دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان :

طراحی موجبر با دی الکتریک غیر ایزوتروپیک

استاد راهنما: د. زلفخانی

نگارش: نمیرانیان ابتین

شهریور۸۹

چکیده :

خطوط انتقال و موجبرها برای انتقال توان ماکروویو از نقطه ای به نقطه ی دیگر به کار می روند لذا به عنوان اساسی ترین قطعات ماکروویو شناخته می شوند. خطوط انتقال که از دو یا تعداد بیشتری هادی تشکیل شده باشد ممکن است امواج الکترومغناطیس عرضی (TEM) را تحت پوشش قرار دهند که این امواج فاقد مولفه های طولی میدان هستند. امواج TEM دارای ولتاژ و جریان و امپدانس مشخصه ی تعریف شده ای می باشند. موجبرها اغلب از یک هادی تشکیل شده اند که فقط امواج الکتریکی عرضی (TE) و یا امواج مغناطیسی عرضی (TM) را تحت پوشش قرار می دهند و این امواج به ترتیب دارای مولفه های عرضی میدان مغناطیسی و الکتریکی می باشند که برای چنین امواجی نمی توان یک امپدانس مشخصه ی منفرد را تعریف نمود گرچه می توان تعاریفی را انتخاب کرد که مفهوم امپدانس مشخصه را برای این موجبرها با نتایج معنادار بیان نماید. امواج TEM زمانی که تعداد هادی ها دو عدد یا بیشتر باشند می توانند به وجود بیایند. امواج مسطح خود نمونه ای از امواج TEM هستند چرا که در این نوع امواج هیچگونه مولفه ی میدان در جهت انتشار وجود ندارند، در این حالت هادی های خط انتقال را می توان به صورت دو صفحه ی بزرگ در ابعاد بی نهایت در نظر گرفت که تا بی نهایت از هم جدا شده اند. یک هادی بسته مثل یک موجبر مستطیلی امواج TEM را نمی تواند پشتیبانی نماید چرا که پتانسیل ساکن مربوط در چنین ناحیه ای صفر خواهد بود یا ممکن است مقدارثابت باشد.

امروزه مقاله های بسیار زیادی در زمینه ی تحلیل و انالیز موجبرهای دی الکتریکی منتشر می شود که این ناشی از افزایش اهمیت یکی شدن اپتیک ها(نورشناسی) و امواج میلیمتری است. این موجبرها استفاده ی وسیعی برای انتقال انرژی الکترومغناطیسی و در ساختار ابزارهای اپتیکال مانند کوپلرهای جهتی و مدولاتورها

در فرکانس اپتیکال (قابل رویت) دارند. دی الکتریک های ایزوتروپیکی و متامتریال ها با اندیس های منفی و کریستال های غیر ایزوتروپیکی شبیه سازی شده و ایده ها یی که باعث افزایش بازده ابزارها می شود در بسیاری ازمقالات بحث شده اند. نتیجه هایی که اشاره می کنند به این که اضافه کردن دی الکتریک به قسمت های منحنی شکل و مارپیچ مانند، امواج مداری تولید می کنند که تغییرات بهینه ای را در خصوصیات ابزارها و کمترین تاثیر را در فرکانس عملکردی مواد دارند. نتیجه هایی که بعد ها اضافه شد پیشنهاد می کند که همزمانی کوچک رابطه ی نفوذ پذیری و هدایت شوندگی بهترین دنباله رو برای افزایش بازده ی ابزارها است. بررسی های بیشتر نیازمند مطالب و ارایه ی نظریات به منظور تعیین کردن جهت ها است. دی الکتریک ها مدت ها است برای افزایش بازده ی موجبرها و امواج انتقالی تقویت کننده ها استفاده می شوند. اولین تئوری میدانی تحلیل دی الکتریک باردار شده ی بیضوی است که نشان داد که اگر درون پرتو تونلی، ورقه ی دی الکتریک نازکی اضافه بشود بازده ی بیشتر ممکن است.

اهداف ما در اینجا در رابطه با طراحی موجبرها با دی الکتریک غیر ایزوتروپیک و تحلیل ان ها است. که برای رسیدن به این اهداف ابتدا در سر فصل ۱ به معرفی وتحلیل ساختار مواد غیر ایزوتروپیک می پردازیم تا یک دید کلی در رابطه با مواد غیر ایزوترویک پیدا کنیم سپس در فصل ۲ به تحلیل ساختار موجبرها با دی الکتریک غیر ایزوتروپیک می پردازیم که هدف اصلی ما است. و در فصل ۳ به شبیه سازی این موجبرها می پردازیم و سپس نتایج شبیه سازی خود را همراه با نمودارها و تحلیل ها ارائه می کنیم. و در فصل دیگر به عنوان ضمیمه به معرفی نرم افزار به کار گرفته شده در این پروژه به نام comsol می پردازیم .

فهرست شماره صفحه

فصل اول

معرفی ساختار مواد غیرایزوتروپیک ۴

فصل دوم

ساختار موجبر با دی الکتریک غیرایزوتروپیک ۱۲

فصل سوم

شبیه سازی موجبرها با دی الکتریک غیرایزوترپیک ۱۷

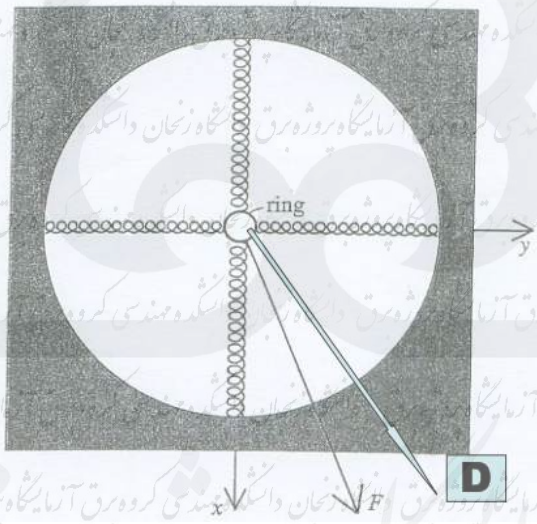
ضمیمه

معرفی نرم افزار comsol ۴۷

فصل اول

مقدمه ای بر ساختار مواد غیر ایزوتروپیک :

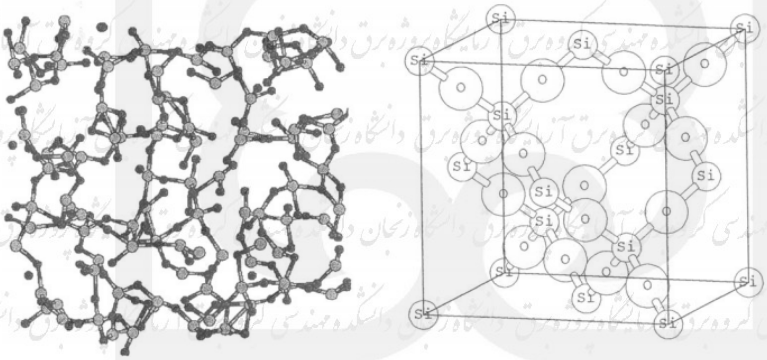
یک ماده ی غیر ایزوتروپیک ماده ای است که در تمام جهت ها رفتار یکسانی از خود نشان نمی دهد و تغییر در یک جهت باعث تغییر در جهات دیگر می شود. به عنوان یک مثال ساده فرض میکنیم اگر تنه ی درختی را به صورت عرضی برش دهیم در مقطع برش شیارهای دایروی دیده می شود. حال اگر مکعبی چوبی حاوی این شیارها را از تنه ی اصلی جدا کنیم مقاومت ان در برابر کشش و فشار در وجوه مختلف آن متفاوت خواهد بود. در شکل زیر به یک شبیه سازی مکانیکی ساده از مواد غیر ایزوتروپیک بسنده می کنیم :



شکل۱) شبیه سازی ساده ی ماده ی انیزوتروپیک

در این شکل ثابت فنر(ضریب سختی فنر) در جهت های y,x متفاوت است. نیروی F را در جهت نشان داده شده وارد می کنیم.این نیرو باعث می شود که حلقه در جهت D جا به جا شود که با F متفاوت است.

در مواد غیر ایزوتروپیک برای انتشار جهت ها ی مختلف روابط میدانی در همه ی جهت ها مختلف است این یعنی اینکه یک ماتریس ۳×۳ نیازمندیم تا روابط تشکیل دهنده ی ان را به طور صحیحی تعریف کنیم. اگر این ماتریس به صورت متقارن باشد اغلب به دوجانبه(معکوس) بودن مواد اشاره دارد.در این مورد یک دستگاه مختصات می تواند طوری بچرخد که یک ماتریس قطری بدست بیاید که اگر دو درایه قطری ان برابر باشد ان مواد غیر ایزوتروپیک تک محوری و اگر هیچکدام از عناصر مقادیر یکسانی نداشته باشند انها غیر ایزو تروپیک دو محوری هستند. به عنوان یک مثال جاییکه پارامترهای غیرایزوتروپیک استفاده می شود در پرمیتیویتیه کریستال هاست.



شکل ۲) ساختار یک ماده ی غیر ایزوتروپیک(کریستال سیلیکن)

در مقابل مواد غیر ایزوتروپیک مواد ایزوتروپیک قرار دارد مثل اکثر فلزات (الومینیوم و استیل). انها در تمام جهت ها رفتار یکسانی دارند.

مرجع [۵] سه ماده را برای افزایش بازده برای ابزار ما معرفی می کند.

۱. یک دی الکتریک معمولی سیلیکن با رابطه ی نفوذ پذیری $\varepsilon_r = 12.1$ و رابطه ی مغناطیس شوندگی $\mu_r = 1$ و ضریب هدایت شوندگی $\sigma = 10^{-12}$.

۲. یک ماده ی ایزوتروپیک با نفوذ پذیری و مغناطیس شدگی متغییر

۳. ماده ی غیر ایزوتروپیک با تانسور نفوذ پذیری متغیر و $\mu_r = 1$

اولین سیلیکن که منحصر به فرد بود به این منظور که هدایت شوندگی پایین و قابلیت استفاده ی وسیعی داشت که در فضای خالی الکترون ها ، موجبرها و انتقال امواج لوله ای برای دهه ها استفاده می شد. سیلیکن در این بررسی به عنوان عالیترین قرار گرفت.

دومین دی الکتریک که بررسی شد یک ماده ی ایزوتروپیک معمولی بود. این مقوله شامل بیشترین دی الکتریک های نرمال است که در ان رابطه ی نفوذ پذیری مثبت است و وحدت رابطه ی مغناطیس شوندگی به خوبی متا متریال ها با اندیس منفی است (NIMS) که در ان هم نفوذپذیری و هم مغناطیس شوندگی با هم همزمان منفی است. در مورد متا متریال ها که اغلب اوقات شامل تکرار الگوهای هندسی دی الکتریک و رساناهاست پارامترهای مواد ماکروسکوپی به خوبی تعریف نشده اند به علاوه تاثیر ان ها روی امواج الکترومغناطیسی به فرکانس وابسته است. هیچ یک از متامتریال ها تا امروز ساخته نشده اند که در فرکانس THZ ۰/۴ کار کنند و توابع کمی بیشتر از باندهای فرکانسی وسیعتر از GHZ ۲ تا GHZ ۳ کار می کنند. بهر حال تحقیقات در زمینه ی متامتریال ها ادامه دارد. دی الکتریک ها با قابلیت تنظیم نفوذپذیری و مغناطیس شوندگی و کار در زمینه ی گسترش خصوصیات متامتریال ها برای بالا بردن فرکانس های بالاتر از گیگاهرتز هدف اصلی است.

اخرین ماده یک کریستال (بلور) معمولی غیر ایزوتروپیک است که مورد بررسی قرار گرفت که به طور معمول به کریستال های فوتونیک (نوری) اشاره می کنند. ان ها پریودیک (دوره ای) هستند و ساختار شبکه ای

دارند که وابسته به جهت ثابت دی الکتریکند. از این رو در یک رویداد امواج الکترومغناطیسی که ازمایش شد که نشان داد خصوصیات مختلف مواد بستگی به جهت و زاویه ای که وارد بلور کریستال می شود دارند. این خصوصیات به صورت روابط ریاضی بیان می شود. کریستال فوتونیک در کاهش تلفات فیلترینگ و موجبری مورد استفاده قرار می گیرد. همان طور که اشاره شد خصوصیات ماکروسکوپی مواد به سادگی قابل تعریف نیست بعلاوه تا زمانیکه بیشتر متامتریل ها از اساس دی الکتریک شامل تکرار هندسه ی هادی ترکیب شده اند، ان ها تلفات مقاومتی و جذب کننده را تحمل می کنند. در ادامه ما به معرفی متامتریال ها که بخشی از مواد غیرایزوتروپیک هستند می پردازیم.

متامتریال ها:

تاریخچه:

امکان داشتن مواد واسطی با ضریب شکست منفی-مواد دست چپی *left handed medium* (*LHM*)- اولین بار توسط یک فیزیکدان روس به نام وسلاگو *veselago* در ۱۹۶۸ مطرح شد. او در یک مقاله ی کلاسیک (*what-if*) بر روی امکان وجود مواد منفی دو گانه (*DNG*) تحقیق و رفتار الکترودینامیکی ان ها را بررسی کرد. وسلاگو با بعضی نتایج غیر معمول و عجیب از قبیل امواج وارونه ، ضریب شکست منفی، اثر داپلر معکوس لنز کامل و از این دست چیزها مواجه شد. به هر حال او به این نتیجه رسید که هیچ ماده (*DNG*) در طبیعت وجود ندارد، مگر اینکه ان ها به طور مصنوعی ساخته شوند. هر چند معلوم شد که یک واسط شامل ارایه ای از میله های هادی می تواند یک $\varepsilon < 0$ ایجاد کند (برای فرکانس های کوچکتر از فرکانس پلاسما) ، اما امکان رسیدن به $\mu < 0$ به طور تجربی فراهم نشد. در سال ۱۹۹۹، *pendry et al.* با مثال های بسیار متنوعی چگونگی حصول یک $\mu < 0$ را با استفاده از هادی ها نشان داد. این ساختار یک نوسان کننده با حلقه های چندتایی بود (*SRR*) ، ارایه ای از این حلقه های چندتایی یک ساختاری با

$\mu < 0$ در گستره ی فرکانسی بالاتر از حیطه ی فرکانس نوسان خودش ایجاد کرد. ترکیب میله های هادی که $\varepsilon < 0$ را ایجاد می کند و ارایه ای از حلقه های چند تایی که $\mu < 0$ پدید می اورد یک ساختار مصنوعی مختلط را نتیجه داد که دارای هر دو ثابت دی الکتریک و نفوذپذیری مغناطیسی منفی – در محدوده ی فرکانسی بالاتر از یک فرکانس باریک – باشد. یک گروه تحقیقی در دانشگاه کالیفرنیا در سان دیه گو (*USCD*) یک واسط کامپوزیتی (مثلثی شکل) ساخت و با کنترل نتایج تئوری ، اندازه گیری هایی انجام داد که نشان دهنده ی ضریب شکست منفی بود. یک گروه تحقیقی در *MIT* ازمایش را تکرار کرد و یافته های (*USCD*) را تایید کرد.

در ان موقع چندین گروه تحقیقی، مطالعه ی بیشتری را روی ویژگی ها و عملکردهای *LHM*های مبتنی بر*SSR* اغاز کردند و این به راه افتادن سیلی از مقالات را در حوزه علمی مشترک فیزیک و ماکروویو به همراه داشت.

با این وجود به واسطه ی اینکه این قبیل ساختارهای نوسانی بسیار پر اتلاف و باند باریک هستند، برای عملکردهای مایکروویو مناسب نیستند و چندین گروه از محققین خطوط انتقال (*TLs*) را به عنوان ساختار هدایتی پیشنهاد کرده اند (شیوه ی *TL*).

در ژوین ۲۰۰۲ در سمپوزیم واحد بین المللی انتنها و انتشار و تئوری و تکنیکهای مایکروویو *IEEE* ، سه گروه مختلف ، استفاده از خطوط انتقال را به عنوان ساختار هدایتی و به کارگیری انها با استفاده از اندوکتانس های موازی و کاپاسیتانس های سری ، جهت ایجاد مقادیرε و μ منفی مورد نیاز را پیشنهاد کردند.

این مقاله ها به عنوان راهنما ، برای طراحی ساختارهایی که از مدل معادل *TL* بهره می بردند، به کار گرفته شد. ویژگی های امواج هدایت شده در باریکه های ساخته شده از مواد دست چپی *LHM* توسط بارکارللی *Baccarelli et al* ، ازمایش شده است.

تعریف:

مواد عادی در طبیعت دارای ε (ضریب گذردهی الکتریکی) و μ (ضریب نفوذپذیری مغناطیسی) مثبت هستند. متامتریال به موادی گفته می شود که دارای $\varepsilon < 0$ یا $\mu < 0$ یا هر دوی ان ها باشند.

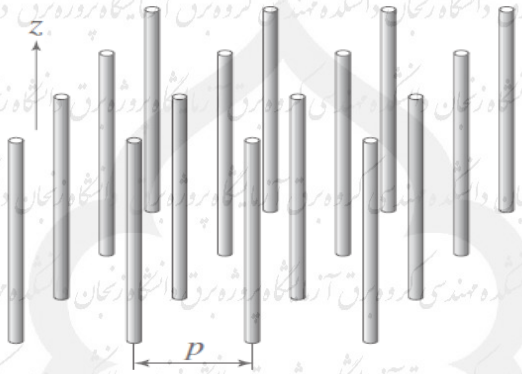
این باعث می شود که انتشار موج در این مواد با انتشار موج در حالت عادی فرق می کند. اگر فقط ε یا μ منفی باشند دوباره موج در این مواد قابل انتشار است ولی انتشار با موارد عادی متفاوت است. مهمترین تفاوت این است که در موارد عادی انرژی حمل شده توسط موج در همان جهتی حمل می شود که موج انتشار پیدا می کند. ولی در متامتریال ها انرژی در جهت معکوس انتشار موج حمل می شود.

تفاوت مهم دوم این است که در متامتریال ها امواج میرا (امواجی که وقتی در محیط عادی منتشر می شوند دچار تضعیف شدیدی می شوند) در متامتریال ها تقویت می شوند در حالی که در موارد عادی تضعیف می شوند.

ساختار متامتریال ها:

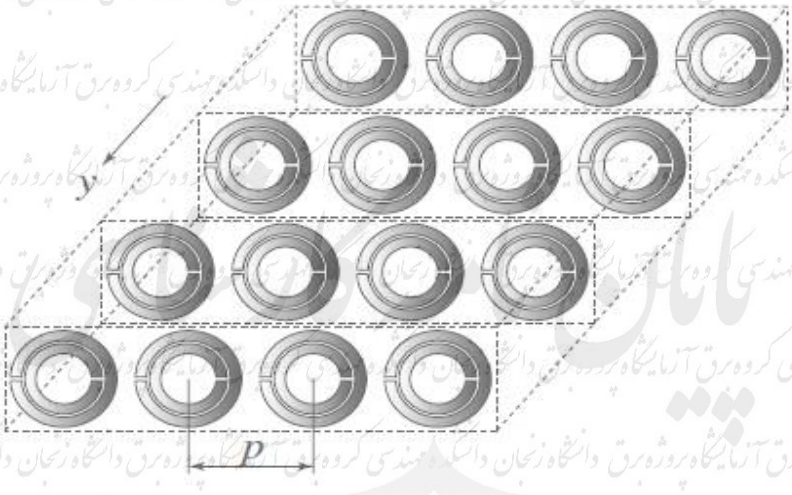
متامتریال ها باید با شکل مصنوعی ساخته شوند و در طبیعت وجود ندارند. معمولا بر هم کنش فلز با امواج الکترومغناطیسی باعث می شود که بعضی خواص متامتریال به وجود اید. بنابر این متامتریال ها معمولا از یک دی الکتریک که درون ان پر از المان های فلزی ریز هستند درست شده است.

اگر تعداد زیادی سیم های (میله) فلزی به شکل مرتب در داخل یک دی الکتریک قرار داده شوند انوقت این ساختار در بعضی فرکانس ها دارای $\varepsilon < 0$ می شوند.



شکل ۳)

اگر در اطراف مکعبی دایره های فلزی قرار دهیم انوقت این ماده از خودش $\mu < 0$ نشان می دهد. دلیل ان این است که حلقه های فلزی طوری میدان مغناطیسی را عوض می کنند که انگار مکعب دارای $\mu < 0$ است. نکته ی مهم این است که ابعاد سیم ها و حلقه ها باید از طول موج ، موج تابشی خیلی کمتر باشد.



شکل ۴)

اگر دو ساختار بالا با هم ترکیب شوند می توان ماده ای ساخت که هم $\varepsilon < 0$ و هم $\mu < 0$ داشته باشد و یک متامتریال کامل باشد.

کاربردهای متامتریال ها:

از کاربردهای مهم متامتریال ها در این است که می توان لنزهای کامل با ان ساخت. لنز کامل به لنزی گفته می شود که دقت بی نهایت دارد و هر جسم ریزی را می تواند ببیند. لنزهای ساخته شده با مواد عادی اشیای کوچکتر از طول موج را نمی توانند ببینند.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

مراجع :

[1] m.lu and m. m. fejer ‘’anisotropic dielectric waveguides ‘’a reprint from jornal of the optical society of America a (Edward l. ginzton laboratory. Stanford university, stand ford, California 94305)

[2]ramin pashaie ‘’ fourier decomposition analysis af anisotropic inhomogeneous dielectric waveguide structures’’ department of electrical & systems engineering departmental papers (ESE)

[3]weng cho chew , senior member, Ieee,and Muhammad A,Nasir ‘’ A Variational Analysis Of Anisotropic, Inhomogeneous Dielectric Waveguides’’ IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES,VOL. 37 ,NO. 4.APRIL 1989

[4]Corey A. Kemper,Ion-Florin Talos,Alexandra Golby,Peter M. Black,Ron kikinis,W.Eric L.Grimson,and Simon K.Warfield’’An Anisotropic Material ModelFor image Guided Neurosurgery’’

[5]David P. Starinshak, Jeffrey D.Wilson ‘’Investigating Dielectric and Metamaterial Effects in a Terahertz Traveling-Wave Tube Amplifier’’

[6]F.Bron ,J.Besson ‘’ A Yield Function For anisotropic materials Application to aluminum alloys’’

[7]Ville Kaajakari ‘’ Silicon as an anisotropic mechanical material – a tutorial’’

[8]G. Ferraris – Theoretical crystallography and materials science – Tsukuba, 18-19 November 2006 ‘‘Symmetry Constraints On The Physical Properties Of an Anisotropic Material’’

[9]M. I. Alonso and M. Garriga , F. Alsina , S.pinol ‘ Determination of the dielectric tensor in anisotropic materials’’ (Received 1 May 1995 ; accepted for publication 19 May 1995)

[10]Nayden Kambouchev , Raul Radovitzky , Javier Fernandez ‘ Anisotropic Materials which Can be Modeled by Polyconvex Strain Enegy Functions

[11]C. A. Valagiannopoulos ‘ ON MEASURING THE PERMITTIVITY TENSOR OF AN ANISOTROPIC MATERIAL FROM THE TRANSMISSION COEFFICIENTS’’ progress in electromagnetic research B, Vol. 9, 105-116,2008

[12]H. Kogelnik ‘ Theory of Dielectric Waveguides’’

[13]comsol help