بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای **عابد پورسهراب** پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **طراحی و ساخت جاذب مایکروویوی پهن باند با استفاده از ساختارهای متناوب** در تاریخ ۱۳۹۱/۲/۲۳ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مخابرات پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر زهرا اطلس باف	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر کیوان فرورقی	استاد	
استاد ناظر	دکتر بیژن عباسی آرند	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمدصادق ابریشمیان	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر کیوان فرورقی	استاد	

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **برق** است که در **سال۱۳۹۱** در دانشکده **برق و کامپیوتر** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم دکتر **زهرا اطلس باف** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **عابد پورسهراب** دانشجوی رشته **برق مخابرات** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **عابد پورسهراب**

تاریخ و امضا: **۱۳۹۱/۰۳/۲۷**

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

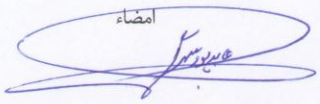
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی **عابد پورسهراب**

امضاء



دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق–مخابرات

طراحی و ساخت جاذب مایکروویوی پهن‌باند با استفاده از ساختارهای متناوب

عابد پورسهراب

استاد راهنما:

دکتر زهرا اطلس‌باف

بهار ۱۳۹۱

تقدیم

به پدر و مادر مهربانم

تشکر و قدردانی

در اینجا فرصت را غنیمت شمرده و از زحمات استاد عزیزم، خانم دکتر زهرا اطلس‌باف تشکر و قدردانی می‌نمایم. انجام این پایان‌نامه بدون حمایت علمی و معنوی ایشان امکان‌پذیر نبود. برای ایشان در تمام مراحل زندگی آرزوی سلامتی و موفقیت دارم.

عابد پورسهراب

دانشجوی کارشناسی ارشد-مخابرات،

دانشکده مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرّس،

بهار ۱۳۹۱.

چکیده

در این پژوهش، جاذب‌های صفحه‌ای غیرمغناطیسی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به کمک روش خط انتقال، مدار معادل و نمودار اسمیت دو جاذب پهن‌باند در باندهای C و X به وسیله ساختارهای متناوب طراحی و تحلیل شده‌اند. جاذب اول در باند C در مقایسه با صفحه سلیزبری به ازای افزایش ۲ میلیمتری در ضخامت، پهنای باندِ ۲۰dB- را از ۲۵,۳ درصد به ۶۶,۷ درصد بهبود می‌دهد. در طراحی جاذب دوم در باند X، با معرفی یک سلول واحد جدید شامل مقاومت‌های دوگانه، ضمن کاهش لایه‌های جاذب، تعداد نقاط تشدید افزایش یافته و پاسخی یکنواخت حاصل شده است. در این جاذب برخلاف روش مدار خازنی از سلف‌ها در طراحی مدار معادل استفاده شده و به کمک آن‌ها مرتبه مدار افزایش یافته است. نتیجه این عمل ساخت جاذبی با ضخامت کلی ۳ میلیمتر در باند X می‌باشد که تنها از دو زیرلایه تشکیل شده است.

کلید واژه: پهن‌باند، زیرلایه، جاذب آنالوگ مداری، روش مدار خازنی، سطوح گزینشگر فرکانس.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د

فهرست جدول‌ها ..... ه

فهرست شکل‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- جاذب‌ها از گذشته تا به امروز ۲

۱-۳- کاربرد و ویژگی‌های جاذب طراحی شده ۴

۱-۴- ساختار پایان‌نامه ۵

فصل ۲- جاذب‌ها و تئوری انتشار امواج در مواد ۶

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- انتشار امواج الکترومغناطیس ۶

۲-۲-۱- انتشار در فضای آزاد ۸

۲-۲-۲- انتشار در ماده ۹

۲-۳- پارامترهای مهم در طراحی جاذب ۱۱

فصل ۳- جاذب‌های صفحه‌ای ۱۶

۳-۱- مقدمه ۱۶

۳-۲- صفحه سلیزبری ۱۶

۳-۳- جاذب ژائومان ۱۹

۳-۴- جاذب آنالوگ مداری ۲۱

۳-۵- رابطه بین ضخامت و پهنای باند در جاذب بهینه ۲۴
۳-۵-۱- رابطه انتگرالی برای ضریب انعکاس ۲۵
۳-۵-۲- کاربرد در جاذب‌ها ۲۷
۳-۶- روش مدار خازنی ۲۹
۳-۶-۱- مثالی از روش خازنی ۳۲
فصل ۴- تبدیل مدار معادل به ساختار متناوب ۳۵
۴-۱- مقدمه ۳۵
۴-۲- ساختارهای متناوب ۳۶
۴-۳- لوب‌های مزاحم ۳۷
۴-۳-۱- شرط ایجاد لوب مزاحم ۳۸
۴-۳-۲- شرط ایجاد اولین لوب مزاحم ۳۸
۴-۴- تبدیل عناصر مدار به ساختار متناوب ۳۹
۴-۴-۱- تبدیل سلف‌ها و خازن‌ها ۴۰
۴-۴-۲- تبدیل مقاومت‌ها ۴۱
فصل ۵- طراحی جاذب پهن‌باند ۴۳
۵-۱- مقدمه ۴۳
۵-۲- جاذب پهن‌باند در باند C ۴۳
۵-۲-۱- مدار معادل ۴۴
۵-۲-۲- طراحی و شبیه‌سازی سلول واحد ۴۷
۵-۳- جاذب پهن‌باند در باند X ۵۰
۵-۳-۱- معرفی مدار معادل اولیه ۵۰
۵-۳-۲- تعیین مقادیر اولیه ۵۲
۵-۳-۳- نتایج شبیه‌سازی مدار در باند X ۵۳

۵-۳-۴- تجزیه و تحلیل مدار معادل ۵۵
۵-۳-۴-۱- مراحل تطبیق امپدانس ۵۵
۵-۳-۴-۲- بررسی اثر عناصر روی پاسخ مدار ۵۷
۵-۳-۵- سلول واحد در باند X ۶۰
۵-۴- سنجش میزان بهینگی جاذب ۶۳
۵-۵- برخورد در زوایای نامطلوب ۶۵
۵-۵-۱- تغییر زاویه φ برای میدان الکتریکی ۶۵
۵-۵-۲- برخورد مایل ۶۶
۵-۵-۲-۱- قطبش موازی ۶۷
۵-۵-۲-۲- قطبش متعامد ۷۰
۵-۶- سنجش حداکثر توان قابل جذب توسط جاذب ۷۴
۵-۷- ساخت و اندازه‌گیری ۷۵
۵-۷-۱- جزئیات ساخت ۷۵
۵-۷-۲- اندازه‌گیری و بررسی نتایج ۷۷
فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۱
۶-۱- نتیجه‌گیری ۸۱
۶-۲- پیشنهادها ۸۲
فهرست مراجع ۸۳
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۸۵
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۸۷

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
گذردهی الکتریکی	ε
نفوذپذیری مغناطیسی	μ
میدان الکتریکی	E
میدان مغناطیسی	H
جابجایی الکتریکی	D
چگالی شار مغناطیسی	B
طول موج	λ
هدایت الکتریکی	σ
ثابت انتشار	γ
امپدانس ذاتی	Z
ضریب بازتاب	Γ

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۵-۱: مقادیر عناصر مدار معادل شکل ۵-۱. ..... ۴۵

جدول ۵-۲: جزئیات اندازه سلول واحد در باند C. ۴۸

جدول ۵-۳: مقادیر عناصر مدار معادل شکل ۵-۸. ..... ۵۴

جدول ۵-۴: جزئیات اندازه سلول واحد در باند X. ۶۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: چگونگی برخورد موج الکترومغناطیس به یک ماده دی‌الکتریک. ۷

شکل ۲-۲: انعکاس و انتقال یک موج الکترومغناطیسی در مرز مشترک دو محیط. ۱۲

شکل ۳-۱: (الف): صفحه سلیزبری تشکیل شده از صفحه مقاومتی در مقابل صفحه زمین. (ب): مدار معادل. (ج): نمودار اسمیت نشان دهنده ادمیتانس ورودی. (د): ضریب انعکاس به عنوان تابعی از فرکانس [۴]. ۱۷

شکل ۳-۲: (الف): یک جاذب ژائومان، تشکیل شده از دو صفحه مقاومتی در مقابل صفحه زمین. (ب): نمودار اسمیت، نشان دهنده آغاز محاسبه ادمیتانس ورودی جاذب. (ج): مدار معادل. (د): نمودار اسمیت، نشان دهنده محاسبات نهایی ادمیتانس ورودی. (ه): ضریب انعکاس به صورت تابعی از فرکانس [۴]..... ۲۰

شکل ۳-۳: (الف): جاذب آنالوگ مداری تشکیل شده از یک صفحه مداری در مقابل صفحه زمین. (ب): مدار معادل. (ج): نمودار اسمیت نشان دهنده چگونگی محاسبه ادمیتانس ورودی. (د): نمودار ضریب انعکاس به صورت تابعی از فرکانس [۴]. ۲۲

شکل ۳-۴: مسیر بسته برای انتگرال‌گیری [۱۲]. ۲۶

شکل ۳-۵: نمونه‌ای از خطی‌سازی پاسخ فرکانسی. ۲۹

شکل ۳-۶: مدار معادل عمومی یک جاذب آنالوگ مداری سه لایه [۷]. ۳۰

شکل ۳-۷: چند نمونه از FSS های میان-نگذر. ۳۰

شکل ۳-۸: آرایه‌ای از مربع‌های مقاومتی به همراه مدار معادل [۷]. ۳۰

شکل ۳-۹: پاسخ فرکانسی دو نوع FSS، حلقه مربعی و شش ضلعی [۷]. ۳۱

شکل ۳-۱۰: مدار معادل جاذب طراحی شده با روش خازنی [۱۶]. ۳۲

شکل ۳-۱۱: (الف): پاسخ فرکانسی جاذب (خطوط پر) در مقایسه با پاسخ مدار معادل (خط‌چین). (ب): امپدانس ورودی دیده شده از چهار نقطه مدار شکل ۳-۱۰ روی نمودار اسمیت [۱۶]. ۳۳
شکل ۴-۱: ساختار متناوب متشکل از دوقطبی‌های بار شده با امپدانس [۴]. ۳۶
شکل ۴-۲: برخورد و بازتاب امواج صفحه‌ای به یک ساختار متناوب [۴]. ۳۷
شکل ۴-۳: ایجاد لوب مزاحم [۴]. ۳۸
شکل ۴-۴: ساختار متناوب برای ایجاد سلف خالص [۴]. ۴۰
شکل ۴-۵: روش ایجاد سلف و خازن به صورت سری [۴]. ۴۱
شکل ۴-۶: یک نمونه مقاومت SMD به همراه مدار معادل. ۴۲
شکل ۵-۱: مدار معادل جاذب در باند C. ۴۴
شکل ۵-۲: نمودار ضریب بازتاب مدار معادل شکل ۵-۱. ۴۶
شکل ۵-۳: امپدانس ورودی مدار روی نمودار اسمیت. ۴۶
شکل ۵-۴: ساختار سلول واحد. ۴۷
شکل ۵-۵: پاسخ سلول واحد در نمودار اسمیت. ۴۹
شکل ۵-۶: نمودار ضریب بازتاب سلول واحد و مدار معادل در مقایسه با صفحه سلیزبری. ۴۹
شکل ۵-۷: مدار معادل پیشنهاد شده. ۵۱
شکل ۵-۸: مدار معادل پیشنهاد شده با در نظر گرفتن جنس و طول خطوط انتقال. ۵۳
شکل ۵-۹: نمودار ضریب بازتاب مدار معادل برحسب تغییرات فرکانس. ۵۴
شکل ۵-۱۰: ضریب بازتاب مدار معادل روی نمودار اسمیت. ۵۴
شکل ۵-۱۱: امپدانس ورودی دیده شده از سه نقطه مدار شکل ۵-۸. ۵۶
شکل ۵-۱۲: اثر افزایش مقاومت‌ها روی پاسخ مدار. ۵۹
شکل ۵-۱۳: اثر تغییرات ظرفیت خازن‌های C_1 و C_2 روی پاسخ مدار. ۵۹
شکل ۵-۱۴: ساختار سلول واحد در باند X. ۶۰
شکل ۵-۱۵: مدل مقاومت ۱۲۰۶. ۶۱

شکل ۵-۱۶: نمودار ضریب بازتاب سلول واحد در باند X. ۶۲
شکل ۵-۱۷: نمودار اسمیت ضریب بازتاب سلول واحد در باند X. ۶۳
شکل ۵-۱۸: اثر تغییر زاویه میدان الکتریکی روی پاسخ جاذب باند C. ۶۵
شکل ۵-۱۹: اثر تغییر زاویه میدان الکتریکی روی پاسخ جاذب باند X. ۶۶
شکل ۵-۲۰: برخورد مایل در حالت قطبش موازی [۲۱]. ۶۷
شکل ۵-۲۱: ضریب بازتاب جاذب باند C در برخورد مایل از نوع قطبش موازی. (الف): نمودار ضریب بازتاب بر حسب تغییر فرکانس به ازای زوایای مختلف. (ب): نمودار ضریب بازتاب بر حسب تغییر زاویه به ازای فرکانس‌های مختلف. ۶۸
شکل ۵-۲۲: ضریب بازتاب جاذب باند X در برخورد مایل از نوع قطبش موازی. (الف): نمودار ضریب بازتاب بر حسب تغییر فرکانس به ازای زوایای مختلف. (ب): نمودار ضریب بازتاب بر حسب تغییر زاویه به ازای فرکانس‌های مختلف. ۶۹
شکل ۵-۲۳: برخورد مایل در حالت قطبش متعامد [۲۱]. ۷۰
شکل ۵-۲۴: ضریب بازتاب جاذب باند C در برخورد مایل از نوع قطبش متعامد. (الف): نمودار ضریب بازتاب بر حسب تغییر فرکانس به ازای زوایای مختلف. (ب): نمودار ضریب بازتاب بر حسب تغییر زاویه به ازای فرکانس‌های مختلف. ۷۱
شکل ۵-۲۵: ضریب بازتاب جاذب باند X در برخورد مایل از نوع قطبش متعامد. (الف): نمودار ضریب بازتاب بر حسب تغییر فرکانس به ازای زوایای مختلف. (ب): نمودار ضریب بازتاب بر حسب تغییر زاویه به ازای فرکانس‌های مختلف. ۷۲
شکل ۵-۲۶: نمونه ساخته شده لایه زیرین. ۷۶
شکل ۵-۲۷: نمای پشت و روی زیرلایه دوم به ترتیب از راست به چپ. ۷۶
شکل ۵-۲۸: نمونه ساخته شده جاذب در باند X. ۷۷
شکل ۵-۲۹: الگوی تشعشعی صفحه E. ۷۸
شکل ۵-۳۰: الگوی تشعشعی جاذب با میدان الکتریکی متعامد. ۷۹

شکل ۵-۳۱: تابش موج به جاذب توسط آنتن بوقی در CST. ۷۹
شکل ۵-۳۲: مقایسه نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی. ۸۰

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

امروزه با گسترش روزافزون مخابرات بیسیم و استفاده گسترده از باندهای فرکانسی متنوع، بحث جلوگیری از تداخل و بازتاب امواج الکترومغناطیسی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. یکی از راه‌ها برای حذف آثار نامطلوب تداخل و بازتاب امواج، استفاده از جاذب‌های مایکروویوی[۱] است.

جاذب‌های مایکروویوی، ساختارهایی هستند که با جذب انرژی امواج الکترومغناطیسی، مانع از انعکاس و عبور امواج می‌شوند. جذب انرژی معمولاً با اتلاف آن انجام می‌شود. این اتلاف انرژی با تبدیل انرژی موج به انرژی حرارتی صورت می‌گیرد [۱]. جاذب‌ها کاربردهای فراوانی دارند. به طور کلی در هر جایی که انعکاس امواج مزاحمت ایجاد کند، از جاذب‌ها استفاده می‌شود. از کاربردهای آن‌ها می‌توان به آزمایشگاه‌های آنتن و اتاق‌های اندازه‌گیری بدون انعکاس اشاره کرد. همچنین در بعضی تجهیزات مخابراتی به منظور کاهش تداخل از این ساختارها استفاده می‌کنند. در زمینه‌های نظامی به منظور کاهش سطح مقطع راداری[۲] ادوات و وسایل نقلیه نظامی مانند هواپیما و زیردریایی از جاذب‌ها استفاده می‌شود تا شیء مورد نظر به راحتی توسط رادار تشخیص داده نشود. جاذب‌ها انواع مختلفی دارند و آن‌ها را به صورت‌های گوناگونی دسته‌بندی می‌کنند. از نظر پهنای باند می‌توان آن‌ها را به دو گروه تشدیدی[۳] و پهن‌باند[۴] تقسیم کرد. و همچنین از نظر ساز و کار به دو گروه مغناطیسی و غیر مغناطیسی تقسیم می-

---

[1] Microwave Absorbers

[2] Radar Cross Section (RCS)

[3] Resonance

[4] Wideband

شوند. با توجه به گستردگی مبحث و تنوع در روش‌های جذب، در این پژوهش تنها جاذب‌های غیر مغناطیسی صفحه‌ای[1] مورد بررسی قرار می‌گیرند. ساختار پیشنهادی طراحی شده نیز در همین خانواده قرار می‌گیرد.

به منظور آشنایی بیشتر با جاذب‌ها، در بخش بعدی تاریخچه مختصری از آن‌ها ارائه می‌شود و سیر تکاملی آن‌ها از گذشته تا به امروز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲- جاذب‌ها از گذشته تا به امروز

جاذب‌های مایکروویوی هم مانند بسیاری دیگر از تجهیزات مخابراتی در خلال جنگ جهانی معرفی شدند. در جنگ جهانی دوم همزمان با پیدایش رادار دانشمندان بر آن شدند تا راه‌های مقابله با آن را بیابند. هدف، ساخت وسیله‌ای بود که از دید رادار پنهان باشد یا به اصطلاح رادارگریز باشد. بنابراین باید با روشی سطح مقطع راداری جسم را کاهش می‌دادند. اولین و مؤثرترین روش، تغییر شکل و طراحی مناسب شکل ظاهری جسم است به گونه‌ای که کمترین انعکاس را به سمت رادار داشته باشد. در مرحله دوم مؤثرترین راهکار، پوشاندن سطح خارجی جسم با یک ماده جاذب است تا سطح مقطع راداری جسم به حداقل ممکن کاهش یابد [۱]. بنابراین تمام تلاش دانشمندان بر این بود تا جاذبی درست کنند که در پهنای باند وسیعی حداکثر جذب را داشته و در عین حال نازک، سبک و ارزان باشد.

در سال ۱۹۵۲ میلادی اولین جاذب صفحه‌ای معرفی شد. نام این جاذب صفحه سلیزبری[2] است که نوعی جاذب تشدیدی محسوب می‌شود [۲]. این جاذب از یک صفحه مقاومتی تشکیل شده که در فاصله $\lambda/4$ از صفحه زمین قرار می‌گیرد. هر چند که پیدایش این جاذب در آن زمان موفقیت بزرگی محسوب

[1] Planar

[2] Salisbury screen

می‌شد اما این جاذب معایبی داشت که مهمترین آن‌ها پهنای باند کم آن بود. اندکی بعد از معرفی صفحه سلیزبری، جاذب ژائومان[1] معرفی شد [۳]. اما شواهد تاریخی نشان می‌دهد که این جاذب قبل از صفحه سلیزبری وجود داشته و در جنگ جهانی دوم آلمانی‌ها از آن استفاده می‌کردند [۴]. در این جاذب با افزایش تعداد لایه‌های مقاومتی، تعداد نقاط تشدید افزایش یافته که در نتیجه منجر به افزایش پهنای باند می‌شود. با ارائه این جاذب مشکل پهنای باند حل شد اما هنوز یک مشکل عمده وجود داشت و آن ضخامت زیاد این ساختار بود. جزئیات بیشتر درباره طرز کار این دو نوع جاذب در فصل ۳ آورده شده است.

پس از پیدایش سطوح گزینشگر فرکانس[2] و کاربرد آن‌ها در طراحی فیلترها، جاذب‌های آنالوگ مداری[3] معرفی شدند [۴]. در این گونه از جاذب‌ها با قرار دادن تعداد بیشماری از FSS ها در کنار یکدیگر نوعی ساختار متناوب ایجاد می‌کنند که این ساختار با تشکیل تشدید می‌تواند باعث جذب شود. این ساختارها ممکن است از چندین لایه تشکیل شده باشند اما فاصله این لایه‌ها در جاذب‌های آنالوگ مداری باید $\lambda/4$ باشد که در فرکانس‌های پایین‌تر منجر به ضخیم شدن ساختار می‌شود. تحلیل این جاذب‌ها با رسم مدار معادل برای FSS ها به راحتی امکان پذیر است. اکثر نمونه‌هایی که توسط این روش طراحی شده‌اند، پهنای باند مناسبی ندارند و یا در صورت داشتن پهنای باند مناسب، ضخامت آن‌ها زیاد است. در مراجع [۵ و۶] دو نمونه از این جاذب‌ها معرفی شده است. به تازگی به کمک فراماد[4] نیز جاذب-هایی با ضخامت خیلی کم طراحی شده است. اما با توجه به خاصیت ذاتی فرامادها نمی‌توان از آن‌ها انتظار پهنای باند زیادی داشت. یک روش جدید نیز به نام روش مدار خازنی[5] در مرجع [۷] برای طراحی

---

[1] Jaumann

[2] Frequency Selective Surface (FSS)

[3] Circuit analog absorber

[4] Metamaterial

[5] Capacitive circuit method