

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ای بر آنتن های میکرواستریپ.....	۱
۱-۱ تاریخچه و تعاریف کلی.....	۲
۲-۱ روش های تغذیه.....	۴
۳-۱ مکانیزم تشعشع در آنتن میکرواستریپ.....	۶
۴-۱ روش های تحلیل.....	۷
۱-۴-۱ مدل خط انتقال.....	۷
۵-۱ پهنای باند.....	۱۰
۱-۵-۱ روابط تئوری پهنای باند.....	۱۰
فصل دوم: ساختار بلورهای فوتونی.....	۱۳
۱-۲ مقدمه ای بر بلورهای فوتونی:.....	۱۴
۲-۲ خواص بلورهای فوتونی.....	۱۹
۱-۲-۲ تقارن انتقالی گسسته و قضیه بلوخ.....	۱۹
۲-۲-۲ ساختار نواری فوتونیک.....	۲۲
۳-۲-۲ تقارن دورانی و منطقه بریلوئن تحویل ناپذیر.....	۲۳
۴-۲-۲ منطقه بریلوئن.....	۲۵
۵-۲-۲ منطقه بریلوئن شبکه های دو بعدی.....	۲۶
۳-۲ بلور فوتونی یک بعدی.....	۲۷
۱-۳-۲ فیلم بس لایه ای.....	۲۷
۲-۳-۲ منشأ فیزیکی شکاف های نواری فوتونی.....	۲۸
۴-۲ محاسبه ساختار نوارهای فوتونی و باند ممنوعه.....	۳۲
فصل سوم: طراحی و شبیه سازی.....	۳۶
۱-۳ محاسبه و طراحی بلور فوتونی.....	۳۷

۴۱	..... ۲-۳ طراحی و شبیه سازی آنتن میکرواستریپ
۴۱	..... ۱-۲-۳ طراحی آنتن میکرواستریپ با زیرلایه یکنواخت
۴۷	..... ۲-۲-۳ طراحی آنتن با زیرلایه بلور فوتونی
۴۸	..... فصل چهارم: نتایج شبیه سازی
۴۹	..... ۱-۴ نتایج
۶۵	..... فصل پنجم: نتیجه گیری
۶۶	..... ۱-۵ بحث و نتیجه گیری
۶۸	..... پیشنهادات
۶۹	..... پیوست « آ » برنامه ای به زبان MATLAB جهت تعیین باند ممنوعه فوتونی
۷۳	..... پیوست « ب » مقایسه الکترودینامیک و مکانیک کوانتومی
۷۵	..... پیوست « ج » الکترومغناطیس محیط های متناوب اپتیکی
۷۷	..... پیوست « د » الکترومغناطیس به صورت مسأله ویژه مقداری
۷۹	..... پیوست « ه » انرژی الکترومغناطیسی و اصل وردشی
۸۱	..... پیوست « و » خواص مقیاس بندی معادله های ماکسول
۸۳	..... پیوست « ز » شبکه وارون و ساختن بردارهای آن
۸۵	..... مراجع
۸۷	..... واژه نامه انگلیسی به فارسی

فهرست اشکال

شکل های فصل ۱:

- شکل ۱-۱: نمای آنتن میکرواستریپ مستطیلی با خط تغذیه میکرواستریپ..... ۳
- شکل ۲-۱: چهار روش تغذیه آنتن میکرواستریپ..... ۴
- شکل ۳-۱: نمودارهای امیدانس مشخصه خط تغذیه میکرو استریپ بر حسب w/h ۵
- شکل ۴-۱: نمودار امیدانس مشخصه تغذیه کواکسیال بر حسب b/a ۶
- شکل ۵-۱: توزیع میدان بر روی پچ..... ۶
- شکل ۶-۱: اثر نشتی میدان بر روی آنتن میکرواستریپ و ثابت دی الکتریک موثر..... ۷
- شکل ۷-۱: نمودار ثابت دی الکتریک موثر بر حسب فرکانس..... ۸
- شکل ۸-۱: طول های فیزیکی و موثر پچ مستطیلی میکرواستریپ..... ۹

شکل های فصل ۲

- شکل ۱-۲: بلور فوتونی یابلونوویت..... ۱۵
- شکل ۲-۲: بلور فوتونی یک بعدی و پاسخ آن به دو طول موج متفاوت..... ۱۵
- شکل ۳-۲: نمایش دو هندسه پایه بلور فوتونی دوبعدی..... ۱۶
- شکل ۴-۲: نمایش تقارن دورانی و سلول واحد در دو بلور فوتونی دوبعدی..... ۱۷
- شکل ۵-۲: بلور فوتونی گرافیت و فیبر براگ..... ۱۷
- شکل ۶-۲: تصاویری از بلورهای فوتونی مثلثی و گرافیت..... ۱۸
- شکل ۷-۲: ساختار هندسی شبه بلور با تقارن دورانی پنج گون..... ۱۹
- شکل ۸-۲: یک پیکربندی دی الکتریک با تقارن انتقالی گسسته..... ۱۹
- شکل ۹-۲: چپ: یک بلور فوتونی از شبکه مربعی. راست: منطقه بریلوئن شبکه مربعی..... ۲۴
- شکل ۱۰-۲: مشخص کردن منطقه بریلوئن..... ۲۵
- شکل ۱۱-۲: شبکه بلور فوتونی مربعی..... ۲۶

- شکل ۲-۱۲: شبکه بلور فوتونی مثلثی..... ۲۷
- شکل ۲-۱۳: فیلم بس لایه ای، یک بلور فوتونی یک بعدی..... ۲۷
- شکل ۲-۱۴: ساختارهای نواری فوتونی برای سه فیلم بس لایه‌ای متفاوت با پهنای $0.5a$ ۲۹
- شکل ۲-۱۵: نمایش مدهای مرتبط با پایین ترین شکاف نواری تصویر وسط شکل ۲-۱۴..... ۳۰
- شکل ۲-۱۶: ساختار نواری فوتونی یک فیلم بس لایه ای با لایه ها و پهنای متفاوت..... ۳۱

شکل های فصل ۳

- شکل ۳-۱: سلول واحد یک بلور فوتونی مثلثی به همراه ثابت شبکه ۳۸
- شکل ۳-۲: نمودار باند ممنوعه فوتونی برای شبکه مثلثی در یک زیرلایه گالیوم-آرسناید..... ۳۹
- شکل ۳-۳: زیرلایه آنتن میکرواستریپ حاوی یک شبکه بلور فوتونی مثلثی..... ۴۱
- شکل ۳-۴: نمای منوی اصلی نرم افزار CST STUDIO SUITE..... ۴۲
- شکل ۳-۵: نمای منوی اصلی نرم افزار HFSS..... ۴۳
- شکل ۳-۶: مقادیر محاسبه شده خط تغذیه بهینه آنتن طراحی شده توسط نرم افزار TXLine..... ۴۴
- شکل ۳-۷: ابعاد بهینه خط تغذیه..... ۴۵
- شکل ۳-۸: آنتن طراحی شده با ابعاد زیرلایه $۱۶/۲ * ۱۲/۲$ ، در نرم افزار CST..... ۴۵
- شکل ۳-۹: نمای آنتن میکرواستریپ طراحی شده با زیرلایه $۱۶/۲ * ۱۲/۲$ ، در HFSS 12..... ۴۶
- شکل ۳-۱۰: نمای آنتن طراحی شده با زیرلایه بزرگتر $۸۰ * ۵۰$ میلیمتر..... ۴۷
- شکل ۳-۱۱: نمای آنتن با زیرلایه بلور فوتونی مثلثی با ابعاد $۸۰ * ۵۰$ میلیمتر..... ۴۷

شکل های فصل ۴

- شکل ۴-۱: تلفات بازگشتی آنتن $۱۶/۲ * ۱۲/۲$ با استفاده از نرم افزار CST..... ۵۰
- شکل ۴-۲: نمودار تلفات بازگشتی برای آنتن $۵۰ * ۸۰$ میلیمتری، با دو زیرلایه یکنواخت و بلوری... ۵۰
- شکل ۴-۳: نمودار بهره و الگوی تشعشعی، (الف) آنتن $۱۶/۲ * ۱۲/۲$ ، (ب) آنتن $۵۰ * ۸۰$ ساده،
(ج) آنتن $۵۰ * ۸۰$ با زیرلایه بلور فوتونی..... ۵۲

- شکل ۴-۴: آنتن های طراحی شده با زیرلایه های بلوری متفاوت در بسامد قطع ۰/۴۸ ۵۴
- شکل ۴-۵: نمودار تلفات بازگشتی آنتن با زیرلایه های بلوری متفاوت در بسامد قطع ۰/۴۸ ۵۵
- شکل ۴-۶: نمونه از دو تخته بلور فوتونی، (الف) نوع میله ای و (ب) نوع حفره دار ۵۷
- شکل ۴-۷: نمودار پهنای درصدی شکاف نواری به ضخامت تخته بلور بر حسب ثابت شبکه ۵۸
- شکل ۴-۸: نمودار باند ممنوعه تخته بلور فوتونی در منطقه بریلوئن تحویل ناپذیر ۵۹
- شکل ۴-۹: آنتن با زیرلایه تخته بلوری ۶۰
- شکل ۴-۱۰: نمودار تلفات بازگشتی آنتن های بلوری طراحی شده با در نظر گرفتن ضخامت ۶۱
- شکل ۴-۱۱: نمودار بهره تشعشی در آنتن $۱۲/۶ * ۱۷$ میلیمتر ۶۲
- شکل ۴-۱۲: نمودار جهت دهی تشعشی در آنتن $۱۲/۶ * ۱۷$ میلیمتر ۶۳

فهرست جداول

- جدول ۳-۱: مشخصات بلور فوتونی طراحی شده در زیرلایه آنتن..... ۴۰
- جدول ۳-۲: مشخصات هندسی سلول واحد در بلور فوتونی مثلثی زیرلایه..... ۴۰
- جدول ۳-۳: مشخصات هندسی آنتن میکرواستریپ طراحی شده..... ۴۳
- جدول ۳-۴: مشخصات تغذیه بهینه آنتن میکرواستریپ طراحی شده..... ۴۴
- جدول ۴-۱: مقایسه پهنای باند آنتن های طراحی شده اولیه..... ۵۱
- جدول ۴-۲: مقایسه پارامترهای تشعشی آنتن های طراحی شده در فرکانس تشدید آنها..... ۵۳
- جدول ۴-۳: مشخصات هندسی سلول واحد در بلور فوتونی مثلثی زیرلایه..... ۵۳
- جدول ۴-۴: مقایسه پهنای باند آنتن های طراحی شده زیرلایه یکنواخت و بلوری با ابعاد زیرلایه متفاوت در بسامد باند ممنوعه $0/48$ ۵۵
- جدول ۴-۵: مقایسه پارامترهای تشعشی آنتن های طراحی شده در فرکانس تشدید و بسامد باند ممنوعه $0/48$ ۵۶
- جدول ۴-۶: مشخصات هندسی زیرلایه (تخته بلور فوتونی) طراحی شده..... ۵۹
- جدول ۴-۷: مشخصات بهبود یافته آنتن اولیه برای طراحی جدید با تخته بلور فوتونی مثلثی..... ۶۰
- جدول ۴-۸: مقایسه تلفات بازگشتی آنتن های طراحی شده با در نظر گرفتن ضخامت..... ۶۲
- جدول ۴-۹: مقایسه پارامترها در نمودار بهره تشعشی آنتن $12/6 * 17$ میلیمتر طراحی شده در فرکانس تشدید آنها..... ۶۳
- جدول ۴-۱۰: مقایسه پارامترها در نمودار جهت دهی آنتن $12/6 * 17$ میلیمتر طراحی شده در فرکانس تشدید آنها..... ۶۴
- جدول ب-۱: مقایسه مکانیک کوانتومی و الکترودینامیک..... ۷۳
- جدول ب-۲: مقایسه مکانیک کوانتومی با الکترودینامیک در دستگاههای دوره ای..... ۷۴

کلمات اختصاری

PC	Photonic Crystal
PBG	Photonic bandgap
FDTD	Finite Difference Time Domain
FDFD	Finite Difference Frequency Domain
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
BW	Bandwidth
F/B	Front to Back
TEM	Transverse Electromagnetic
TE	Transverse Electric
TM	Transverse Magnetic
CST	Computer Simulation Technology
HFSS	High Frequency System Software
MPBs	MIT Photonic Bandgap software

فصل اول:

مقدمه ای بر آنتن های میکرواستریپ

۱-۱ تاریخچه و تعاریف کلی

نظریه تئوری آنتن های میکرواستریپ^۱ ابتدا در سال ۱۹۵۰ ارائه شد. در سال ۱۹۷۰ اولین آنتن عملی که دارای یک مدل تئوری خوب از طلا و مس و ثابت دی الکتریک با محدوده وسیع، جذب دمایی پایین و تانژانت تلفات کم بود، ساخته شد. پیشرفت و تحقیقات زیاد در مورد آرایه های آنتن میکرواستریپ با سرعت زیادی به علت وزن سبک، حجم کم، هزینه پایین این آنتن ها صورت گرفت. در ساده ترین حالت، یک آنتن میکرواستریپ از قرار دادن یک پچ فلزی مستطیلی روی زیرلایه دی الکتریک تحقق می یابد. در عملکردهای هواپیما، فضاپیما، ماهواره و کاربردهای موشکی جایی که اندازه، وزن و آسانی نصب محدودیت ایجاد می کند، آنتن های میکرواستریپ بهترین فاکتور انتخابی می باشند. آنتن های میکرواستریپ اغلب به طور مجتمع با دیگر مدارهای مایکروویوی ساخته می شوند [۱-۴].

مزایای آنتن های میکرواستریپ به طور کامل تر عبارت است از:

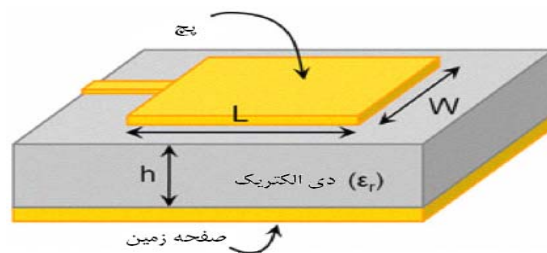
- ۱- اندازه و حجم کوچک
- ۲- کم وزن و کم هزینه بودن
- ۳- قابلیت مجتمع سازی با مدارهای الکترونیکی
- ۴- کاربردهای آرایه ای

معایب اصلی آنتن های میکرواستریپ عبارتست از:

¹ Microstrip antenna

- ۱- بازده تابشی کم^۲
- ۲- توان تشعشی کم
- ۳- خواص قطبشی ضعیف
- ۴- تابش‌های تغذیه‌ای ناخواسته^۳
- ۵- پهنای باند کم

در عمل پهنای باند یک درصد و گاهی چند درصد است. فناوری های اخیر توانسته این پهنای باند را به بیش از ده درصد افزایش دهد [۳-۵]. ساده ترین شکل آنتن میکرواستریپ مستطیلی شامل یک پچ فلزی مستطیلی تشعشع کننده بسیار نازک ($t \ll \lambda_0$) که طول موج فضای آزاد است) با پهنای W و طول L است که مطابق شکل ۱-۱ بر روی زیرلایه‌ای از یک ماده عایقی با ضخامت h کم (که $h < \lambda_0$ و $0.003\lambda_0 < h < 0.05\lambda_0$) و ثابت دی الکتریک $2.2 < \epsilon_r < 12$ و سطح زمین که در طرف دیگر می باشد قرار گرفته است [۶].



شکل ۱-۱: نمای آنتن میکرواستریپ مستطیلی با خط تغذیه میکرواستریپ

برای بهبود میدان های کناری که از تشعشع و تابش ایجاد می شود و برای بهره بالاتر از دی الکتریک با ثابت دی الکتریک پایین استفاده می شود. زیرلایه‌هایی که قطر بیشتری دارند معمولا برای این آنتن ها مناسب تر هستند. زیرلایه با دی الکتریک بالاتر برای مدارات میکروویوی مناسب تر است. با استفاده از زیرلایه نازک تر ابعاد آنتن نیز کاهش خواهد یافت اما به خاطر تلفات بیشتر، دارای توان کمتر و پهنای باند کمتری می باشد. از آنجا که آنتن های میکرواستریپ اغلب با مدارات میکروویو همراه هستند، باید تعادلی برای دست یافتن به مشخصات خوب آنتن و هماهنگی با این مدارات برقرار شود. در این پایان نامه، یکی از روشهای مفید برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است.

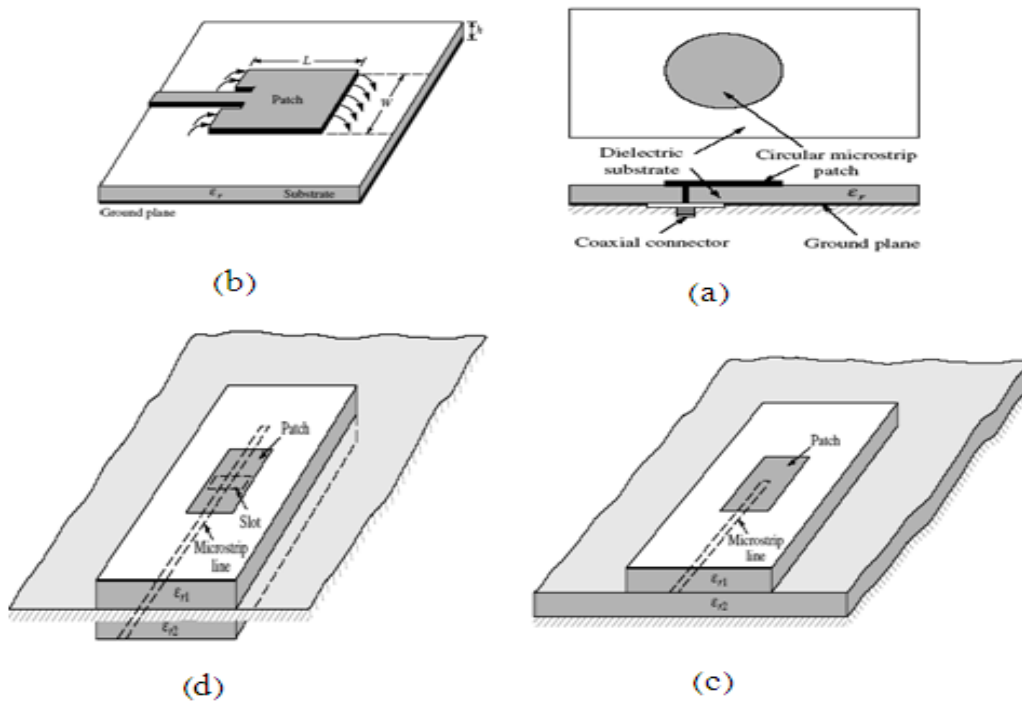
² Radiation effect

³ Probe feed radiation

۲-۱ روش های تغذیه

برای تغذیه پچ در آنتن های میکرواستریپ روش های متفاوتی وجود دارد. تطبیق بین آنتن و خط تغذیه معمولا مورد نیاز است. دستیابی به این تطبیق با انتخاب مناسب مکان خط به روی آنتن و ابعاد تغذیه امکان پذیر است. البته مکان تغذیه ممکن است بر خواص تشعشی آنتن تاثیر بگذارد. چهار روش متداول برای تغذیه موجود است:

- ۱- خطوط میکرواستریپ^۴
- ۲- کابل هم محور (کواکسیال)^۵
- ۳- تزویج روزنه ای^۶
- ۴- تزویج مجاورتی^۷

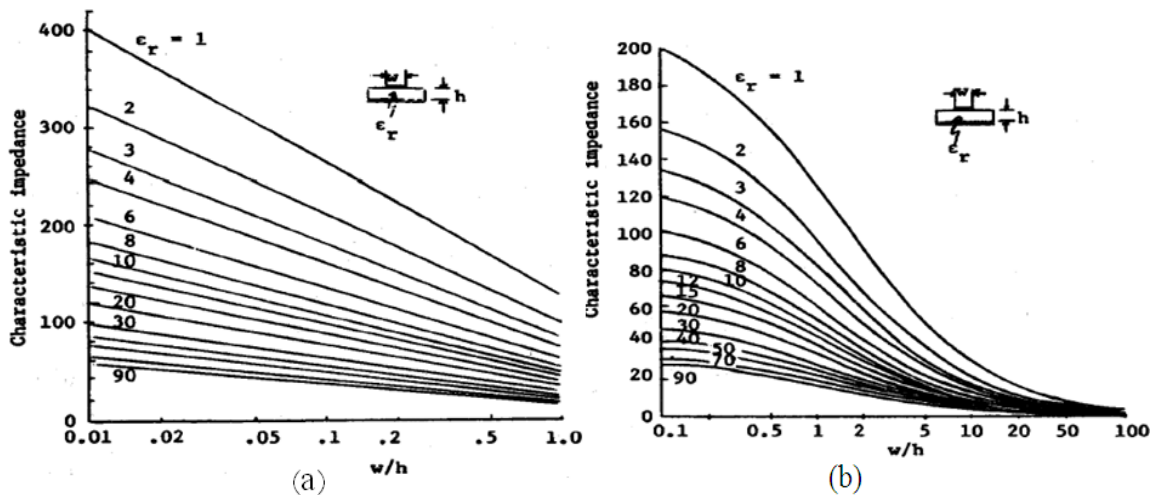


شکل ۲-۱: چهار روش تغذیه آنتن میکرواستریپ (a) کواکسیال، (b) میکرواستریپ، (c) تزویج مجاورتی، (d) تزویج روزنه ای

از ویژگی های خط تغذیه میکرواستریپ ساخت ساده، تطبیق ساده با کنترل مکان خط می باشد. هنگامیکه دی الکتریک ضخیم شود امواج سطحی افزایش یافته و باعث محدود شدن پهنای باند در

⁴ Microstrip line
⁵ Coaxial probe
⁶ Aperture coupling
⁷ Proximity coupling

ساختارهای عملی می شوند. خط انتقال میکرواستریپ در مد TEM کار می کند. در این پایان نامه برای تغذیه آنتن ها از خط انتقال میکرواستریپ استفاده شده است. امپدانس مشخصه^۸ این خط انتقال برای تطبیق امپدانس از رابطه و نمودارهای زیر محاسبه می شود. نمودار چپ برای $w/h < 1$ استفاده می شود و نمودار راست برای $w/h > 1$ استفاده می شود. رابطه (۱-۱) نیز رابطه دقیق امپدانس مشخصه می باشد [۸،۷].



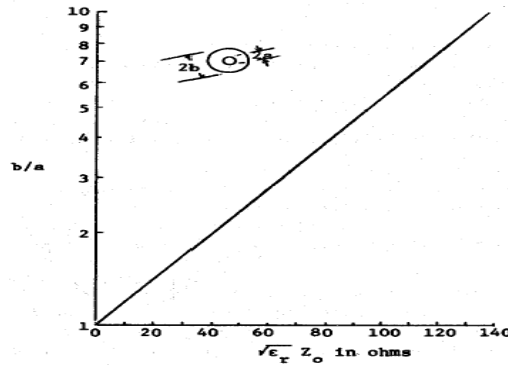
شکل ۱-۳: نمودارهای امپدانس مشخصه خط تغذیه میکرو استریپ بر حسب w/h

$$Z_0 = \frac{377 h}{\sqrt{\epsilon_r} w} \quad (1-1)$$

کابل کواکسیال دارای دو هادی می باشد. هادی داخلی به پیچ اتصال یافته و هادی خارجی به سطح زمین می رسد. این نوع تغذیه نیز ساخت و تطبیق ساده ای دارد و به طور گسترده استفاده می شود. این خط انتقال به طور عمده برای دی الکتریک های ضخیم استفاده می شوند و تشعشعات ناخواسته کمتری دارند. خط انتقال کواکسیال که از خطوط انتقال دوتایی است و صرفاً در مد TEM کار می کند. امپدانس مشخصه خط انتقال از نمودار شکل ۱-۴ و فرمول زیر محاسبه می شود.

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{b}{a} \quad (2-1)$$

⁸ Characteristic impedance

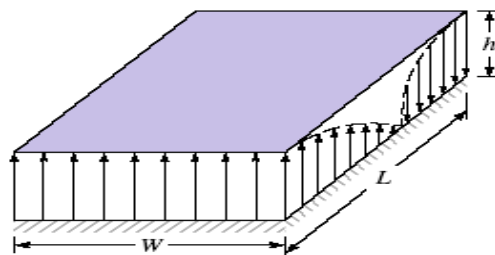


شکل ۱-۴: نمودار امپدانس مشخصه تغذیه کواکسیال بر حسب b/a [۹]

روش تزویج در حل مشکلات ناشی از دو خط تغذیه قبل در حذف تولید مدهای بالاتر طراحی شده است. این نوع تغذیه ساختار بسیار سخت دارد. شکل ظاهری آن دارای دو دی الکتریک که بوسیله سطح زمین از هم جدا شده اند می باشد. بروی سطح پایینی دی الکتریک پایین، خط میکرواستریپ قرار دارد. انرژی از طریق روزنه‌ای که روی سطح زمین قرار دارد به پچ می رسد. از محاسن این روش مستقل بودن مکانیزم تغذیه و عنصر تشعشی و افزایش پارامتر آزاد طراحی که اندازه و مکان شکاف است می باشد. اصولاً دی الکتریک بالایی، ضریب دی الکتریک بزرگتر و ضخامت بیشتری دارد. مدل کردن تغذیه تزویج مجاورتی، تا حدودی ساده است و انتشارات ناخواسته کمتری دارد.

۳-۱ مکانیزم تشعشع در آنتن میکرواستریپ

تشعشع از یک آنتن میکرواستریپ با بررسی پچ آن که اندازه اش کسر کوچکی از طول موج است فهمیده می شود. میدان‌ها در طول بزرگتر پچ (L)، تغییر می کنند. اغلب توسط میدان‌های کناری که در لبه های مدار باز پچ می باشند صورت می پذیرد. میدان‌ها در پایان می توانند به مولفه نرمالیزه و مماس نسبت به صفحه زمین شده تبدیل گردند. در طراحی‌ها با انتخاب $L = \lambda/2$ مولفه نرمالیزه در دسترس نیست و میدان‌های دور تولید شده توسط خودشان در جهت سطح حذف می گردند [۹، ۱۰].



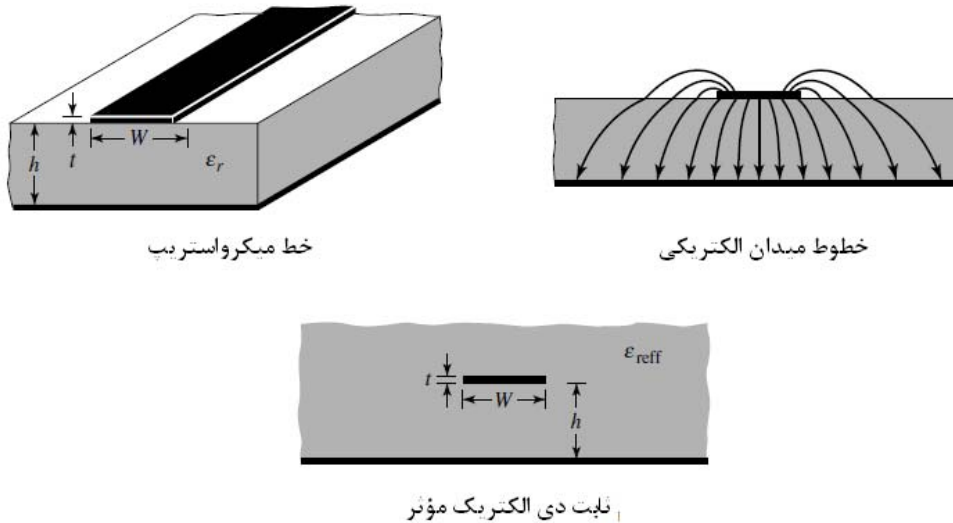
شکل ۱-۵: توزیع میدان بر روی پچ

۴-۱ روش های تحلیل

روش های تحلیل متفاوتی برای آنتن میکرواستریپ وجود دارد. رایج ترین مدل های تحلیل عبارتند از: مدل خط انتقال^۹، مدل محفظه تشدید^{۱۰} و مدل تمام موج^{۱۱} (که شامل معادلات انتگرالی معمولی و روش انتگرال های ممان است). مدل خط انتقال آسان ترین روش تحلیل است. این روش به واقعیت های فیزیکی نزدیک تر می باشد، محاسبات کمتری نیاز دارد، اما به طور کامل دقیق نیست. مدل محفظه ای تشدید در مقایسه با مدل خط انتقال دقیق تر ولی پیچیده تر است. مدل تمام موج از دو روش دیگر دقیق تر و روان تر است. در این روش تحلیل می توان المان های جدا از هم و آرایه ای، محدود و غیر محدود، پشته ای، با شکل های دلخواه و کوپل شده را مدل کرد اما این مدل از دو مدل قبلی بسیار پیچیده تر است. در اینجا مدل خط انتقال که برای پچ های دایروی و مستطیلی کاربرد دارد مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد [۱۱-۱۳].

۱-۴-۱ مدل خط انتقال

به دلیل محدود بودن ابعاد پچ، نشتی میدان در کناره های پچ وجود دارد. مقدار نشتی تابعی از ابعاد پچ و ضخامت زیر لایه است. به طور بهینه در آنتن میکرواستریپ به ازای $L/h \gg 1$ ، نشتی کاهش می یابد. با وجود متفاوت بودن فرکانس تشدید برای هر آنتن مقدار نشتی در هر آنتن متفاوت است.



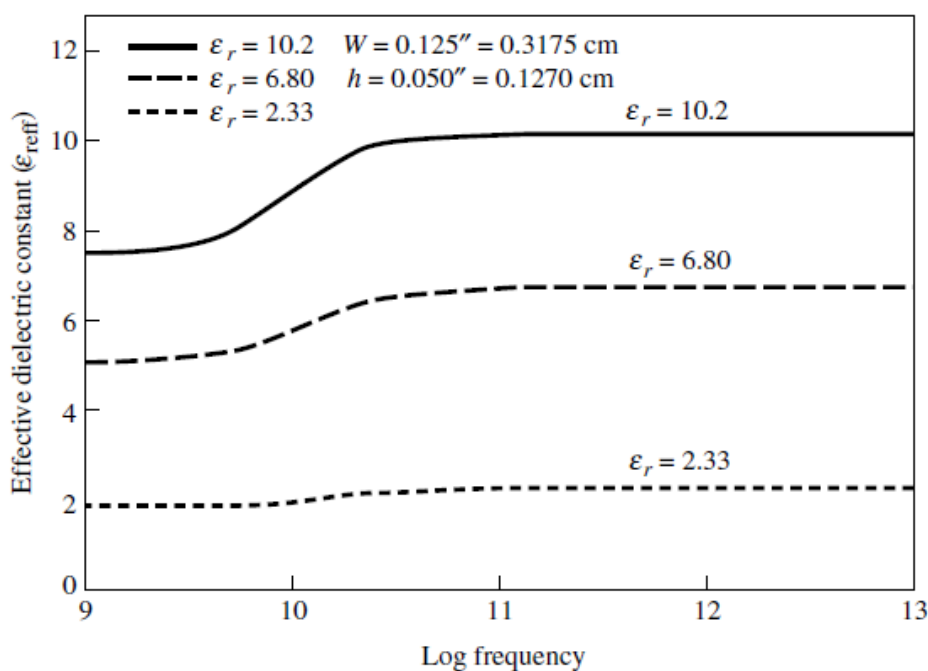
شکل ۱-۶: اثر نشتی میدان بر روی آنتن میکرواستریپ و ثابت دی الکتریک مؤثر [۱۲]

⁹ Transmission line

¹⁰ Cavity

¹¹ Full-wave

در شکل بالا که نمای میدان در این آنتن می باشد، بسیاری از خطوط در زیرلایه متمرکز شده اند و قسمتی از خطوط میدان در هوا وجود دارند. این نشتی باعث پهن تر دیده شدن ابعاد و تعریف جدید $\epsilon_{r\text{eff}}$ به جای ϵ_r می شود ($1 < \epsilon_{r\text{eff}} < \epsilon_r$). برای اغلب کاربردها که ثابت دی الکتریک زیرلایه بالاتر از یک است این دو مقدار بسیار نزدیک به هم می باشند. ثابت دی الکتریک نیز تابع فرکانس مرکز آنتن میکرواستریپ می باشد و در فرکانس های بالا به دلیل عبور بیشتر این میدان ها از زیر لایه ثابت دی الکتریک موثر به ثابت دی الکتریک زیر لایه می رسد. تغییرات ثابت دی الکتریک موثر به عنوان تابعی از فرکانس برای نوار میکرواستریپ با سه زیرلایه مختلف در شکل ۷-۱ نشان داده شده است.



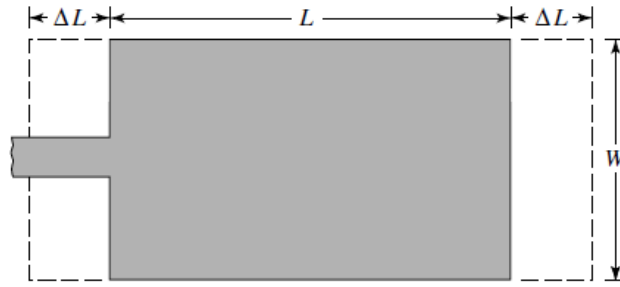
شکل ۷-۱: نمودار ثابت دی الکتریک موثر بر حسب فرکانس [۱۲]

ثابت دی الکتریک موثر از رابطه زیر محاسبه می شود.

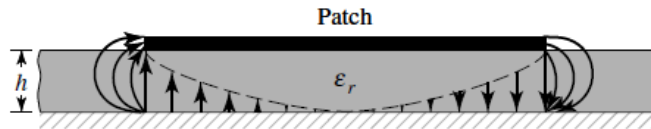
$$\frac{w}{h} > 1 \quad (3-1)$$

$$\epsilon_{r\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (4-1)$$

همان طور که گفته شد ابعاد فیزیکی آنتن میکرو استریپ نیز تحت تاثیر این نشتی قرار میگیرد.



(a) Top view



شکل ۸-۱: طول های فیزیکی و موثر پچ مستطیلی میکرواستریپ [۱۲]

از شکل بالا پیداست که به دلیل اثر لبه ای^{۱۲} طول ΔL به دو انتهای واقعی پچ اضافه شده است. این تغییر طول تابع $\epsilon_{r\text{eff}}$ می باشد. یک رابطه تقریبی بسیار معروف و کاربردی برای توضیح گسترش نرمال به شرح زیر است.

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{r\text{eff}} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{r\text{eff}} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad (5-1)$$

طول موثر از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad (6-1)$$

برای مد غالب TM_{101} فرکانس تشدید که تابعی از طول است از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$f_r = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (7-1)$$

که c سرعت نور در فضای آزاد است. البته رابطه دقیق بالا با قرار گرفتن $\epsilon_{r\text{eff}}$ به جای ϵ_r و L_{eff} به جای L میسر می شود. روند طراحی یک آنتن ساده میکرواستریپ با پچ مستطیلی معرفی شده در شکل ۱-۱ با داشتن ϵ_r ، f_r ، h معلوم و به دست آوردن w و h مجهول از روابط زیر به دست می آید.

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (8-1)$$

¹² Fringing effect

$$L = \frac{1}{2\sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} - 2\Delta L = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}}} - 2\Delta L \quad (9-1)$$

۵-۱ پهنای باند

پهنای باند امپدانس آنتن میکرواستریپ در ساختارهایی که $h/\lambda_0 < 0.023$ ، $\epsilon_r \cong 10$ دارند می تواند حتی کمتر از یک درصد باشد. این پهنای باند می تواند از ۱۵٪ تا ۵۰٪ افزایش یابد. استفاده از دی پل ها، ایجاد شکاف ها و... این مسئله را تحقق می بخشد. حتی در بحث های خیلی موفق این پهنای باند تا ۹۰٪ افزایش یافته است. تحقق این روش ها با افزایش حجم آنتن نیز میسر می شود. در این پایان نامه نیز یکی از این روش های مؤثر در بهبود پهنای باند معرفی می شود.

۱-۵-۱ روابط تئوری پهنای باند

برای اینکه یک خط تغذیه بتواند تمام قدرت خود را به آنتن انتقال دهد، بایستی تطبیق خط به آنتن کامل باشد و در این حالت در صورت مقاومتی بودن امپدانس ها، امپدانس ورودی آنتن برابر امپدانس مشخصه خط است.

$$z_A = z_0 \quad (10-1)$$

در این صورت ضریب برگشت در خط (Γ) در خط برابر صفر و ضریب موج ساکن در آن برابر یک خواهد شد.

$$\Gamma = \frac{z_A - z_0}{z_A + z_0} = 0 \quad (11-1)$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (12-1)$$

در این حالت به دلیل عدم برگشتی، قدرت انتقالی p_1 برابر همان قدرت فرستنده p_t خواهد بود. حال با فرض اینکه امپدانس خط با امپدانس ورودی آنتن یکی نباشد.

$$z_A \neq z_0 \quad (13-1)$$

در این صورت طبق رابطه فوق $\Gamma \neq 0$ بوده و مقدار $-1 < \Gamma < +1$ خواهد داشت و همچنین ضریب موج ساکن در خط برابر یک نیست و مقداری بزرگتر از آن خواهد شد. به عبارتی دیگر:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} > 1 \quad (14-1)$$

در این حالت تطبیق خط به آنتن کامل نبوده و به دلیل قدرت برگشتی p_r قدرت انتقالی به آنتن یعنی p_2 کمتر از قدرت فرستنده خواهد بود به طوری که:

$$p_r = |\Gamma|^2 p_t \quad (15-1)$$

$$p_2 = p_t - p_r = p_t - |\Gamma|^2 p_t \quad (16-1)$$

نسبت بهره ها را در دو حالت تطبیق و عدم تطبیق می توان از رابطه زیر به دست آورد.

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{p_t(1-|\Gamma|^2)}{p_t} = 1-|\Gamma|^2 \quad (17-1)$$

رابطه فوق نشان می دهد که در حالت عدم تطبیق امپدانس، بهره آنتن به اندازه $1-|\Gamma|^2$ کاهش یافته است. بالا بودن ضریب موج ساکن همچنین بهره آنتن را کاهش می دهد. پهنای باند فرکانسی یک آنتن به محدوده فرکانسی اطلاق می شود که در آن خواص تشعشی آنتن، نظیر ضریب موج ساکن، دیاگرام تشعشع، بهره و... در حد مطلوب باقی بماند. یک آنتن معمولاً برای یک پهنای باند فرکانسی محدود طراحی می شود که در آن $VSWR$ از حد معین قابل قبولی تجاوز نکند. محدوده‌ای که در آن ضریب موج ساکن از مقدار ۲ کمتر باشد را به عنوان پهنای باند امپدانس ۵۰٪ می شناسیم [۱۲-۱۵].

در محاسبات، پهنای باند امپدانس ($VSWR < 2$) مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به این مقدار، میزان ضریب برگشت در خط برابر $\Gamma = 1/3$ می باشد. با توجه به این مقادیر با رسم منحنی ضریب موج ساکن یا همان $VSWR$ ، دو فرکانسی که به ازای آن ها $VSWR$ از ۲ کمتر میشود را به دست خواهیم آورد. اگر فرض شود که این دو فرکانس f_1 و f_2 باشند، پهنای باند از رابطه زیر به دست خواهد آمد.

$$BW = f_2 - f_1 \quad (18-1)$$

البته چنین مرسوم است که به جای استفاده از نسبت موج ساکن $VSWR$ از نمودار تلفات بازگشتی استفاده می شود. این نمودار نسبت توان بازتابیده شده به توان کل تابشی به پورت ورودی (p_r/p_t) را در بازه فرکانسی نشان می دهد که به نمودار S-Parameter معروف است. با توجه به میزان $VSWR=2$ و $\Gamma = 1/3$ و همچنین طبق روابط زیر، می توان پهنای باند امپدانس را در نمودار S-Parameter تعریف نمود. با توجه به این تعریف، بازه فرکانسی با میزان تلفات بازگشتی کمتر از ۱۰ dB، بیانگر پهنای باند امپدانس در نمودار تلفات بازگشتی می باشد.

$$S(dB) = 10 \log(p_r/p_t) = 10 \log(|\Gamma|^2) \quad (19-1)$$

$$|\Gamma| = 1/3 \Rightarrow S(dB) = 10 \log(|\Gamma|^2) = -9.54 \quad (20-1)$$

$$S(dB) \cong -10 \quad (21-1)$$

بنابراین محدوده کمتر از -10 به عنوان پهنای باند امیدانسی محسوب می شود. البته پهنای باند را برای مقایسه بهتر بر حسب درصد بیان می کنند [۱۳-۱۵].

$$BW\% = \frac{f_2 - f_1}{f_r} \quad (22-1)$$

فصل دوم:

ساختار بلورهای فوتونی