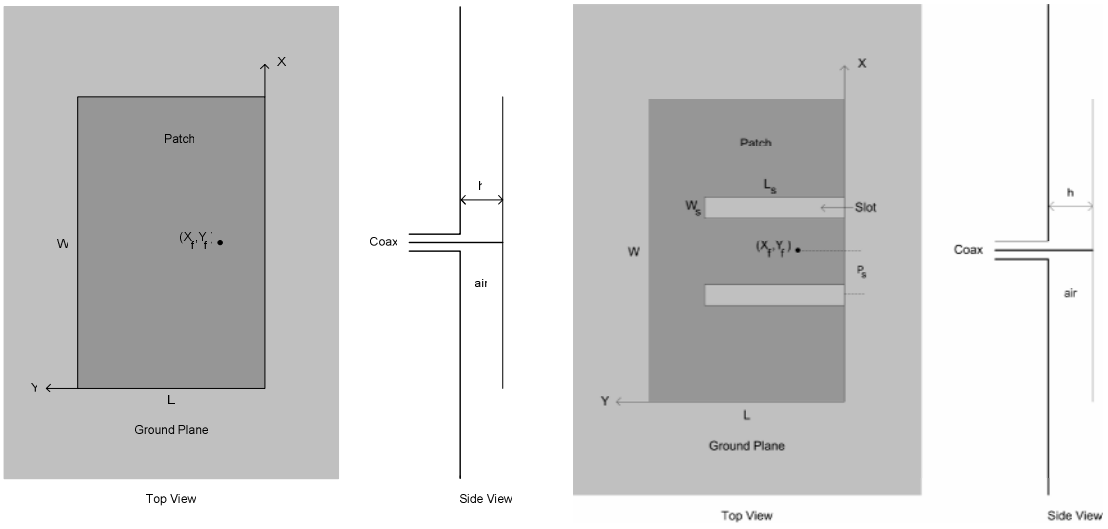
از آنجا که هدف اصلی این پایان نامه معرفی روش محاسبه نظری حداکثر پهنای باند آنتن های مایکرواستریپ بر حسب ضریب تطبیق یا اتلاف بازگشتی است، ابتدا آنتن های مورد نظر معرفی شده و امپدانس ورودی آنها در بازه فرکانسی مورد نظر محاسبه می شود. سپس این آنتن ها با المانهای فشرده و پسیو مدل سازی می شود. در فصل های بعدی با استفاده از این مدارات معادل و به کارگیری قضیه های تطبیق امپدانس باند وسیع فانو و یولا، حداکثر پهنای باند آنتن های مورد نظر محاسبه می شود.

مشخصات آنتن های مایکرواستریپ مستطیلی و E-شکل که در ادامه فصل مدل سازی می شود در جدول (۱-۱) داده شده است. ابعاد اضلاع برحسب میلیمتر بوده و جنس زیرلایه دی الکتریک از هوا می باشد. همه این آنتن ها با کابل هم محور تغذیه شده و شکل هندسی آنها در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. بدیهی است مدل سازی آنتن هایی که با سایر روشها تغذیه می شود به همان صورتی است که در ادامه تشریح می شود. به منظور بررسی اثر اسلات روی پهنای باند یک آنتن مایکرواستریپ مستطیلی، آنتن های مایکرواستریپ دارای اسلات انتخاب شده در جدول (۱-۱) پهنای باند وسیع یا کارکرد دو باندی دارند[۵-۷]. امپدانس ورودی این آنتن ها به کمک نرم افزار [۸] Ansoft Designer شبیه سازی شده است و نتایج این شبیه سازی ها در نمودار های شکل (۱-۲) نشان داده است. جهت حصول دقت بالا در محاسبه مدار معادل، بازه های فرکانسی به اندازه کافی

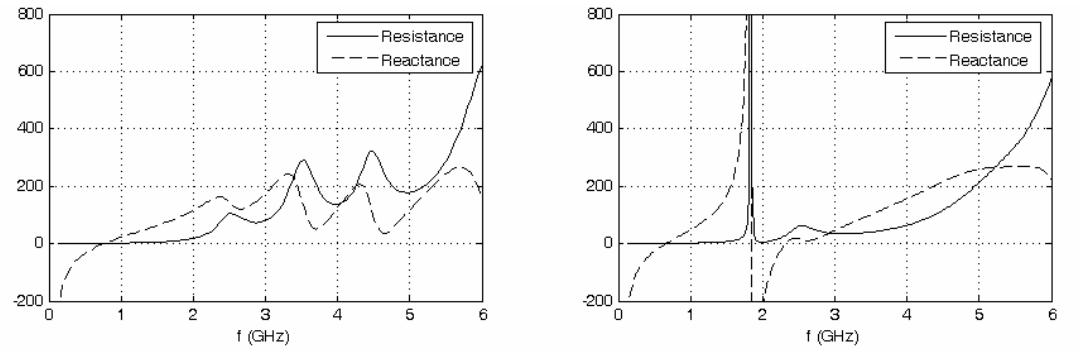
کوچک انتخاب شده است تا نمونه های کافی برای مدل سازی امپدانس ورودی در فرکانس رزونانس با بالاترین ضریب کیفیت وجود داشته باشد.

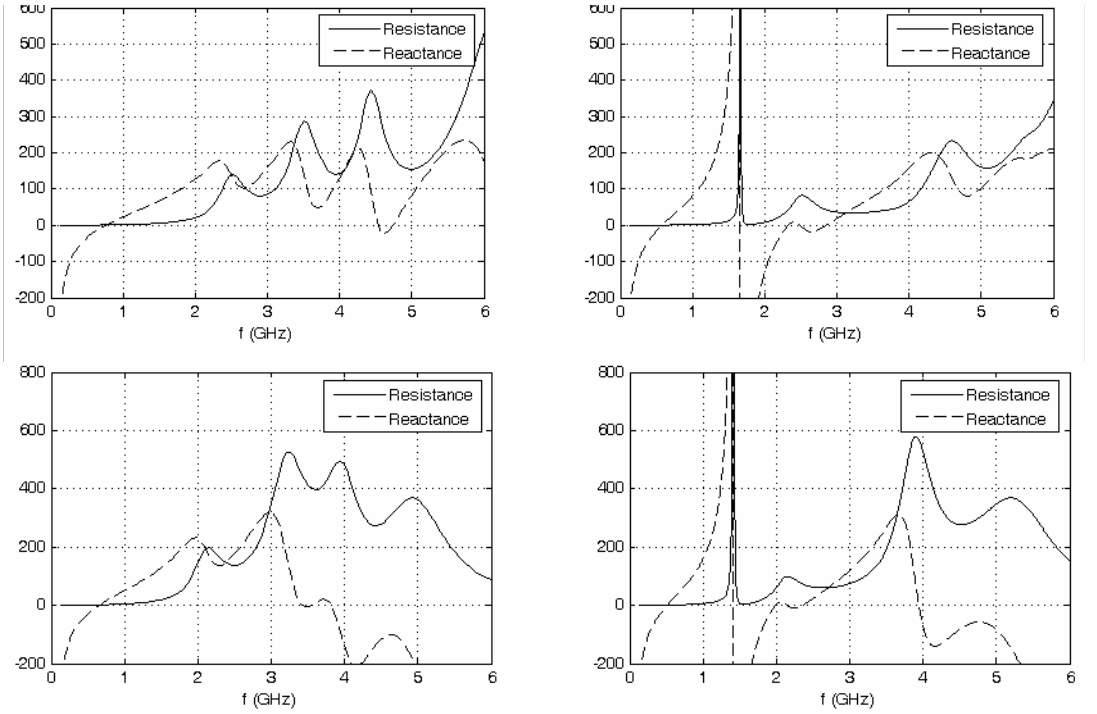
جدول ۱-۱: ابعاد هندسی آنتن های مایکرواستریپ مستطیلی و آنتن های مایکرواستریپ E-شکل و دارای پهنای باند وسیع (همه ابعاد بر حسب میلی متر می باشد [۵].)

Antenna	L	W	H	L_s	W_s	X_f	Y_f	P_s
Rectangular I	70	45	10	N/A	N/A	35	10	N/A
Wideband I	70	45	10	30	5	35	10	12.5
Rectangular II	70	45	10	N/A	N/A	35	7	N/A
Wideband II	70	45	10	35	4	35	7	9
Rectangular III	70	50	15	N/A	N/A	35	6	N/A
Dual band III	70	50	15	40	6	35	6	10



شکل ۱-۱: شکل هندسی آنتن مایکرواستریپ مستطیلی و آنتن مایکرواستریپ مستطیلی با اسلات E-شکل و دارای پهنای باند وسیع یا کارکرد دو باندی [۵]





شکل ۱-۲: نتایج شبیه سازی امپدانس نقطه تحریک آنتن های مایکرواستریپ داده شده در جدول (۱-۱)

۱-۲ انواع مدار معادل آنتن های مایکرواستریپ

در حالت کلی مدار معادل یک آنتن بر حسب اینکه شامل چه نوع المانهایی باشد به سه دسته کلی تقسیم می شود. اگر مدار معادل فقط شامل المان های گسترده و مقامتهای فشرده مستقل از فرکانس باشد، مدار معادل گسترده نامیده می شود. اگر مدار معادل فقط شامل المانهای فشرده باشد، مدار معادل فشرده نامیده می شود. در نهایت اگر مدار معادل هم شامل المانهای فشرده و هم گسترده باشد مدار معادل مخلوط نامیده می شود. در ادامه هر دسته از این مدار های معادل بررسی می شود.

۱-۲-۱ مدار معادل گسترده

از آنجا که آنتن مایکرواستریپ خود یک ساختار گسترده است بنابراین انتظار می رود که مدار معادل گسترده آنتن بر مدارات معادل فشرده برتری داشته باشد. اما در عمل به دلیل پیچیده بودن تحلیل ساختارهای گسترده حتی در مد TEM، از مدارات معادل گسترده آنتن کمتر استفاده می شود. در مرجع [۹] یک مدار معادل گسترده با استفاده از توزیع جریان روی پچ یک آنتن مایکرواستریپ E-شکل ارائه شده است.

اگرچه نظریه ای به منظور محاسبه حداکثر نظری حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند مدارات گسترده نیز ارائه شده است [۱۰] اما، به دلیل اینکه در این پایان نامه قضایای بد-فانو و یولا که برای

مدارات معادل فشرده معتبر است بررسی می شود، مدارات معادل گسترده در این پایان نامه مورد بحث قرار نمی گیرد.

۱-۲-۲ مدار معادل فشرده

اگر مدار معادل فقط شامل المانهای فشرده باشد مدار معادل فشرده نامیده می شود. مهمترین ویژگی این دسته مدارات سادگی تحلیل و وجود قضیه های قوی در تحلیل خواص این شبکه ها می باشد. هر چند در بعضی موارد ممکن است مدار معادل فشرده یک آنتن با امپدانس ورودی آنتن دقیقا همخوانی نداشته باشد اما، مزیتهای فرم فشرده مدار معادل ارزش مقدار اندکی خطا را دارد. در برخی موارد می توان با ارائه مدار معادل مخلوط آنتن هم دقت مدار معادل را افزایش داد و هم از نظریه های معتبر برای مدارات فشرده در تحلیل خواص بخش فشرده مدار معادل مخلوط استفاده نمود.

۱-۲-۳ مدار معادل مخلوط

اگر مدار معادل یک آنتن مایکرواستریپ شامل هم المانهای فشرده راکتیو و هم المانهای گسترده باشد، مدار معادل مخلوط نامیده می شود. اگرچه این نوع مدار معادل می تواند دقت خیلی خوبی در تقریب امپدانس ورودی آنتن داشته باشد اما، روش مشخصی برای محاسبه حداکثر نظری حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند در حالتی که مدار معادل شامل هم المانهای فشرده و هم گسترده باشد وجود ندارد؛ البته بجز در حالتهای خاص که مساله قابل تحویل به مدارات معادل فشرده یا گسترده باشد.

در این پایان نامه یک خط انتقال ایده آل به طور متوالی به یک شبکه فشرده متصل شده است تا خطای تقریب امپدانس ورودی آنتن کاهش یابد. از آنجا که امپدانس درونی منبع مقاومتی و مستقل از فرکانس است، حداکثر نظری پهنای باند با وارد نمودن این خط انتقال ایده آل تغییری نمی نماید و می توان نظریه های محاسبه حداکثر نظری حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند را به بخش فشرده مدار معادل اعمال نمود.

۱-۲-۴ انتخاب نوع مدار معادل

ممکن است این نکته مطرح شود که چون آنتن مایکرواستریپ خود یک مدار گسترده است، مدلسازی آن با مدارات فشرده درست نبوده و بنابراین قضایای بد-فانو و یولا را نمی توان به این آنتن ها اعمال نمود اما، به چند دلیل می توان از مدار معادل فشرده باند وسیع برای محاسبه حداکثر نظری حاصلضرب ضریب تطبیق-پهنای باند آنتن های مایکرواستریپ استفاده نمود. در واقع به دلیل

پارامترهایی نظیر پترن تشعشعی و اتلاف بازگشتی آنتن های مایکرواستریپ معمولا در باند فرکانسی محدودی در اطراف مد اصلی خود (TM_{10}) راه اندازی می شود که می توان مدل فشرده ای برای آنتن مطرح نمود که بیانگر امپدانس ورودی آنتن در باند فرکانسی مورد نظر باشد به علاوه، یک آنتن مایکرواستریپ در مدهای تشعشعی مرتبه بالاتر راه اندازی نمی شود و اثر این مدها می تواند به درستی با یک اندوکتانس سری مدل شود. همچنین برای مدهای تشعشعی در مختصات کروی مدار معادل فشرده ارائه شده است [۲]، [۱۱].

۱-۳ روشهای محاسبه مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ

دو شیوه اصلی برای یافتن مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ وجود دارد. در شیوه اول ابتدا یک تابع کسری حقیقی-مثبت[1] که تقریب قابل قبولی از امپدانس ورودی آنتن باشد محاسبه شده و بعد این تابع امپدانس نقطه تحریک با المانهای فشرده و پسیو پیاده سازی می شود[۱۲]. اگر مدار معادل فشرده آنتن در فرم دارلینگتون مد نظر باشد، از تئوری سنتز متوالی یولا برای پیاده سازی تابع امپدانس نقطه تحریک آنتن می توان استفاده نمود [۱۳]؛ این دسته روشها نیازی به دانستن توپولوژی مدار معادل از قبل ندارد و در برخی موارد می تواند سریع و با دقت به مدار معادل همگرا شود. با وجود مزیتهای یاد شده پایداری این دسته روشها و ارضا نمودن خواص تحقق پذیری فیزیکی یا حقیقی-مثبت بودن از چالش های عمده محاسبه مدار معادل از طریق سنتز تابع انتقال می باشد.

در شیوه دوم محاسبه مدار معادل آنتن های مایکرواستریپ، ابتدا توپولوژی مدار معادل آنتن از روی دانسته های قبلی انتخاب می شود و سپس مقادیر المانهای مدار معادل به کمک روش های بهینه سازی تعیین می شود. این روش سریع و پایدار بوده ولی ممکن است دقت خیلی بالایی به دست ندهد.

۱-۴ سنتز تابع انتقال با تجزیه مقدار منفرد

روش تجزیه مقدار منفرد یکی از روشهای سنتز تابع انتقال امپدانس ورودی آنتن است. در این روش با استفاده از تجزیه مقدار منفرد یک تابع کسری با ضرایب حقیقی برای مدل سازی امپدانس نقطه تحریک آنتن در پهنای باند وسیع تخمین زده می شود؛ در واقع از تکنیک تجزیه مقدار منفرد برای پیدا کردن جواب یک سیستم خطی فوق مشخص[2] استفاده می شود[۱۴].

---

[1] Positive-real

[2] Over determined

فرض کنید امپدانس ورودی یک آنتن با تابع کسری $Z_{in}(s)$ که ضرایب حقیقی دارد طبق رابطه (۱-۱) تخمین زده شود. در این رابطه $s=\sigma+j\omega$ فرکانس مختلط بوده و n و m به ترتیب درجه صورت و مخرج می باشد.

$$Z_{in}(s)=\frac{\sum_{n=1}^{N} a_n s^n}{\sum_{m=1}^{M} b_m s^m} \qquad (۱-۱)$$

یکی از ویژه گیهای برجسته سنتز تابع انتقال امپدانس نقطه تحریک به کمک روش تجزیه مقدار منفرد این است که اگر به نتایج حاصل از هر تابع کسری امپدانس نقطه تحریک اعمال شود در صورتی که درجه صورت و مخرج (n,m) درست انتخاب شده باشد، این روش می تواند دقیقا به ضرایب اولیه تابع کسری همگرا شود. روش تجزیه مقدار منفرد به طور موفقیت آمیزی به یک آنتن صفحه ای UWB اعمال شده است و مدار معادل فشرده ای برای آنتن مورد بحث پیاده سازی شده که با نتایج شبیه سازی شده در باند فرکانسی بزرگتر از 7GHz تطابق خوبی دارد[۱۴].

نکته مهم این است که هر تابع کسری با ضرایب حقیقی را نمی توان با استفاده از المانهای پسیو و فشرده پیاده سازی نمود. شرایط لازم و کافی تحقق پذیری فیزیکی هر تابع امپدانس نقطه تحریک، خاصیت حقیقی-مثبت بودن می باشد [۱۵]. یک تابع کسری امپدانس نقطه تحریک با ضرایب حقیقی، حقیقی-مثبت است اگر و تنها اگر:

۱) همه صفر ها و قطبهای تابع در طرف چپ محور فرکانس حقیقی باشد.
۲) بخش حقیقی امپدانس ورودی همواره نامنفی باشد.
۳) هر قطب روی محور $j\omega$ ساده بوده و دارای مانده حقیقی و مثبت باشد.

۱-۴-۱ اعمال روش تجزیه مقدار منفرد به آنتن های مایکرواستریپ

نتایج اعمال روش سنتز تابع انتقال به کمک تجزیه مقدار منفرد به آنتن های مایکرواستریپ قابل توجه می باشد. با وجود موفقیت روش تجزیه مقدار منفرد در مورد آنتن های صفحه ای UWB [۱۴]، این روش برای آنتن های مایکرواستریپ بررسی شده در این پایان نامه در باند فرکانسی وسیع به یک تابع کسری حقیقی-مثبت همگرا نشد. در مورد آنتن های مایکرواستریپ مستطیلی داده شده در جدول (۱-۱)، روش تجزیه مقدار منفرد یا به امپدانس ورودی آنتن همگرا نشد یا به جوابهای حقیقی-مثبت همگرا نشد. در مدل سازی آنتن مایکرواستریپ مستطیلی با اسلات E-شکل، روش تجزیه مقدار منفرد به جواب دقیقی همگرا نمی شود. این به دلیل مشخصات مد های تحریک شده در آنتن های مایکرواستریپ می باشد.

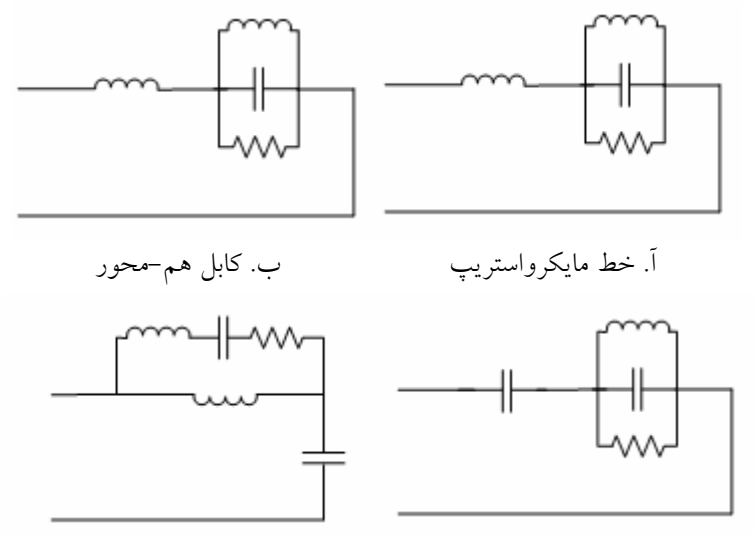
در آنتن های مایکرواستریپ معمولا مد TM_{01} فرکانس رزوناس کوچکتری نسبت به مد اصلی آنتن داشته ولی مقاومت رزونانس آن با مقاومت رزونانس مربوط به مد اصلی آنتن تفاوت خیلی زیادی دارد. به همین دلیل، الگوریتم تجزیه مقدار منفرد برخلاف آنتنهای صفحه ای UWB [۱۴] برای این آنتها همگرا نمی شود. در این فصل روشی نوین پیشنهاد می شود که این محدودیتها را پشت سر می گذارد.

۱-۵ توپولوژی مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ

در ساده ترین شکل از یک مدار رزونانس RLC موازی یا سری برای مدل سازی آنتن به ترتیب در مجاورت فرکانس رزونانس یا آنتی رزونانس آن می توان استفاده نمود. برای مدلسازی ساختارهایی که برای تغذیه آنتن های مایکرواستریپ بکار می رود از مدار معادل هایی که در شکل (۱-۳) پیشنهاد شده است می توان استفاده نمود.

توپولوژی مدار معادل آنتن های مایکرواستریپ با زیرلایه بسیار نازکتر از طول موج هدایت شده و ضریب نفوذ پذیری الکتریکی بزرگ از روش بسط مد بدست آمده است که در شکل (۱-۴) نشان داده شده است [۱۶]. در این فصل از این توپولوژی برای مدلسازی آنتن های مایکرواستریپ مختلف مثل آنتن مایکرواستریپ مستطیلی و آنتن مایکرواستریپ E -شکل استفاده می شود. در [۱۶] روش محفظه[3] اصلاح شده به منظور تحلیل آنتن های مایکرواستریپ مستطیلی پیشنهاد شده و در نهایت توپولوژی مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ مستطیلی مطابق شکل (۱-۴) بدست آمده است. اگرچه در محاسبه این مدل فرض شده است که ارتفاع زیرلایه خیلی کوچکتر از طول موج هدایت شده است و شرایط دیواره مغناطیسی با اتلاف روی دیواره ها برقرار است اما، بررسی های تجربی نشان می دهد که این توپولوژی مدار معادل، برای آنتن های مایکرواستریپ با ارتفاع زیرلایه ضخیم و دارای اسلات نیز به جواب قانع کننده ای می رسد. ایجاد اسلات روی آنتن مایکرواستریپ مستطیلی فرکانس رزونانس و مقاومت تشعشعی مدهای تحریک شده را دچار تغییرات می نماید که اگر این تغییرات بهینه باشد می تواند به افزایش پهنای باند آنتن مایکرواستریپ مستطیلی یا کارکرد چند باندی منجر شود [۵]،[۱۷-۱۸]. به علاوه، هر رزونانس آنتن به صورت یک مدار رزونانس موازی مدل می شود.

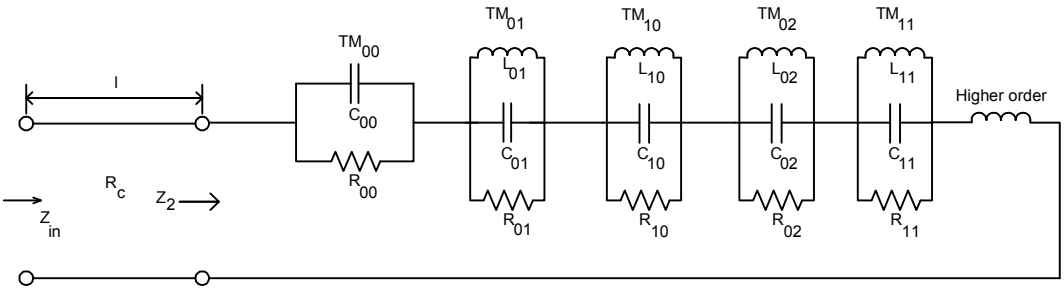
[3] Cavity Method



آ. خط مایکرواستریپ ب. کابل هم-محور

ج. تزویج مجاورتی د. تزویج با دهانه

شکل ۱-۳: انواع مختلف تغذیه آنتن های مایکرواستریپ و مدار معادل آن



شکل ۱-۴: توپولوژی مدار معادل آنتن های مایکرواستریپ [۱۶].

۱-۶ محاسبه مدار معادل فشرده آنتن های مایکرواستریپ در مجاورت مد TM_{10}

اگر مدار معادل یک آنتن مایکرواستریپ مستطیلی، تغذیه شده با کابل هم-محور در باند فرکانسی کوچکی حول مد اصلی آنتن مد نظر باشد می توان از روابط ارائه شده در مرجع [۱۹] برای محاسبه المانهای مدار معادل فشرده مستقیما از روی مشخصات فیزیکی آنتن و ضریب نفوذ پذیری دی الکتریک زیرلایه استفاده نمود. با توجه به شکل (۱-۴) و به منظور توصیف امپدانس ورودی یک آنتن مایکرواستریپ دلخواه در باند فرکانسی محدود حول مد اصلی آنتن (TM_{10})، از مدار معادل شکل (۱-۵) استفاده می شود. در این شکل مقاومت R_0 نشانگر مقاومت تشعشعی مد TM_{10} می باشد. در ادامه مقادیر تک تک این المانها را با استفاده از ضریب انعکاس حاصل از شبیه سازی یا اندازه گیری تعیین می نماییم [۲۰].

فرض کنید ضریب انعکاس ورودی یک آنتن مایکرواستریپ (Γ) در n نقطه در باند فرکانسی مورد نظر مشخص است. اگر یک تقریب منطقی از تک تک المانهای مدار معادل در دست باشد، آنگاه Γ مدار معادل را می توان از روابط مداری محاسبه نمود. خطای *rms* تعریف شده در رابطه