

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات

استفاده از ساختارهای باند ممنوعه الکترومغناطیسی  
جهت بهبود پارامترهای تشعشی آنتن

نگارش :

معصومه رضائی آبکنار

استاد راهنما:

دکتر پژمان رضائی

مهر ۱۳۸۹

تقدیم به بهترین های دنیا

مادر مهربان و پدر عزیزم

آنان که فروغ نگاهشان سرمایه جاودان زندگی ام است،  
و پرتو گرم از خودگذشتگی و حمایتشان همواره بر زندگی ام سایه داشته است.

با سپاس فراوان از استاد گرامی

جناب آقای دکتر پژمان رضائی

که با راهنمایی های ارزنده خویش پیمودن راه را بر من آسان نمودند.



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات

استفاده از ساختارهای باند ممنوعه الکترومغناطیسی  
جهت بهبود پارامترهای تشعشی آنتن

نگارش:

معصومه رضائی آبکنار

استاد راهنما:

دکتر پژمان رضائی

مهر ۱۳۸۹

## چکیده

ساختارهای متناوب مصنوعی به علت خواص قابل توجهی نظیر جلوگیری از انتشار امواج الکترومغناطیسی در یک باند فرکانسی محدود و انعکاس هم فاز، در دو دهه اخیر کاربرد وسیعی در علوم مهندسی یافته‌اند. در این پایان‌نامه ساختارهای باند ممنوعه الکترومغناطیسی معرفی و مشخصات اصلی آنها شامل باند ممنوعه الکترومغناطیسی برای امواج سطحی و فاز انعکاس متغیر با فرکانس برای امواج مسطح بررسی شده است. همچنین انواع مختلفی از این ساختارهای مصنوعی و کاربرد آنها در بهبود عملکرد آنتن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. سه روش اصلی شبیه‌سازی و تحلیل ساختارهای باند ممنوعه به منظور شناسایی مشخصات و تعیین بازه فرکانسی عملکرد آنها معرفی شده است. این روش‌ها که شامل نمودار پراکندگی، نمودار فاز انعکاس و روش انتقال مستقیم می‌باشند، پیاده‌سازی شده‌اند. در ادامه جهت بررسی اثر این ساختارها بر عملکرد آنتن، از یک ساختار باند ممنوعه به عنوان صفحه زمین آنتن دوقطبی استفاده شده است. در این حالت امکان عملکرد مناسب آنتن در فاصله ای کمتر از  $0.1$  طول موج، از صفحه زمین ایجاد می‌شود. عملکرد آنتن بر روی صفحه زمین باند ممنوعه، با صفحه زمین هادی الکتریکی کامل مقایسه شده و نتایج نشان دهنده  $28/69\text{dB}$  بهبود در تلفات بازگشتی و  $6/6\%$  بهبود پهنای باند فرکانسی تطبیق ورودی آنتن می‌باشد. سپس با ایجاد تغییراتی در طراحی ساختار باند ممنوعه اولیه، ساختار بهبود یافته‌ای با فرکانس کار پایین‌تر و در نتیجه ابعاد الکتریکی فشرده‌تر ارائه شده است. نتایج نشان دهنده آن است که این ساختار با ابعادی مشابه ساختار اولیه، دارای فرکانس تشدیدی به میزان  $15/3\%$  کمتر بوده و از سوی دیگر اندازه آن نسبت به ساختار پایه ای که دارای پاسخ فرکانسی مشابه باشد، به میزان  $20\%$  کوچکتر است. استفاده از این ساختار به عنوان زمین آنتن سیمی، تلفات بازگشتی آنتن را بیش از ساختار اولیه بهبود می‌بخشد. همچنین از ساختارهای باند ممنوعه الکترومغناطیسی به عنوان زیرلایه یک آنتن میکرواستریپ استفاده شده و پهنای باند آنتن به میزان  $17/5\%$  بهبود داده شده است. برای شبیه‌سازی ساختارها از نرم افزار عددی<sup>1</sup> Ansoft HFSS استفاده شده است.

**کلمات کلیدی:** ساختار باند ممنوعه الکترومغناطیسی، فرامواد، فاز انعکاس، نمودار پراکندگی، تلفات بازگشتی

<sup>1</sup> High Frequency Structure Simulator

# فهرست مطالب

۱	۱ مقدمه
۱	۱-۱ معرفی ساختارهای EBG
۲	۱-۱-۱ تاریخچه
۴	۱-۱-۲ ویژگی های ساختارهای EBG
۷	۲-۱ هدف پایان نامه
۸	۳-۱ ساختار کلی پایان نامه
۹	۲ امواج سطحی
۹	۱-۲ امواج سطحی در سطح مشترک دو محیط
۱۲	۲-۲ امواج سطحی در سطوح فلزی
۱۵	۳-۲ امپدانس سطحی
۱۸	۳ ساختارهای باند ممنوعه الکترومغناطیسی و کاربرد آنها در آنتن
۱۸	۱-۳ طراحی ساختارهای EBG
۱۹	۱-۱-۳ سطوح شیاردار
۲۱	۲-۱-۳ ساختار EBG قارچی شکل
۲۵	۲-۳ معرفی چند ساختار EBG
۲۵	۱-۲-۳ Uni-planar EBG
۲۶	۲-۲-۳ سطوح EBG وابسته به پلاریزاسیون (PDEBG)
۲۸	۳-۲-۳ ساختار EBG حلزونی فشرده
۲۹	۴-۲-۳ ساختارهای EBG دو لایه
۳۰	۳-۳ کاربرد ساختارهای EBG در آنتن
۳۲	۱-۳-۳ آنتن های سیمی روی صفحه زمین EBG
۴۰	۲-۳-۳ آنتن های پچ و ساختارهای EBG
۴۴	۴ تحلیل ساختارهای EBG
۴۴	۱-۴ مدلسازی یک ساختار EBG
۴۴	۱-۱-۴ مدل محیط موثر
۴۶	۲-۱-۴ مدل خط انتقال متناوب
۴۸	۳-۱-۴ مدل خط انتقال برای امواج مسطح
۵۰	۴-۱-۴ روش های عددی تمام موج
۵۱	۲-۴ شبیه سازی یک ساختار EBG جهت شناسایی مشخصات آن
۵۱	۱-۲-۴ نمودار پراکندگی

۵۷	۲-۲-۴ نمودار فاز انعکاس
۶۱	۳-۲-۴ روش انتقال مستقیم (نمودار S <sub>۲۱</sub> )
۶۳	<b>۵ طراحی و شبیه سازی ساختارهای EBG جهت بهبود عملکرد آنتن</b>
۶۳	۱-۵ آنتن دوقطبی روی صفحه زمین EBG
۶۴	۱-۱-۵ طراحی ساختار EBG
۶۷	۲-۱-۵ آنتن دوقطبی کم ارتفاع با صفحه زمین EBG
۷۱	۲-۵ طراحی ساختار EBG بهبود یافته
۷۲	۱-۲-۵ طراحی ساختار slot-loaded EBG
۷۶	۲-۲-۵ کاربرد ساختار slot-loaded EBG طراحی شده به عنوان صفحه زمین آنتن
۸۱	۳-۵ آنتن پچ قرار گرفته بر روی زیرلایه EBG
۸۷	<b>۶ بحث و نتیجه گیری</b>
۸۷	۱-۶ جمع بندی
۸۸	۲-۶ نتیجه گیری
۹۰	۳-۶ پیشنهادات
۹۱	<b>فهرست مراجع</b>



## فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱ طبقه بندی متامتریال ها و برخی کاربردهای آن ۳
- شکل ۲-۱ ساختار باند ممنوعه یابلنویچ ۴
- شکل ۳-۱ انواع ساختارهای EBG از نظر تناوب ساختار ۶
- شکل ۴-۱ باند ممنوعه برای امواج سطحی در یک ساختار EBG ۶
- شکل ۵-۱ منحنی ضریب انعکاس برای برخورد موج مسطح ۷
- شکل ۱-۲ موج سطحی در سطح مشترک دو محیط ۱۰
- شکل ۲-۲ نمودار پراکندگی برای پلاسمای سطحی روی فلزات ۱۵
- شکل ۳-۲ محدوده مستطیلی استفاده شده برای محاسبه امپدانس سطحی ۱۵
- شکل ۴-۲ موج سطحی منتشر شده روی یک سطح امپدانس ۱۶
- شکل ۱-۳ سیر تکاملی طراحی سطوح امپدانس بالا ۱۹
- شکل ۲-۳ یک سطح فلزی شیاردار ۲۰
- شکل ۳-۳ خط انتقال ختم شده با امپدانس Z ۲۰
- شکل ۴-۳ سلف و خازن معادل ساختار EBG قارچی شکل ۲۲
- شکل ۵-۳ اثر عرض پیچ (W) بر فاز انعکاس ساختار EBG ۲۳
- شکل ۶-۳ اثر عرض شکاف (g) بر فاز انعکاس ساختار EBG ۲۴
- شکل ۷-۳ اثر ضخامت زیرلایه (h) بر فاز انعکاس ساختار EBG ۲۴
- شکل ۸-۳ اثر گذردهی زیرلایه ( $\epsilon_r$ ) بر فاز انعکاس ساختار EBG ۲۵
- شکل ۹-۳ سطح uni-planar EBG ۲۶
- شکل ۱۰-۳ سطح EBG وابسته به پلاریزاسیون طراحی شده با پیچ های مستطیلی ۲۷
- شکل ۱۱-۳ سطح EBG وابسته به پلاریزاسیون طراحی شده با offset vias ۲۷
- شکل ۱۲-۳ فاز انعکاس EBG برای موقعیت های مختلف vias برای موج پلاریزه شده در جهت X ۲۸
- شکل ۱۳-۳ الف) تک سلول سطح EBG تک حلزونی ب) تک سلول EBG دو حلزونی ۲۹
- شکل ۱۴-۳ الف) ساختار دولایه با مرز تناوب یکسان در دولایه، ب) ساختار دولایه بطوری که تک سلول های دولایه در یک راستا نیستند ۲۹
- شکل ۱۵-۳ آنتن تشدید کننده با بهره بالا با استفاده از ساختار های EBG ۳۱
- شکل ۱۶-۳ آنتن سیمی بالای صفحه زمین EBG الف) نمای سه بعدی، ب) نمای بالا ۳۲
- شکل ۱۷-۳ آنتن سیمی EBG دوبانده با استفاده از شاخه کناری ۳۳
- شکل ۱۸-۳ آنتن حلقوی بالای صفحه زمین EBG ۳۴
- شکل ۱۹-۳ آنتن دوقطبی کم ارتفاع با پلاریزاسیون دایروی ۳۵
- شکل ۲۰-۳ الف) آنتن تک قطبی منحنی روی صفحه زمین EBG قارچی شکل، ب) پرتو تشعشعی آنتن ۳۷

- شکل ۳-۲۱ آنتن تک قطبی منحنی روی صفحه زمین EBG با قابلیت دوباره پیکربندی
- شکل ۳-۲۲ پرتو تشعشعی نرمالیزه صفحه E آنتن شکل ۳-۲۱
- شکل ۳-۲۳ آنتن منحنی با قابلیت دوباره پیکربندی با پرتو تشعشعی دوبعدی
- شکل ۳-۲۴ پرتو تشعشعی آنتن شکل ۳-۲۳، الف) صفحه XZ ب) صفحه YZ
- شکل ۳-۲۵ الف) آنتن دوقطبی نزدیک لبه صفحه زمین EBG ب) تلفات بازگشتی آنتن
- شکل ۳-۲۶ ساختار آنتن پیچ احاطه شده با ساختار EBG
- شکل ۳-۲۷ آنتن پیچ مربعی اصلاح شده، احاطه شده با سلول EBG جهت ایجاد پلاریزاسیون دایروی
- شکل ۳-۲۸ آنتن های میکرواستریپ جدا شده با ساختار EBG قارچی شکل جهت کاهش تزویج متقابل
- شکل ۳-۲۹ تزویج متقابل آنتن های میکرواستریپ جدا شده با سلول های EBG قارچی با اندازه پیچ متفاوت
- شکل ۴-۱ مدل LC برای ساختار EBG قارچی شکل و پارامترهای آن
- شکل ۴-۲ امپدانس سطحی در مدل LC
- شکل ۴-۳ مدل خط انتقال برای امواج سطحی
- شکل ۴-۴ مدل خط انتقال برای برخورد های امواج مسطح
- شکل ۴-۵ مدل FDTD تمام موج برای تحلیل EBG
- شکل ۴-۶ محدوده بریلوین ناکاستنی برای یک شبکه متناوب مربعی
- شکل ۴-۷ شبیه سازی سلول جهت بدست آوردن نمودار پراکندگی
- شکل ۴-۸ تنظیم متغیرهای اختلاف فاز در سه بخش نمودار پراکندگی
- شکل ۴-۹ نمودار پراکندگی ساختار EBG طراحی شده
- شکل ۴-۱۰ سلول شبیه سازی شده جهت بدست آوردن فاز انعکاس به روش الف
- شکل ۴-۱۱ سلول شبیه سازی شده جهت بدست آوردن فاز انعکاس به روش ب
- شکل ۴-۱۲ فاز انعکاس ساختار طراحی شده
- شکل ۴-۱۳ شبیه سازی ساختار به روش انتقال مستقیم
- شکل ۴-۱۴ نمودار  $S_{21}$  ساختار طراحی شده
- شکل ۵-۱ ساختار EBG قارچی شکل طراحی شده برای آنتن کم ارتفاع الف) نمای کلی ساختار، ب) ابعاد سلول
- شکل ۵-۲ فاز انعکاس ساختار EBG
- شکل ۵-۳ موجبر شبیه سازی شده جهت بدست آوردن نمودار  $S_{21}$
- شکل ۵-۴ نمودار ضریب انتقال ساختار EBG
- شکل ۵-۵ تلفات بازگشتی برای آنتن دوقطبی با طول  $0.14\lambda - 0.15\lambda$
- شکل ۵-۶ تلفات بازگشتی آنتن با صفحه زمین EBG، PEC و PMC
- شکل ۵-۷ پرتو تشعشعی صفحه E و H، الف) آنتن با زمین PEC در  $12/55\text{GHz}$ ، ب) آنتن با زمین EBG در  $13/14\text{GHz}$

- شکل ۵-۸ چگالی جریان سطحی صفحه زمین در فرکانس تشدید (الف) PEC، (ب) EBG ۷۱
- شکل ۵-۹ یک سطح EBG با پیچ های بارگذاری شده با شکاف ۷۲
- شکل ۵-۱۰ تک سلول ساختار slot-loaded EBG طراحی شده ۷۳
- شکل ۵-۱۱ مقایسه فاز انعکاس ساختار EBG قارچی شکل، slot-loaded و ساختار جدید طراحی شده ۷۴
- شکل ۵-۱۲ فاز انعکاس ساختار EBG قارچی شکل با تناوب  $4/35\text{mm}$  ۷۵
- شکل ۵-۱۳ نمودار  $S_{21}$  ساختار بارگذاری شده با شکاف طراحی شده ۷۶
- شکل ۵-۱۴ صفحه زمین EBG بارگذاری شده با شکاف ۷۶
- شکل ۵-۱۵ تلفات بازگشتی آنتن با صفحه زمین EBG بارگذاری شده با شکاف، EBG قارچی شکل و PEC با ابعاد یکسان ۷۷
- شکل ۵-۱۶ پرتو تشعشعی صفحه E و H، (الف) آنتن با زمین EBG قارچی شکل پایه، (ب) آنتن با زمین EBG طراحی شده ۷۸
- شکل ۵-۱۷ آنتن دوقطبی بر روی آرایه  $5 \times 5$  ساختار قارچی شکل با  $w+g=4/35\text{mm}$  ۷۹
- شکل ۵-۱۸ تلفات بازگشتی آنتن با صفحه زمین EBG بارگذاری شده با شکاف با تناوب  $4/35\text{mm}$  EBG قارچی شکل با تناوب  $4/35\text{mm}$  و PEC ۸۰
- شکل ۵-۱۹ ساختار آنتن میکرواستریپ اولیه ۸۱
- شکل ۵-۲۰ تلفات بازگشتی آنتن میکرواستریپ شکل ۵-۱۶ ۸۲
- شکل ۵-۲۱ آنتن میکرواستریپ قرار گرفته بر روی زیر لایه ساختار EBG قارچی شکل  $9 \times 9$  ۸۳
- شکل ۵-۲۲ نمودار  $S_{21}$  ساختار EBG برای استفاده در آنتن میکرواستریپ ۸۳
- شکل ۵-۲۳ تلفات بازگشتی آنتن میکرواستریپ بر روی زیر لایه  $9 \times 9$  از سلول های EBG ۸۴
- شکل ۵-۲۴ چگالی جریان سطحی زیر لایه در فرکانس تشدید ۸۵
- شکل ۵-۲۵ آنتن میکرواستریپ قرار گرفته بر روی زیر لایه ساختار EBG قارچی شکل  $5 \times 5$  ۸۵
- شکل ۵-۲۶ تلفات بازگشتی آنتن میکرواستریپ بر روی زیر لایه  $5 \times 5$  از سلول های EBG ۸۶
- شکل ۵-۲۷ پرتو تشعشعی صفحه E و H، (الف) آنتن اولیه در  $2/36\text{GHz}$ ، (ب) آنتن با زیر لایه EBG در  $3\text{GHz}$  ۸۶

## فهرست جدول ها

۳۳	جدول ۱-۳ مقایسه دو آنتن کم ارتفاع: آنتن مایکرواستریپ و آنتن سیمی EBG
۶۲	جدول ۱-۴ باند ممنوعه بدست آمده برای ساختار از سه روش مختلف
۶۵	جدول ۱-۵ ابعاد سلول ساختار EBG
۷۰	جدول ۲-۵ مقایسه پارامترهای نمودار $S_{11}$ برای آنتن با سه صفحه زمین متفاوت
۷۴	جدول ۳-۵ بازه فرکانسی $90^{\circ} \pm 45^{\circ}$ و فرکانس انعکاس هم فاز ساختار EBG طراحی شده و ساختار قارچی شکل پایه
۷۴	جدول ۴-۵ دوره تناوب ساختار EBG طراحی شده و ساختار قارچی شکل پایه
۸۰	جدول ۵-۵ مقایسه نمودار $S_{11}$ برای آنتن با صفحه زمین EBG طراحی شده، EBG قارچی شکل و PEC

## کلمات اختصاری

AMC	Artificial Magnetic Conductor
DNG	Double Negative materials
EBG	Electromagnetic Band Gap
F/B	Front to Back ratio
FDTD	Finite Difference Time Domain
FEM	Finite Element Method
FSS	Frequency Selective Surface
GPS	General Positioning System
HFSS	High Frequency Structure Simulator
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
MMIC	Microwave Monolithic Integrated Circuit
MOM	Method Of Moment
PBG	Photonic Band Gap
PEC	Perfect Electric Conductor
PMC	Perfect Magnetic Conductor
PML	Perfectly Matched Layer
WLAN	Wireless Local Area Network

## فصل اول: مقدمه

در سال های اخیر ساختارهای باند ممنوعه الکترومغناطیسی<sup>۱</sup> (EBG) به عنوان زیرمجموعه ای از فرامواد<sup>۲</sup>، به دلیل ویژگی های مطلوبی که دارند توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. این ساختارها، ساختارهای متناوب فلز، دی الکتریک و یا ترکیبی از هر دو می باشند، که از انتشار امواج الکترومغناطیسی در یک باند فرکانسی، برای هر زاویه ورود و هر حالت پلاریزاسیون جلوگیری می کنند. این محدوده فرکانسی باند ممنوعه نامیده می شود [۱].

دیگر ویژگی مهم این ساختارها، انعکاس هم فاز می باشد. بدین معنی که فاز میدان الکتریکی منعکس شده، با فرکانس تغییر خواهد کرد و در فرکانس خاصی این فاز صفر شده و ساختار، رفتاری مشابه هادی مغناطیسی کامل نشان خواهد داد.

با توجه به این خصوصیات این ساختارها به طور گسترده ای در کاربردهای مخابراتی استفاده شده اند. برخی از این کاربردها عبارتند از: ساخت آنتن های کم ارتفاع<sup>۳</sup>، آنتن های با بهره بالا، کاهش امواج سطحی در زیرلایه آنتن، آرایه های فازی فعال، موجبرهای TEM، فیلترهای میکروویو و ...

---

<sup>1</sup> Electromagnetic Band Gap

<sup>2</sup> Metamaterial

<sup>3</sup> Low profile

## ۱-۱ معرفی ساختارهای EBG

در این بخش به معرفی ساختارهای EBG و ویژگی های این ساختارها می پردازیم. ساختارهای EBG دسته ای از متامتریال یا فرامواد به شمار می روند. واژه متا به معنی فرا برای توضیح گروهی از مواد مرکب که ویژگی های منحصر به فردی دارند و در طبیعت موجود نمی باشند، بکار می رود [۲]. اصطلاحات مختلفی برای طبقه بندی متامتریال ها براساس کاربرد آنها، بکار می رود. به عنوان نمونه در این زمینه می توان به عبارات زیر اشاره کرد:

### ۱- DNG<sup>۱</sup>

موادی که دارای  $\epsilon$  و  $\mu$  منفی هستند، که سبب ویژگی هایی مانند ضریب شکست منفی و انتشار امواج دست چپی<sup>۲</sup> می شود.

### ۲- EBG

ساختارهای متناوبی که در باند ممنوعه از انتشار هر موج الکترومغناطیسی جلوگیری می کنند.

### ۳- صفحه زمین مصنوعی مختلط<sup>۳</sup>

صفحات زمین که ویژگی های خاص انعکاسی غیر از خواص هادی الکتریکی کامل<sup>۴</sup> (PEC) دارند.

شکل ۱-۱ این طبقه بندی و خلاصه ای از تاریخچه این ساختارها را نشان می دهد. البته در موارد بسیار، یک ساختار چند ویژگی از دسته های مختلف را دارد. در واقع این ساختارها دارای ویژگی های مشترکی هستند و به همین علت به نام های مختلفی نامیده شده و به روش های گوناگونی دسته بندی می شوند.

### ۱-۱-۱ تاریخچه

مفهوم باند ممنوعه الکترومغناطیسی از فیزیک حالت جامد و فیزیک نوری سرچشمه گرفته است. باند ممنوعه در ابتدا برای انتشار نور و با طراحی کریستال های نوری<sup>۵</sup>، در سال ۱۹۸۷ مطرح شد [۴-۵] و پس از سال ۱۹۹۰ به طور گسترده ای مورد مطالعه قرار گرفت [۶-۸].

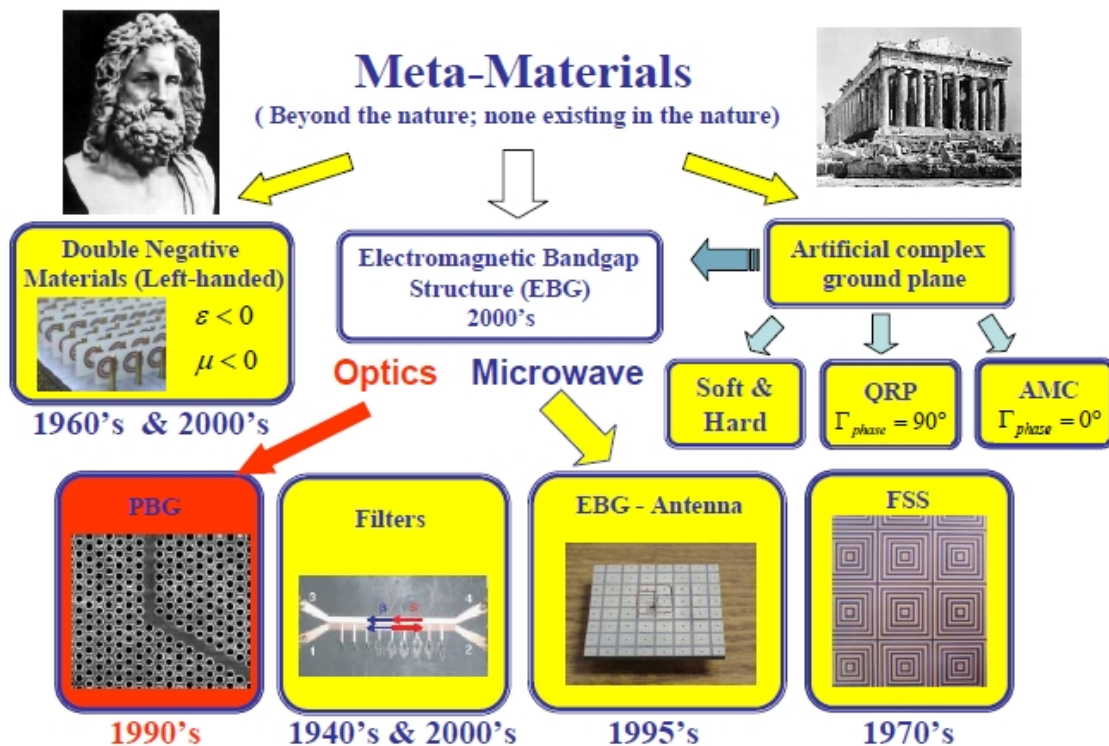
<sup>1</sup> Double Negative materials

<sup>2</sup> Left-Handed

<sup>3</sup> Artificial complex ground planes

<sup>4</sup> Perfect Electric Conductor

<sup>5</sup> Photonic Crystals



شکل ۱-۱ طبقه بندی متمتریال ها و برخی کاربردهای آن [۳]

کریستال های نوری محیط های متناوب الکترومغناطیسی هستند که دارای باند ممنوعه نوری می باشند. در محدوده فرکانسی باند ممنوعه، نور در هیچ جهتی امکان انتشار ندارد. این ساختارها که با سوراخ کردن متناوب دی الکتریک ایجاد می شوند،<sup>۱</sup> PBG نامیده می شوند.

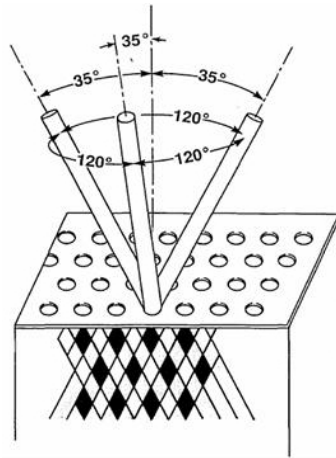
تکنولوژی باند ممنوعه در فرکانس های میکروویو اولین بار توسط پروفیسور یابلنویچ<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۱ ابداع شد [۸]. وی یک کریستال نوری سه بعدی را با ایجاد حفره هایی به قطر یک میلیمتر در ماده ای با ثابت دی الکتریک بالا، ایجاد کرد. این ساختار که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، از انتشار امواج میکروویو در تمام جهات جلوگیری می کند. چنین ساختاری در واقع مانند یک آینه با راندمان بسیار بالا عمل میکند و تمام انرژی تابیده شده از محیط اطراف را منعکس می کند.

<sup>1</sup> Photonic Band Gap

<sup>2</sup> Eli.Yablnoyitch



ساختارهای PBG که در فرکانس‌های پایین‌تر از فرکانس نوری کار می‌کنند، در بیشتر مراجع EBG نامیده می‌شوند. این ساختارها دارای کاربردهای بسیاری در زمینه آنتن بوده و بطور مثال جهت بهبود پرتو<sup>۱</sup> تشعشعی و پهنای باند امیدانسی آنتن بکار گرفته می‌شوند.



شکل ۱-۲ ساختار باند ممنوعه یابلونیچ [۸]

### ۲-۱-۱ ویژگی‌های ساختارهای EBG

بر اساس ویژگی‌های الکترومغناطیسی، می‌توان این ساختارها را به دو دسته عمده تقسیم بندی کرد که البته در موارد متعدد با یکدیگر همپوشانی دارند. یعنی یک ساختار می‌تواند هر دو ویژگی را داشته باشد. دسته اول ساختارهایی هستند که بر جلوگیری از انتشار موج در EBG و ایجاد فرکانسهای تشدید اختلالی تمرکز دارند. این موج می‌تواند موج مسطح با پلاریزاسیون و زاویه خاص یا یک موج سطحی باشد. همچنین با ایجاد اختلال یا نقص در ساختار متناوب یک EBG می‌توان به فرکانس‌هایی در داخل باند ممنوعه دست یافت که مجاز به انتشار هستند و مدهای نقص نامیده میشوند. این اختلال میتواند هر تغییری در شکل هندسی و نوع ماده در یک یا چند سلول و یا حذف چند سلول باشد. بیشتر ساختارهای سه بعدی و بخشی از ساختارهای دو بعدی جزء این دسته هستند.

دسته دوم بر ویژگی فاز انعکاس تمرکز دارند و معمولاً سطوح دوبعدی خیلی نازک از این دسته می‌باشند.

<sup>1</sup> Pattern

کریستال به عنوان ساختاری جامد، همگن و تکرار شونده در سه بعد یک اتم یا مولکول و با فواصل مساوی بین اجزا تشکیل دهنده، تعریف شده است. بر این اساس عملکرد کریستال تکرار عملکرد یک سلول آن می باشد و یک سلول آن بیانگر شکل، ابعاد هندسی، خواص مواد و فاصله بین اجزا در کل اتم یا مولکول می باشد. تکرار سلول های واحد، کریستال پریودیک را ایجاد و وجود و محل باند ممنوعه را کنترل می کند. بنابراین دانستن دوره تناوب ساختار در ابعاد مختلف، شکل هندسی و نوع ماده بکار رفته در یک سلول ساختار، جهت استخراج کلیه پارامترهای ساختار کافی می باشد. اندازه ابعاد و جنس ماده بکار رفته، فرکانس کار ساختار را تعیین می کند.

بر اساس اندازه پریود ساختار کریستال، باند ممنوعه می تواند در یک، دو یا سه بعد باشد. انواع این ساختارها در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. در ساختارهای حجمی سه بعدی، امکان انتشار در هیچ جهتی وجود ندارد. در رویه های مسطح دو بعدی، امکان انتشار در صفحه ای عمود بر جهت بدون تغییر ساختار، نیست و در خطوط انتقال یک بعدی، انتشار در یک جهت خاص ممکن نیست.

یک ساختار EBG در برابر موج برخوردی به دو شکل رفتار می کند:

۱- اگر موج برخوردی یک موج سطحی باشد، ساختار باند ممنوعه فرکانسی خواهد داشت که در آن برای هیچ زاویه برخورد و پلاریزاسیونی انتشار نخواهیم داشت که نمودار پراکندگی<sup>۱</sup> آن در شکل ۱-۴ نشان داده شده است.

۲- اگر موج برخوردی یک موج صفحه ای باشد، مطابق شکل ۱-۵ فاز انعکاس با فرکانس تغییر خواهد کرد و برای فرکانس خاصی صفر خواهد شد که مشابه هادی مغناطیسی کامل بوده و در طبیعت موجود نمی باشد.

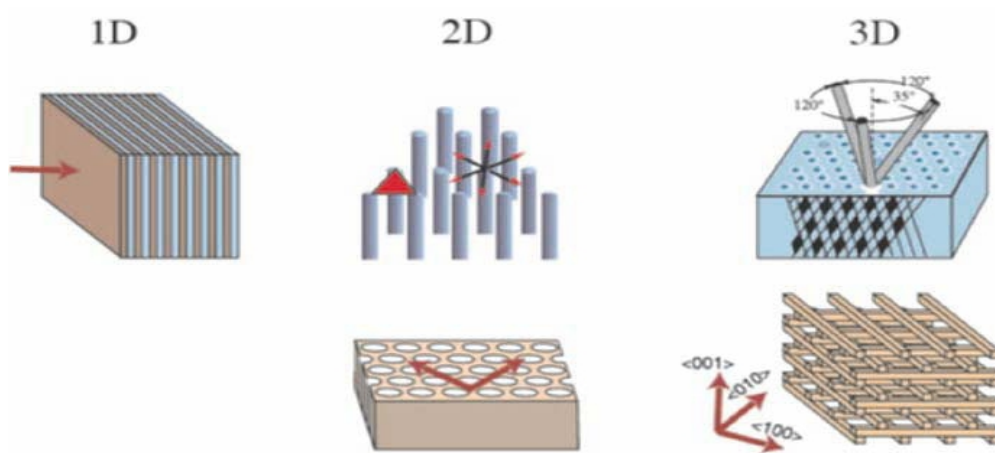
یک ساختار EBG همچنین ویژگی هایی مانند هادی مغناطیسی مصنوعی<sup>۲</sup> (AMC) و امپدانس بالا<sup>۳</sup> را نیز دارد.

---

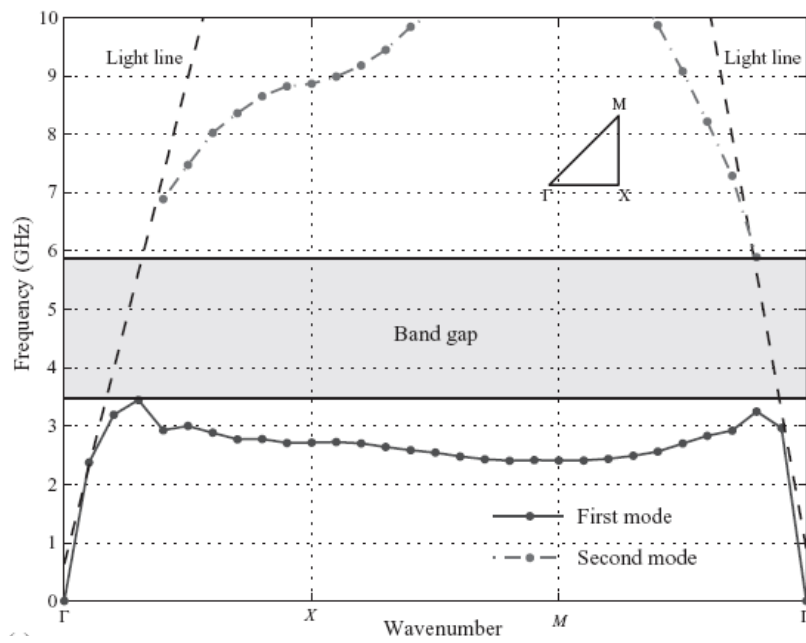
<sup>1</sup> Dispersion diagram

<sup>2</sup> Artificial Magnetic Conductor

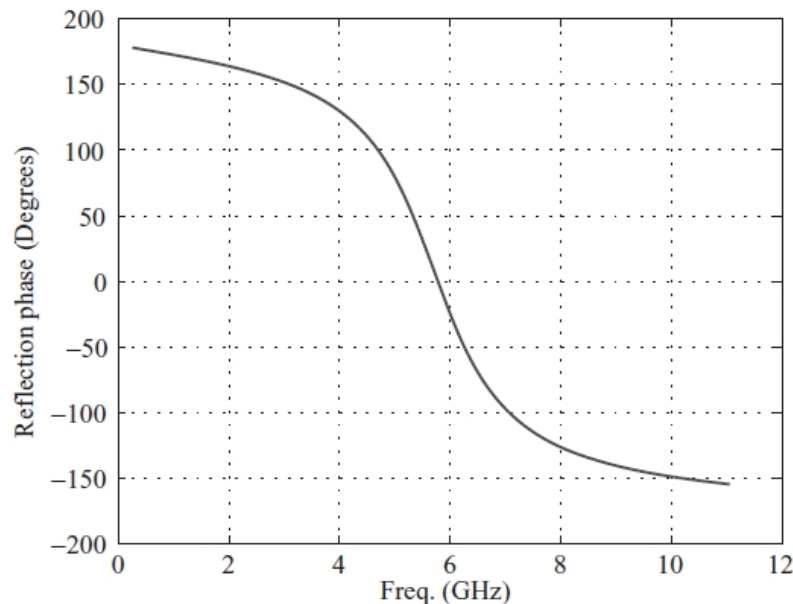
<sup>3</sup> High impedance



شکل ۱-۳ انواع ساختارهای EBG از نظر تناوب ساختار



شکل ۱-۴ باند ممنوعه برای امواج سطحی در یک ساختار EBG



شکل ۱-۵ منحنی ضریب انعکاس برای برخورد موج مسطح

## ۲-۱ هدف پایان نامه

در این پایان نامه هدف بررسی ساختارهای EBG و ویژگی های آنها و استفاده از این ساختارها به منظور بهبود عملکرد تشعشعی آنتن می باشد.

با توجه به مشخصات ساختارهای EBG و اثراتی که بر عملکرد آنتن ها دارند، تاکنون ساختارهای متنوعی با ابعاد و طراحی های گوناگون ارائه شده اند. این ساختارها هر یک بسته به کاربرد اثرات مطلوبی بر یک یا چندین مشخصه آنتن شامل بهره، جهت دهی، پرتو تشعشعی، پهنای باند امپدانسی، کارایی، پلاریزاسیون و ... دارند. هدف ما در این پروژه، بررسی ساختارهای EBG متداول بکار رفته در آنتن ها و مطالعه میزان و نحوه تاثیر آنها بر مشخصات آنتن و در نهایت ارائه ساختار متناوب جدیدی است که استفاده از آن سبب ارتقاء عملکرد نسبت به ساختار منفرد آنتن می شود.

شبیه سازی ساختار آنتن در مجاورت ساختار متناوب، با استفاده از نرم افزار HFSS که مبتنی بر روشهای عددی می باشد، صورت خواهد گرفت. بدین ترتیب میزان بهبود بدست آمده ناشی از اثر ساختار عملکرد آنتن ارزیابی می شود.