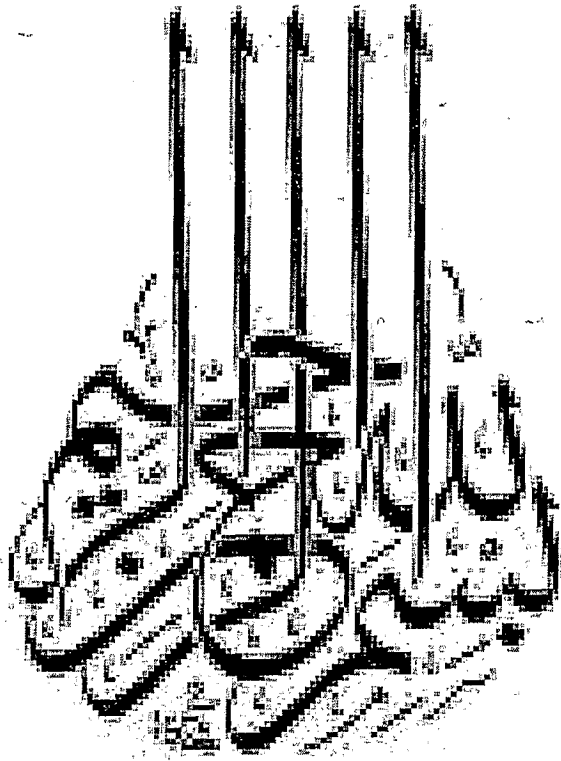


10/1/16/030
10/1/12



102111



دانشگاه شاهرود

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - مخابرات (میدان)

مدل سازی و آنالیز محیط های دستگردان (Chiral) در
حوزه زمان

توسط: راحله بصیری

استاد راهنما:

دکتر حبیب الله عبیری

۱۳۸۷ / ۱۰ / ۱۳

شهریور ۸۷

۱۰۲۱۱۱

به نام خدا

مدل سازی و آنالیز محیط‌های دستگردان (Chiral) در حوزه زمان

به وسیله‌ی:

راحله بصیری

پایان‌نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم‌الاجرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی یزق-مخابرات

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان‌نامه با درجه: عالی

امضاء اعضای کمیته پایان‌نامه:

.....
.....
.....
دکتر حبیب اله عبیری، دانشیار بخش برق و الکترونیک (رئیس کمیته)
دکتر رحیم غیور، دانشیار بخش برق و الکترونیک
دکتر فرزاد مهاجری، استادیار بخش برق و الکترونیک

شهریور ۱۳۸۷

تقدیم به:

پدر، مادر، همسر

و

خانواده عزیزم

که همواره یار و یاورم بودند.

سپاسگزاری

شعار و شعر و هستی‌بخش هر انسان، شقایق‌های کوهستان و هر آلاله بستان، **خداوند** توانایی است که نامش زیب این گفتار امروز است.

خدای مهربان را سپاس می‌گویم که باز هم مرا در مرحله دیگری از زندگی یاری نمود.

بر خود لازم می‌دانم که از استاد راهنمای محترم خود، جناب آقای دکتر حبیب الله عبیری به پاس زحمات بی‌شائبه و راهنمایی‌های ارزشمندشان، و نیز اساتید مشاور گرانقدرم آقایان دکتر رحیم غیور و دکتر فرزاد مهاجری که فروتنانه عضویت در کمیته پایان‌نامه اینجانب را پذیرفتند و مرا دلسوزانه یاری نمودند، تشکر نمایم.

از جناب آقای یاحقی دانشجوی محترم دکترای بخش برق، که با علاقه تمام اینجانب را در انجام پایان‌نامه راهنمایی و کمک نمودند، کمال تشکر را دارم.

از پدر بزرگوار، مادر مهربان و همسر فداکارم کمال تشکر را دارم که همواره پشتیبان من بودند و برای همگی ایشان موفقیت و سلامت را از خدای بزرگ خواستارم.

چکیده

مدل‌سازی و آنالیز محیط‌های دستگردان (chiral) در حوزه زمان

توسط:

راحله بصیری

محیط BI ویژگی‌های جالبی دارد که به عنوان مثال می‌توان به عمود نبودن بردارهای میدان الکتریکی و مغناطیسی، وابستگی سرعت فاز آنها به پارامترهای دستگردانی و تلگان، پدیده چرخش نوری و چرخش صفحه پلاریزاسیون، اعوجاج دایروی ناشی از متفاوت بودن ضرائب جذب برای امواج با پلاریزاسیون چپگرد و راستگرد و تغییر ماهیت پلاریزاسیون میدان در این محیط‌ها اشاره نمود. مهمترین ویژگی این محیط‌ها کوپلینگ متقابل میان بردارهای میدان الکتریکی و مغناطیسی در روابط تکمیلی آنها است که منجر به پیچیدگی روابط در این محیط‌ها شده است. این ویژگی‌ها زمینه کاربردهای جدیدی را فراهم می‌کند. به دلیل وجود این پیچیدگی‌ها، برای آنالیز این محیط‌ها بایستی به دنبال روش عددی مناسبی باشیم. روش TLM، یک روش مناسب برای مدل کردن انتشار موج در محیط‌های BI است.

لازم به ذکر است به دلایل ذکر شده، در این محیط‌ها، امکان استفاده از فرمول‌های TLM کلاسیک وجود ندارد و بنابراین مدل‌های مناسبی را بایستی به کار برد.

در این پایان‌نامه روش TLM دو بعدی و الگوریتم پیاده‌سازی آن در محیط‌های BI با جزئیات کامل ذکر شده است. این الگوریتم قابل استفاده برای کلیه ساختارهای دو بعدی می‌باشد. در نهایت با این روش پاسخ فرکانسی یک موجبر صفحه‌ای و ویژگی‌های کوپلینگ یک کوپلر جهتی در محیط‌های ایزوتروپیک و BI محاسبه و مقایسه شده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	فصل اول.....
۲.....	۱-۱ مقدمه.....
۳.....	۲-۱ کلیات.....
۴.....	فصل دوم.....
۴.....	معرفی روش های عددی در الکترومغناطیس.....
۵.....	۱-۲ مقدمه.....
۵.....	۲-۲ روش تفاضل محدود (Finite Difference Method).....
۶.....	۳-۲ روش المان محدود (Finite Element Method).....
۸.....	۴-۲ روش معادله انتگرال.....
۹.....	۵-۲ روش Moment و روش Galerkin.....
۱۱.....	۶-۲ روش Mode Matching.....
۱۲.....	۷-۲ روش Spectral Domain.....
۱۳.....	۸-۲ روش TLM (Transmission Line Matrix method).....
۱۴.....	فصل سوم.....
۱۴.....	معرفی محیط های chiral و Bi-isotropic (BI).....
۱۵.....	۱-۳ مقدمه.....
۱۵.....	۲-۳ مطالعات اولیه بر روی محیط BI و chiral.....
۱۵.....	۱-۲-۳ فعالیت نوری (Optical Activity).....
۱۸.....	۳-۳ مشخصه و فرمول بندی یک محیط BI.....
۱۸.....	۱-۳-۳ روابط اساسی (constitutive Relations).....
۲۰.....	فصل چهارم.....
۲۰.....	روش TLM دو بعدی (2D-TLM).....
۲۱.....	۱-۴ مقدمه.....
۲۲.....	۲-۴ پاسخ گذرای یک خط (Transient response of a line).....
۲۵.....	۳-۴ پاسخ حالت دائم سینوسی یک خط.....

۴-۴	مدل های مجزا برای عناصر فشرده	۲۷
۴-۴-۱	مدل ارتباطی (Link) و شاخه‌ای (Stub) برای خازن	۲۷
۴-۴-۲	مدل ارتباطی و شاخه برای اندوکتانس	۳۱
۴-۵	مدل TLM یک بعدی	۳۳
۴-۵-۱	مدل TLM برای مسائل الکترومغناطیسی یک بعدی	۳۸
۴-۵-۲	مطالعه اثرات پراکندگی در روش TLM یک بعدی	۴۰
۴-۶	مدل TLM دو بعدی	۴۲
۴-۶-۱	گره TLM سری (The series TLM Node)	۴۳
۴-۶-۲	بررسی فرآیند پراکندگی (scattering) و محاسبات مربوط در یک گره سری	۴۸
۴-۶-۳	مدلسازی مرزها و مواد تلف‌دار ناهمگن	۵۱
۴-۶-۳-۱	مدلسازی محیط ناهمگن	۵۱
۴-۶-۳-۲	گره سری با تلفات	۵۳
۴-۶-۳-۳	انتخاب پارامترهای مدل	۵۴
۴-۶-۳-۳	مدل سازی مرزها	۵۴
۴-۶-۴	گره TLM موازی (The shunt TLM node)	۵۶
۴-۶-۵	بررسی فرآیند پراکندگی و محاسبات مورد نیاز در یک گره موازی	۵۸
۴-۶-۶	مدل کردن مواد تلف‌دار و غیر همگن در گره موازی	۵۹
۴-۶-۷	انتخاب پارامترهای یک گره موازی	۶۱
	فصل پنجم	۶۳
	۱-۵ مقدمه	۶۴
	۲-۵ روابط تکمیلی در محیط های chiral و BI	۶۶
	۳-۵ اثبات روابط جدول (۱)	۶۷
	۴-۵ اثبات روابط جدول (۲-۵)	۷۱
	۵-۵ مدل TLM و پیاده سازی آن در محیط های chiral و BI	۷۶
	۶-۵ مشخصه های شبکه TLM	۷۸
	فصل ششم	۸۳
	۱-۶ مقدمه	۸۴
	۲-۶ تحریک ضربه	۸۵
	۳-۶ تحریک سینوسی	۹۱
	۴-۶ بررسی خواص انتشاری موج در موجبر مستطیلی در حضور مواد BI	۹۴

۹۹.....	۵-۶ بررسی خواص انتشاری موج در موجبر دی الکتریک در حضور مواد BI
۱۰۶.....	۶-۶ مرزهای جاذب.....
۱۰۷.....	۱-۶-۶ معرفی گره هیبرید.....
۱۱۳.....	۲-۶-۶ پیاده سازی PML در TLM.....
۱۱۴.....	۱-۲-۶-۶ تئوری.....
۱۱۹.....	۷-۶ نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۲۰.....	فصل هفتم.....
۱۲۰.....	پیوست.....
۱۲۱.....	۱-۷ پیاده سازی گره TLM سه بعدی.....
۱۲۳.....	۲-۷ گره فشرده متقارن (Symmetrical Condensed Node).....
۱۲۸.....	۱-۲-۷ خصوصیات انتشار در یک مش SCN منظم.....
۱۳۰.....	۲-۲-۷ محاسبات مربوط به مش در یک گره SCN.....
۱۳۱.....	۳-۲-۷ خروجی یک مش SCN.....
۱۳۱.....	۱-۳-۲-۷ محاسبه میدان های مغناطیسی و الکتریکی.....
۱۳۳.....	۲-۳-۲-۷ محاسبه جریان الکتریکی.....
۱۳۶.....	۳-۳-۲-۷ محاسبه بار الکتریکی.....
۱۳۶.....	۴-۲-۷ تحریک یک مش SCN.....
۱۳۷.....	۳-۷ گره SCN با مش متغیر.....
۱۳۸.....	۱-۳-۷ گره SCN با شاخه های سلفی و خازنی.....
۱۴۰.....	۲-۳-۷ پراکندگی در یک گره SCN متصل به شاخه.....
۱۴۲.....	۳-۳-۷ محاسبه میدان های الکترومغناطیسی در یک گره SCN استاندارد.....
۱۴۳.....	۴-۳-۷ تحریک SCN متصل به شاخه.....
۱۴۴.....	۴-۷ گره SCN به همراه شاخه های خازنی، سلفی و تلفاتی.....

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۶	شکل (۱-۲): یک مش نوعی برای روش FD دو بعدی [۱].
۷	شکل (۲-۲): یک مش بندی نوعی در روش Finite Element [۲].
۹	شکل (۳-۲): رزوناتور میکرواستریپ [۲].
۱۱	شکل (۴-۲): سطح مقطع یک خط میکرواستریپ shield دار با ضخامت استریپ محدود.
۱۲	شکل (۵-۲): رزوناتور میکرواستریپ.
۲۱	شکل (۱-۴): یک خط انتقال بدون تلف [۱۷].
۲۲	شکل (۲-۴): اتصال ناگهانی منبع [۱۷].
۲۳	شکل (۳-۴): پالس های ولتاژ و جریان در طول یک خط انتقال [۱۷].
۲۴	شکل (۴-۴): خط انتقال و مدار معادل آن [۱۷].
۲۵	شکل (۵-۴): مدار معادل یک خط انتقال بدون تلف [۱۷].
۲۸	شکل (۶-۴): مدل ارتباطی برای یک خازن [۱۷].
۲۹	شکل (۷-۴): مدل شاخه برای یک خازن [۱۷].
۳۰	شکل (۸-۴): الف) یک مدار RC، ب) مدل TLM آن، ج) مدار معادل تونن، د) شرایط در شاخه [۱۷].
۳۱	شکل (۹-۴): مدل ارتباطی برای یک سلف [۱۷].
۳۲	شکل (۱۰-۴): مدل شاخه برای یک سلف [۱۷].
۳۳	شکل (۱۱-۴): الف) یک مدار LR، ب) معادل TLM آن، ج) معادل تونن آن [۱۷].
۳۳	شکل (۱۲-۴): یک خط انتقال تلف دار [۱۷].
۳۴	شکل (۱۳-۴): الف) یک خط انتقال پایه، ب) مدل TLM آن، ج) یک خط شامل ده قسمت مشابه قسمت (ب) [۱۷].
۳۵	شکل (۱۴-۴): الف) یک شبکه خط انتقال، ب و ج) معادل تونن آن [۱۷].
۳۷	شکل (۱۵-۴): الف) شرایط در بار، ب) مدل TLM آن، ج) معادل تونن آن [۱۷].
۳۸	شکل (۱۶-۴): نمایش یک خازن اضافی [۱۷].
۴۰	شکل (۱۷-۴): یک شبکه برای مطالعه اثر پراکندگی [۱۷].
۴۱	شکل (۱۸-۴): شرایط در قسمت میانی شکل (۱۷-۴) [۱۷].

- شکل (۴-۱۹): الف) شمایی از یک مش TLM، ب) تحریک ضربه، ج) اولین مرحله scattering [۱۷].
- ۴۲
 شکل (۴-۲۰): فرآیند Scattering در گره TLM [۱۷]. ۴۳
 شکل (۴-۲۱): فضای توصیف شده توسط یک گره سری [۱۷]. ۴۴
 شکل (۴-۲۲): شرایط در گروهی از گره‌های سری [۱۷]. ۴۵
 شکل (۴-۲۳): بررسی شرایط در گره مرتبط با جریان I_A [۱۷]. ۴۶
 شکل (۴-۲۴): نمایش یک گره سری [۱۷]. ۴۸
 شکل (۴-۲۵): مدار معادل تونن یک گره سری [۱۷]. ۴۹
 شکل (۴-۲۶): فرآیند connection در شبکه ای از گره‌های متصل به هم [۱۷]. ۵۰
 شکل (۴-۲۷): اضافه نمودن یک شاخه اتصال کوتاه برای مدل کردن [۱۷]. μ ۵۲
 شکل (۴-۲۸): گره سری با در نظر گرفتن تلفات و $\mu = \mu_r \mu_0$ [۱۷]. ۵۳
 شکل (۴-۲۹): مرز هادی و محل آن در گره [۱۷]. ۵۵
 شکل (۴-۳۰): مرز مدار باز در یک گره سری [۱۷]. ۵۵
 شکل (۴-۳۱): نمایش یک گره موازی و فضای توصیف شده توسط آن [۱۷]. ۵۶
 شکل (۴-۳۲): مدل مداری برای انتشار در جهت x [۱۷]. ۵۷
 شکل (۴-۳۳): مدار معادل تونن برای یک گره موازی [۱۷]. ۵۸
 شکل (۴-۳۴): محاسبه جریان در جهت x [۱۷]. ۵۹
 شکل (۴-۳۵): یک گره موازی با در نظر گرفتن شاخه مدار باز و شاخه تطبیق [۱۷]. ۶۰
 شکل (۶-۱): یک موجبر صفحه ای. ۸۴
 شکل (۶-۲): ترتیب شماره گذاری درگاه های یک گره TLM [۲۶]. ۸۶
 شکل (۶-۳): پاسخ فرکانسی یک موجبر صفحه ای. ۸۸
 شکل (۶-۴): پاسخ فرکانسی موجبر در حضور ماده BI با پارامترهای $\chi = 1.15$ و $\kappa = -0.0214 psec$. ۸۸
 شکل (۶-۵): پاسخ فرکانسی موجبر در حضور ماده BI با پارامترهای $\chi = 1.15$ و $\kappa = -0.0428 psec$. ۸۹
 شکل (۶-۶): پاسخ فرکانسی موجبر در حضور ماده BI با پارامترهای $\chi = 1.25$ و $\kappa = -0.0214 psec$. ۸۹
 شکل (۶-۷): پاسخ فرکانسی موجبر در حضور ماده BI با پارامترهای $\chi = 1.25$ و $\kappa = -0.0321 psec$. ۹۰
 شکل (۶-۸): پاسخ فرکانسی موجبر در حضور ماده BI با پارامترهای $\chi = 1.3$ و $\kappa = -0.0214 psec$. ۹۰
 شکل (۶-۹): پاسخ فرکانسی موجبر در حضور ماده BI با پارامترهای $\chi = 1.4$ و $\kappa = -0.0214 psec$. ۹۱
 شکل (۶-۱۰): تغییرات میدان‌های مغناطیسی در سطح مقطع موجبر صفحه‌ای. ۹۳
 شکل (۶-۱۱): تغییرات میدان‌های الکتریکی در سطح مقطع موجبر صفحه‌ای. ۹۴

- شکل (۶-۱۲): سطح مقطع یک موجبر مستطیلی با دیواره های هادی. ۹۵
- شکل (۶-۱۳): پاسخ فرکانسی موجبر مستطیلی در حضور ماده ایزوتروپیک. ۹۶
- شکل (۶-۱۴): پاسخ فرکانسی موجبر مستطیلی در حضور ماده BI با پارامترهای
..... $\chi = 1.4, \kappa = -0.1495 psec$ ۹۷
- شکل (۶-۱۵): پاسخ فرکانسی موجبر مستطیلی در حضور ماده BI با پارامترهای
..... $\chi = 1.8, \kappa = -0.0689 psec$ ۹۷
- شکل (۶-۱۶): یک موجبر مستطیلی قسمتی پر. ۹۸
- شکل (۶-۱۷): یک موجبر دی الکتریک. ۹۹
- شکل (۶-۱۸): پاسخ فرکانسی موجبر دی الکتریک. ۱۰۱
- شکل (۶-۱۹): تغییرات میدان الکتریکی E_z در سطح مقطع موجبر دی الکتریک. ۱۰۲
- شکل (۶-۲۰): تغییرات میدان های مغناطیسی H_x و H_y در سطح مقطع موجبر دی الکتریک. ۱۰۲
- شکل (۶-۲۱): ساختار یک کوپلر جهت دار. ۱۰۳
- شکل (۶-۲۲): تغییرات توان متوسط در طول موجبر بالایی و پایینی، $\chi = 0, \kappa = 0$ ۱۰۴
- شکل (۶-۲۳): تغییرات توان متوسط در طول موجبر بالایی و پایینی، $\chi = 1.15, \kappa = -0.0353 psec$ ۱۰۴
- شکل (۶-۲۴): تغییرات توان متوسط در طول موجبر بالایی و پایینی، $\chi = 1.25, \kappa = -0.0353 psec$ ۱۰۴
- شکل (۶-۲۵): تغییرات توان متوسط در طول موجبر بالایی و پایینی، $\chi = 1.3, \kappa = -0.0353 psec$ ۱۰۵
- شکل (۶-۲۶): تعریف میدان ها در یک سلول TLM برای مد TM [۳۱]. ۱۰۸
- شکل (۶-۲۷): مسیر در نظر گرفته شده برای تقریب رابطه (۶-۱۷) [۳۱]. ۱۰۸
- شکل (۶-۲۸): مسیر در نظر گرفته شده برای محاسبه $H_x^{(k)}$ و $H_y^{(k)}$ [۳۱]. ۱۱۰
- شکل (۶-۲۹): محاسبه $E_z^{(k)}$ در صفحه YOZ [۳۱]. ۱۱۱
- شکل (۶-۳۰): ناحیه PML در کنار ناحیه محاسباتی [۳۲]. ۱۱۵
- شکل (۶-۳۱): سلول کلی برای TLM دو بعدی در ناحیه PML برای مد TM [۳۲]. ۱۱۶
- شکل (۶-۳۲): فرکانس قطع موجبر صفحه ای که دو طرف آن PML قرار داده شده است. ۱۱۸
- شکل (۶-۳۳): فرکانس قطع موجبر صفحه ای که دو طرف آن reflection Coefficient تعریف شده
است. ۱۱۸
- شکل (۷-۱): اتصال دو گره سری با یک گره موازی [۱۷]. ۱۲۱
- شکل (۷-۲): مدل یک گره گسترده [۱۷]. ۱۲۲
- شکل (۷-۳): مدل یک گره فشرده متقارن [۱۷]. ۱۲۳
- شکل (۷-۴): سه ساختار تشکیل دهنده گره SCN [۱۷]. ۱۲۴

- شکل (۷-۵): نحوه کوپلینگ میان درگاه‌های یک گره ۳ بعدی [۱۷] ۱۲۵
- شکل (۷-۶): شبکه ای از گره های SCN متصل به هم [۱۷] ۱۲۹
- شکل (۷-۷): محاسبه جریان I_x [۱۷] ۱۳۲
- شکل (۷-۸): محاسبه جریان روی بدنه هادی [۱۷] ۱۳۳
- شکل (۷-۹): مدار معادل جهت محاسبه جریان الکتریکی [۱۷] ۱۳۴
- شکل (۷-۱۰): گره اتصال کوتاه [۱۷] ۱۳۴
- شکل (۷-۱۱): مدار معادل محاسبه جریان در یک گره [۱۷] ۱۳۵
- شکل (۷-۱۲): یک مسیر بسته اطراف یک سیم [۱۷] ۱۳۵
- شکل (۷-۱۳): مش با Δ متغیر [۱۷] ۱۳۸
- شکل (۷-۱۴): مدار جهت محاسبه مولفه x میدان مغناطیسی در یک گره با شاخه [۱۷] ۱۴۳
- شکل (۷-۱۵): محاسبه تلفات مغناطیسی [۱۷] ۱۴۶

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۸	جدول (۱-۳): دسته بندی محیط‌های BI [۱۰].....
۶۷	جدول (۱-۵): معادلات اساسی میدان های الکترومغناطیسی [۲۶].....
۷۶	جدول (۳-۵): مقایسه کمیت‌های معادل [۲۶].....
۷۷	جدول (۴-۵): معادلات دیفرانسیل در شبکه TLM [۲۶].....
۹۲	جدول (۱-۶): میزان چرخش زاویه میان میدانهای E_x و E_y
۹۸	جدول (۲-۶): مقایسه مقدار مد غالب در موجبرهای قسمتی پر.....
۱۰۶	جدول (۳-۶): کوپلینگ $3dB$ در کوپلر BI.....
۱۰۶	جدول (۴-۶): کوپلینگ $3dB$ در کوپلر BI.....
۱۰۶	جدول (۵-۶): کوپلینگ $3dB$ در کوپلر ایزوتروپیک.....

فصل اول

مقدمه

یکی از مسائل مهمی که همواره مورد توجه محققین قرار داشته است مطالعه محیط‌های دی‌الکتریک و بررسی خواص انتشاری موج در آنها است. یکی از مهمترین دسته از محیط‌های دی‌الکتریک، محیط‌های Bi-isotropic، (BI)، می‌باشند که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در محیط‌های biisotropic که خود شامل دو محیط تلگان و دستگردان می‌شوند، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به یکدیگر کوپل شده‌اند. به عبارت دیگر با بوجود آمدن میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی نیز بوجود می‌آید و بالعکس. در واقع وقتی چنین محیط‌هایی در معرض میدان الکتریکی و یا مغناطیسی قرار بگیرند، هم پلاریزه و هم مغناطیسی می‌شوند. این اثر، کوپلینگ الکترومغناطیسی نام دارد. کوپلینگ الکترومغناطیسی، سبب پیچیده شدن روابط در این محیط‌ها و ایجاد خواص مختلفی می‌شود. بررسی و آنالیز انتشار موج در چنین موادی، در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است.

در این پایان‌نامه، هدف، مدل سازی انتشار موج در محیط‌های دستگردان و BI با روش TLM است. روش TLM (Transmission Line Matrix Method) یک روش عددی در حوزه زمان است که از مزایای زیر برخوردار است:

۱- این روش یک روش بسیار قوی در حوزه زمان است و می‌توان محیط‌های dispersive، غیر ایزوتروپیک و ناهمگن را با اضافه کردن المان‌های جدید به مدل حالت کلاسیک آن مدل نمود.

۲- از دقت بسیار خوبی برخوردار است.

۳- کلیه میدان‌ها را همزمان در یک نقطه از مکان و زمان محاسبه می‌کند.

همانگونه که در قسمت‌های بعدی پایان‌نامه مشهود است، ابتدا روش TLM را به صورت کامل مورد بررسی قرار می‌دهیم. اساس این روش بر مقایسه میان معادلات ولتاژ و جریان خط و معادلات ماکسول استوار است. با انجام این مقایسه ارتباط میان کمیت‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی و ولتاژ و جریان خطوط انتقال بدست می‌آید. بر این اساس یک مدل کلاسیک در این روش بدست می‌آید. حال اگر با یک محیط با پارامترهایی اضافه بر پارامترهای رایج یک محیط دی‌الکتریک یعنی ϵ و μ مواجه شویم، نیاز به المان‌های جدیدی مثل منابع ولتاژ و ... می‌باشد که بایستی به هر گره اضافه گردد.

محیط‌های BI همانگونه که در قسمت‌های بعدی به صورت دقیق‌تر اشاره خواهد شد، شامل دو پارامتر تلگان و دستگردانی (Chirality)، می‌باشد. لذا بایستی المان جدیدی جهت مدل کردن این دو پارامتر به مدل اضافه نمود. در ادامه نشان داده می‌شود که این المان جدید به صورت منبع ولتاژ است که به هر گره اضافه خواهد شد.

پس از تکمیل مدل هر گره و مدل‌سازی محیط و مشخص نمودن الگوریتم، ساختارهای مختلفی را گره‌بندی و مورد بررسی قرار می‌دهیم. ابتدا جهت بررسی صحت الگوریتم و برنامه نوشته شده، چند ساختار معلوم را مورد ارزیابی قرار داده و پس از اطمینان از درستی برنامه، به بررسی خواص انتشاری موج در محیط‌های BI می‌پردازیم.

۱-۲ کلیات

از آنجایی که تنها تعداد محدودی از مسائل الکترومغناطیسی را می‌توان با روش‌های تحلیلی و دقیق حل نمود، روش‌های عددی اهمیت بسیار زیادی در حل مسائل الکترومغناطیسی دارند. در فصل دوم به صورت بسیار مختصر به انواع روش‌های عددی اشاره می‌شود. در فصل سوم محیط‌های دستگردان و خواص آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل چهارم در مورد روش عددی TLM دو بعدی مفصلاً بحث می‌شود. با توجه به اینکه خاصیت دستگردانی منجر به تغییر معادلات میدان‌های الکترومغناطیسی می‌گردد، مدل‌سازی به روش TLM دیگر به سبک کلاسیک آن قابل پیاده‌سازی نیست و بایستی المان‌های جدید به هر گره اضافه شود. در فصل پنجم، مدل‌سازی برای شبیه‌سازی انتشار موج در محیط‌های دستگردان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل ششم نتایج پیاده‌سازی ساختارهای مختلف با مدل TLM آورده شده و سرانجام نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه می‌گردد.

فصل دوم

معرفی روش های عددی در الکترومغناطیس

از آنجایی که تنها تعداد محدودی از مسائل الکترومغناطیس را می‌توان به روش تحلیلی حل کرد، روش‌های عددی اهمیت بسیار زیادی در حل مسائل الکترومغناطیس دارند. خوشبختانه با پیشرفت علوم کامپیوتر و برنامه‌نویسی این روش‌ها را می‌توان با دقت بالایی به کار گرفت. هنگامی که می‌خواهیم یک ساختار مشخص را تحلیل کنیم، بایستی روش مناسبی که بهترین روش برای تحلیل آن ساختار است، انتخاب کنیم. البته مشخص است که این انتخاب یکتا نخواهد بود و بستگی به فاکتورهای مختلفی مانند میزان حجم حافظه، زمان پردازش و ... دارد. در این فصل به صورت بسیار مختصر، برخی روشهای عددی که کاربرد بیشتری دارند، معرفی می‌گردند.

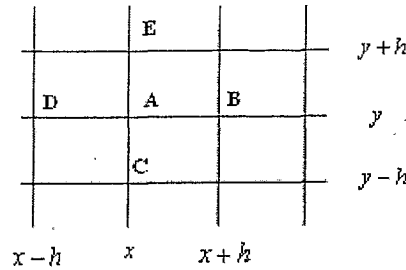
۲-۲ روش تفاضل محدود (Finite Difference Method)

روش تفاضل محدود [۱]، در این فصل با معرفی معادله لاپلاس دو بعدی بیان می‌گردد. روش FD یک روش عددی بسیار پرکاربرد است که در بیشتر مدل سازی‌ها از آن استفاده می‌شود. معادله لاپلاس دو بعدی زیر را در نظر بگیرید:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (1-2)$$

بسط حالت دو بعدی به سه بعدی به صورت مشخص امکان پذیر است. در این روش، مکان به مش‌های مشخصی که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند، تقسیم می‌گردد. به جای حل مستقیم معادله (۱-۲)، از بسط تیلور استفاده می‌گردد. اگر مبدأ در نقطه A در شکل (۱-۲) قرار داشته باشد، پتانسیل ϕ_B ، ϕ_C ، ϕ_D و ϕ_E در نقاط B ، C ، D و E به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\begin{aligned} \phi_B &= \phi_A + h \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_A + \frac{h^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right)_A + \frac{h^3}{3!} \left(\frac{\partial^3 \phi}{\partial x^3} \right)_A + o(h^4) \\ \phi_E &= \phi_A + h \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_A + \frac{h^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right)_A + \frac{h^3}{3!} \left(\frac{\partial^3 \phi}{\partial y^3} \right)_A + o(h^4) \\ \phi_D &= \phi_A - h \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_A + \frac{h^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right)_A - \frac{h^3}{3!} \left(\frac{\partial^3 \phi}{\partial x^3} \right)_A + o(h^4) \\ \phi_C &= \phi_A - h \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_A + \frac{h^2}{2!} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right)_A - \frac{h^3}{3!} \left(\frac{\partial^3 \phi}{\partial y^3} \right)_A + o(h^4) \end{aligned} \quad (2-2)$$



شکل (۱-۲): یک مش نوعی برای روش FD دو بعدی [۱].

ترم $o(h^4)$ نشان دهنده باقی مانده ترم ها در بسط سری تیلور است. با جمع معادلات فوق با یکدیگر خواهیم داشت:

$$\phi_B + \phi_C + \phi_D + \phi_E = 4\phi_A + h^2 \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right)_A + o(h^4) \quad (۳-۲)$$

اگر ϕ جواب معادله لاپلاس (۱-۲) باشد، ترم داخل پرانتز در معادله، صفر می شود و لذا خواهیم داشت:

$$\phi_A = \frac{1}{4}(\phi_B + \phi_C + \phi_D + \phi_E) \quad (۴-۲)$$

در معادله فوق از ترم $o(h^4)$ به دلیل کوچکی زیاد و قابل توجه نبودن، صرف نظر شده است. اگر نقطه A روی مرز میان دو محیط قرار داشته باشد، از معادلات متفاوتی بایستی استفاده کرد. روش فوق برای هر نقطه دنبال می شود و یک معادله ماتریسی به فرم زیر بدست می آید:

$$M.\phi = \bar{B} \quad (۵-۲)$$

اطلاعات ماتریس B از نقاط مرزی بدست می آید و M ماتریس ضرایب است. این روش به محاسبات ریاضی پیچیده ای نیاز ندارد و برای دسته وسیعی از ساختارها قابل استفاده است، اما هنگامی که برای مسائل با ناحیه باز به کار می رود، مشکلات خاص خود را دارد.

۳-۲ روش المان محدود (Finite Element Method)

این روش، شبیه روش تفاضل محدود است اما انعطاف پذیری بیشتری نسبت به روش FD دارد [۲،۳]. در این روش، ناحیه مورد نظر، به نواحی کوچکتری تقسیم می شود که به شکل چند ضلعی می باشند، این نواحی در حالت دو بعدی می توانند مستطیل یا مثلث باشند و در شرایط سه