به نام خدا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده برق

پایان نامه کارشناسی ارشد برق

محاسبه پارامترهای تشعشعی یک آنتن آرایه فازی در باند فرکانسی S با استفاده از تبدیل میدان راه نزدیک به دور با به کارگیری روش FDTD

نگارش:

مجتبی احدی

استاد راهنما:

دکتر ایاز قربانی

استاد مشاور:

دکتر غلامرضا مرادی

زمستان ۸۷

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی - ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:
معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی:مجتبی احدی — دانشجوی آزاد ● — بورسیه ○ — معادل ○
شماره دانشجوئی:۸۵۱۲۳۰۸۷ — دانشکده:برق — رشته تحصیلی:مخابرات — گروه:میدان

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی:دکتر ایاز قربانی — درجه و رتبه: دانشیار
نام و نام خانوادگی: — درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی:دکتر غلامرضا مرادی — درجه و رتبه: استادیار
نام و نام خانوادگی: — درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : محاسبه پارامترهای تشعشعی یک آنتن آرایه فازی در باند فرکانسی S با استفاده از تبدیل میدان راه نزدیک به دور با به کارگیری روش FDTD

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Calculating an Array Antennas Radiation Patterns in S band using Near-Field to Far-Field Transportation by Numerical FDTD Method

نوع پروژه: کارشناسی○ — ارشد● — دکترا ○ — سال تحصیلی:۸۵
کاربردی ● — بنیادی ○ — توسعه‌ای ○ — نظری ●

تاریخ شروع :۸۶/۸ — تاریخ خاتمه :۸۷/۱۲ — تعداد واحد :۶ — سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: تفاضل محدود، حوزه زمان، میدان راه نزدیک، میدان راه دور، آنتن، پترن آنتن، تبدیل میدان راه نزدیک به میدان راه دور

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Near Field, Far Field , FDTD , Time Domain, Finite Difference, Antennas, Antennas patterns, near-field far-field transportation

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات	تصویر● جدول○ نمودار ● نقشه ○ واژه‌نامه ○		تعداد مراجع	تعداد صفحات ضمائم
	۱۲۸			۱۷	۰
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ●	انگلیسی ●
یادداشت					

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد: چون پروژه فوق جنبه کاربردی دارد و میتواند در سیستم‌های راداری مورد استفاده قرار گیرد. لازم است امکانات اندازه‌گیری و دیگر ابزارها را جهت استفاده پروژه‌ها در دانشگاه فراهم شود تا بتوان از نتایج آن [illegible]

دانشجو: پیشنهاد می‌شود تا پروژه انجام شده را برای آرایه‌های پیچیده‌تر نیز انجام داده شود و همچنین می‌توان از محیط‌های PML با دقت بالاتر در روابط تفاضل محدود مراتب بالاتر جهت بهبود خطا صورت گیرد.

تاریخ: ۸۹/۱/۲۵ — امضاء استاد راهنما:

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه
۲ : ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه مرکزی)

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که همیشه پشتیبانم بوده‌اند

چکیده

تفاضل محدود حوزه زمان از روش‌هایی است که به وسیله آن می‌توان به بررسی مسائل الکترومغناطیسی پرداخت. یکی از عللی که باعث می‌شود تا به سمت روش‌های عددی در الکترومغناطیس برویم آن است که در بعضی مسائل ساختار مساله به گونه‌ای است که با روش‌های ریاضی متداول و با حل مستقیم معادلات ماکسول ، رسیدن به جواب غیر ممکن می‌شود. بدین منظور برای حل این مسائل باید تقریب‌هایی را در نظر گرفت تا مساله قابل حل باشد. در این صورت دیگر جواب بدست آمده دارای دقت خوبی نبوده و با مقدار حقیقی فاصله زیادی دارد. اگر بخواهیم جواب‌هایی با دقت بالا داشته باشیم نا گذیر به استفاده از روش‌های عددی در الکترومغناطیس هستیم. بدین ترتیب با تبدیل معادلات انتگرالی و دیفرانسیل به معادلات تفاضلی، می‌توان مسائل پیچیده‌ای را که تا کنون قابل حل نبودند را حل کرد.

یکی از کاربرهای روش‌های عددی بررسی آنتن‌ها و پارامترهای تشعشعی آن‌ها می‌باشد. برای این منظور باید به نحوی میدان‌های راه دور یک آنتن را محاسبه و سپس با استفاده از این داده‌ها به بررسی پارامترهای آنتن پرداخت.

تبدیل میدان نزدیک به دور را می‌توان با استفاده از جریان‌های معادل میدان‌های اسکتر شده الکتریکی و مغناطیسی از منبع بر روی یک سطح فرضی بدست آورد. این امر با استفاده از روش ترکیبی تفاضل محدود حوزه زمان و فرکانس قابل انجام است. بدین منظور میدان‌های ناحیه نزدیک با استفاده از روش تفاضل محدود حوزه زمان محاسبه می‌شود و پس از محاسبه این میدان‌ها در حوزه زمان، با استفاده از تبدیل میدان نزدیک به میدان دور در حوزه فرکانس، میدان‌های ناحیه دور محاسبه می‌شوند. این روش دقت روش حوزه فرکانس در میدان نزدیک و سرعت تبدیل میدان نزدیک به دور را با هم ترکیب می‌کند.

در این پروژه به بررسی آرایه‌های خطی دو و چهارتایی و آرایه‌های دایروی چهار، شش و دوازده‌تایی پرداخته شد و نتایج آن‌ها با روش آنالیتیک مقایسه شد. آنچه به عنوان ادامه کار پیشنهاد می‌شود این است که چند آرایه دایروی هم مرکز و یا آرایه‌های بیضوی مورد بررسی قرار گیرند.

کلید واژه- میدان نزدیک، تحلیل آنتن، روشهای ترکیبی، میدانهای پراکندگی، Near Field، Antenna analysis، Numerical Methods، Mixed methods، Scattering Fields

فهرست مطالب

فصل دوم

فصل سوم

فصل چهارم

مقدمه

معادلات الکترومغناطیس بر طبق معادلات ماکسول بیـان مـی‌شـوند و لازم اسـت تـا بـه روش کلاسیک با معادلات دیفرانسیل یا معادلات انتگرالی پیچیده ریاضی حل شوند. البته با توجه به پیشرفت و پیچیدگی مسائل در این علم، نیاز به روش‌های عددی برای آنالیز مسائل اهمیت بیشتری می‌یابد. امروزه با توجه به افزایش قدرت محاسباتی رایانه‌ها هر گونه مساله با هر درجه از پیچیـدگی را مـی‌تـوان بـه روش عددی حل نمود.

به عنوان یکـی از ضـعف‌هـای روش تحلیلـی کلاسـیک مـی‌تـوان بـه مـدل سـازی معـادلات الکترومغناطیسی بدن انسان اشاره نمود که آن را به صورت استوانه مدل می‌کنند که در عمل تفـاوت‌هـای بنیادینی بین استوانه و بدن انسان وجود دارد. همچنین صورت انسان در روش کلاسیک بـه صـورت کـره مدل می‌شود. در واقع می‌توان گفت با عدم به کار گیری روش‌های عددی بررسی‌های دقیق شرایط مـساله بسیار دشوار خواهد بود.

حل عددی معادلات جزئی و معادلات انتگرالی دارای تاریخچـه‌ای طـولانی بـوده و روش‌هـای گوناگونی برای آن به وجود آمده است. علم الکترومغناطیس در گرو چنین معادلاتی است و بخش اعظـم پیشرفت‌های اخیر در زمینه توسعه و ایجاد روش‌های پر قدرت جدید نیز مرهون انجام مطالعـات عـددی در همین علم می‌باشد. سه روش بنیادی در حل عددی مسائل الکترومغناطیس عبارتنـد از: روش تفاضـل محدود[۱]، اجزای محدود[۲] و روش مومنت[۳].

در حقیقت بیشتر تاکید بر مسائل الکترومغناطیسی و الگوریتم‌هـایی اسـت کـه بـه عنـوان بنیـان برنامه‌های رایانه‌ای و ارائه دهنده نتایج عددی مناسب قابل اسـتفاده باشـد. سـرعت پردازشـگر و حافظـه مناسب برای بدست آوردن دقت بیشتر مورد نیاز است. مسائل فیزیکی واقعی دارای سه متغیـر فـضایی و یک متغیر زمان هستند.

[1] Finite Difference
[2] Finite Element
[3] Method of Moments

اصول کاربردهای مهندسی از روش‌های عددی در علم الکترومغناطیس برای امواج هدایت شونده ، آنتن‌ها و مسائل پراکندی می‌باشد. بخش مهمی از مسائل الکترومغناطیس به آنالیز پراکندگی امواج می‌پردازد.ساده‌ترین مساله پراکندگی به یک موج مسطح مربوط می‌شود که در فضای آزاد به یک جسم برخورد می‌کند، اغلب موارد آن جسم را به عنوان یک هادی در نظر می‌گیریم. موج تابشی موجب به وجود آمدن جریاناتی در جسم می‌شود که این جریان‌ها می‌توانند موج ثانویه معروف به موج پراکنده را به وجود آورند.

با این مقدمه اجمالی به سراغ بحث اصلی این پروژه که استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه زمان به منظور تبدیل میدان نزدیک به دور و همچنین محاسبه پارامترهای تشعشعی از روی آن است بپردازیم.

فصل اول

روش تفاضل محدود حوزه زمان

۱-۱ تفاضل محدود

روش تفاضل محدود حوزه زمان (FDTD) یکی از روشهای عددی الکترومغناطیس بر پایه حل معادلات دیفرانسیل می‌باشد. مزیت اولیه روش FDTD سر راست بودن آن در کار با گریدهای مستطیلی بوده و مولفه‌های میدان را به طور مستقیم و بدون نیاز به معکوس کردن ماتریس می‌توان محاسبه کرد. معادلات میدان به طور طبیعی پایدار در پله‌های زمانی مشخص به دست می‌آیند. الگوریتم FDTD به طور موثر برای مسایل ماکروویو نظیر موجبرها ، خطوط شکافی و مدارهای میکرواستریپ استفاده می‌گردد. همچنین روش FDTD در حل مسائل مربوط به تشعشع و پراکندگی به طریقه گسسته سازی مستقیم قوانین فاراده و آمپر ، به کار برده می‌شود. فرآیند گسسته سازی روی معادلات کرل ماکسول و یا معادلات انتگرالی میدان‌ها اعمال می‌گردد. روش ارائه شده در اینجا با گسسته سازی معادلات کرل ماکسول که در ابتدا توسط Yee انجام گرفته، آغاز می‌شود. به طور کلی تحلیل مسائل با روش FDTD به دلایل زیر اهمیت دارد:

۱. روش FDTD دقیق است ، زیرا از مدلی استفاده می‌کند که با واقعیت همخوانی دارد.
۲. انعطاف پذیر است و قابلیت تحلیل ساختارهای پیچیده در این مدل بسیار بالاست.
۳. مقادیر میدان نزدیک را به طور مستقیم محاسبه می‌کند.
۴. توانایی لازم برای استفاده از مواد مختلف در شبیه سازی را دارد.
۵. پهنای باند وسیع دارد. زیرا در روش FDTD امکان در نظر گرفتن تابع پالسی در ورودی وجود دارد.
۶. هم اطلاعات حوزه زمان و هم حوزه فرکانس در روش FDTD قابل محاسبه است.

در این بخش طرز مدل کردن منبع و محیط‌های مرزی مختلف به منظور اطمینان از دقت مدل سازی همراه با حفظ الگوریتم موثر محاسباتی مربوط به زمان اجرا مورد توجه قرار می‌گیرد. هم چنین جزئیات روشهایی برای انجام محاسبات ثانویه کمیت‌هایی نظیر توان تشعشعی، ولتاژ ، جریان و امپدانس مطرح شده است.

تفاضل محدود روشی است که بر اساس گسسته سازی مستقیم معادلات دیفرانسیل است. معادلات دیفرانسیل با معادلات تفاضل محدود جایگزین می‌شوند. معمولا تقریب های تفاضلی با استفاده

از سری تیلور محاسبه می‌شوند. در ساده ترین حالت جواب به صورت شبکه‌های یکنواخت مستطیلی گسسته تقریب زده می‌شوند. از مزایای روش تفاضل محدود مدل کردن ساده مواد پیچیده است. همچنین این روش را می‌توان در آنالیزهای حوزه زمان برخلاف روش‌های FEM، MOM و BEM که روش‌های اختصاصی در حوزه فرکانس هستند اعمال کرد.اشکال روش تفاضل محدود سختی در مدل کردن شرایط هندسی با شکل دلخواه است. به عنوان مثال سطوح منحنی را نمی‌توان با دقت بالایی با شبکه‌های مستطیلی شبیه سازی کرد.

۱-۱-۱ تبدیل معادلات به روش تفاضل محدود

مشتق تابع $f(x)$ در نقطه x_0 به صورت زیر است

$$\left.\frac{\partial}{\partial x} f(x)\right|_{x=x_0} = \lim_{h \to 0} \frac{f(x_0+h)-f(x_0)}{h} \qquad (۱-۱)$$

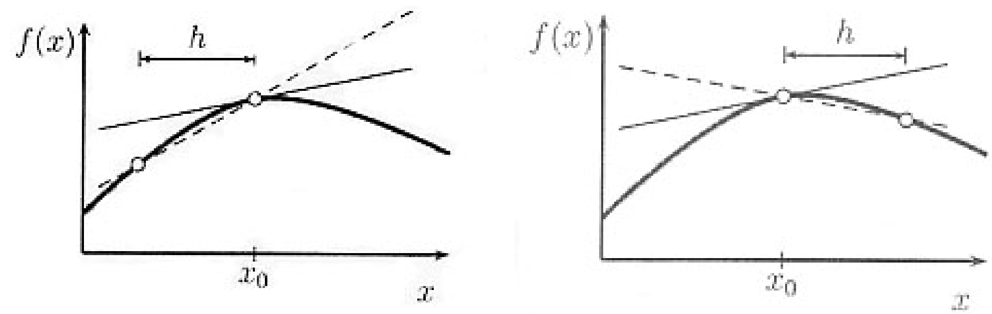
از این رو مشتق به معنای تغییرات مقدار تابع در نقطه مورد نظر است. در روش تفاضل محدود مشتقات به چند دسته تقسیم می‌شوند. به عنوان مثال

$$\left.\frac{\partial}{\partial x} f(x)\right|_{x=x_0} \approx \frac{f(x_0+h)-f(x_0)}{h} \qquad (۲-۱)$$

تفاضل پیشرو نامیده می‌شود. تفاضل پسرو به صورت

$$\frac{\partial}{\partial x} f(x)\bigg|_{x=x_0} \approx \frac{f(x_0) - f(x_0 - h)}{h} \qquad (۳-۱)$$

تعریف می‌شود. به عبارت دیگر تفاضل محدود مشتق محلی را به وسیله محاسبه تغییرات کلـی مقدار تابع در بازه h تخمین می‌زند. شکل زیر این تقریب رو نشان می‌دهد.



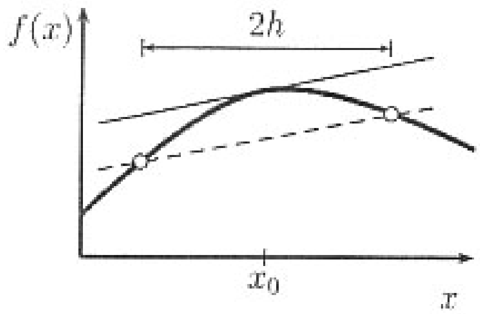
ب)پسرو **الف)پیشرو**

شکل ۱-۱-تقریب تفاضل

در یک نگاه ما می‌توانیم تفاضل پیشرو و پسرو را به صورت کم دقتی تخمین بزنیم، بـه عنـوان مثال خط رسم شده با خط مماس بر منحنی موازی نیست. در این مثال در شکل ۱-۱شکل ۱- مقدار h باید به منظور بهبود دقت، کاهش پیدا کند. به توجه به شکل ۱-۱شکل ۱- شرایطی را تصور کنیـد کـه مقـدار h کوچکتر شود و خط رسم شده به مقدار شیب منحنی نزدیک می‌شود د در نهای وقتی h به صفر میل کند با هم برابر می‌شوند. مقدار کوچک h دقت بالاتری را می‌دهد.اگر ما میانگین تفاضلات پیشرو و پـسرو را محاسبه کنیم، به رابطه تفاضل مرکزی می‌رسیم

$$\frac{\partial}{\partial x} f(x)\bigg|_{x=x_0} \approx \frac{1}{2}\left[\frac{f(x_0+h) - f(x_0)}{h} + \frac{f(x_0) - f(x_0 - h)}{h}\right] = \frac{f(x_0+h) - f(x_0-h)}{2h} \qquad (۴-۱)$$

شکل ۱–۲ هندسه تفاضل مرکزی را نشان می‌دهد. خط رسم شده تقریبا با خط مماس موازی است.



شکل ۱–۲–تفاضل مرکزی

تفاضل مرکزی از نوع دقت با مرتبه دوم است. به عبارت دیگر، این عبارت را می‌توان توسط مشتقات چند جمله‌ای از مرتبه دوم به طور دقیق محاسبه کرد. این مساله را می‌توان با استفاده از یک چند جمله‌ای درجه سوم $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ بررسی کرد. مشتق این چند جمله‌ای در نقطه دلخواه x_0 به صورت زیر است.

$$f'(x_0) = 3ax_0^2 + 2bx_0 + c \tag{۱–۵}$$

تقریب تفاضل مرکزی در همان نقطه عبارت است از

$$\begin{aligned} f'(x_0) &\approx \frac{f(x_0+h) - f(x_0-h)}{2h} \\ &= \frac{a(x_0+h)^3 + b(x_0+h)^2 + c(x_0+h) + d}{2h} \\ &\quad - \frac{a(x_0-h)^3 + b(x_0-h)^2 + c(x_0-h) + d}{2h} \\ &= 3ax_0^2 + 2bx_0 + c + ah^2 \end{aligned} \tag{۱–۶}$$

این مقدار به مقدار حقیقی وقتی که h خیلی کوچک شود نزدیک می‌شود. می‌توان به این مساله نیز پی برد که اگر $a = 0$ باشد مقدار تقریب تفاضل با مقدار حقیقی به ازای تمام مقادیر h برابر است. این مساله مربوط به چندجمله‌ای های مرتبه دوم می‌شود.

این مساله نیز امکان پذیر است که مشتقات بالاتر را با تفاضل محدود محاسبه کرد. به عنوان مثال تقریب تفاضل مرکزی مشتق مرتبه دوم بدین صورت خواهد شد.

$$\left.\frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x)\right|_{x=x_0} \approx \frac{\dfrac{f(x_0+h)-f(x_0)}{h}-\dfrac{f(x_0)-f(x_0-h)}{h}}{h} = \frac{f(x_0)-2f(x_0)+f(x_0-h)}{h^2} \qquad (۷–۱)$$

روش دیگری که می‌توان معادلات بالا را بدست آورد استفاده از سری تیلور است. به سری تیلور دو تابع زیر توجه کنید.

$$u(x_0+\Delta x) = u\big|_{x_0} + \Delta x \cdot \left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x_0} + \frac{(\Delta x)^2}{2} \cdot \left.\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right|_{x_0} + \dots \qquad (۸–۱)$$

$$u(x_0-\Delta x) = u\big|_{x_0} - \Delta x \cdot \left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x_0} + \frac{(\Delta x)^2}{2} \cdot \left.\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right|_{x_0} - \dots \qquad (۹–۱)$$

از معادلات بالا می‌توان به نتایج زیر دست پیدا کرد

$$\left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x_0} = \frac{u(x_0+\Delta x)-u(x_0)}{\Delta x} - \frac{\Delta x}{2}.\left.\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right|_{x_0} - \ldots \qquad (۱۰-۱)$$

$$\left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x_0} = \frac{u(x_0)-u(x_0-\Delta x)}{\Delta x} + \frac{\Delta x}{2}.\left.\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right|_{x_0} - \ldots \qquad (۱۱-۱)$$

و از تفریق آن دو معادله به معادله زیر می‌رسیم.

$$\left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x_0} = \frac{u(x_0+\Delta x)-u(x_0-\Delta x)}{2\Delta x} - \frac{(\Delta x)^2}{3}.\left.\frac{\partial^3 u}{\partial x^3}\right|_{x_0} + \ldots \qquad (۱۲-۱)$$

با توجه به عبارات بدست آمده، همانطور که مشاهده می‌شود آنچه در محاسبه تفاضل مرکزی استفاده می‌شود از تقریب بهتری نسبت به تفاضل پیشرو و پسرو دارد.

۱-۲ معادلات FDTD برای شبکه Yee

معادلات کرل ماکسول در ناحیه بدون تلف، بدون منبع و ایزوتروپیک را می‌توان به صورت زیر نشان داد [1]:

$$-\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \nabla \times E \qquad (۱۳-۱)$$

$$\varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} = \nabla \times H \qquad (۱۴-۱)$$

به طوریکه ε و μ پارامترهای اساسی محیط و E و H میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌باشند. در مختصات مستطیلی دو معادله برداری فوق به شش معادله تقسیم می‌شوند:

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = -\frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z}\right) \qquad (۱۵-۱)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x}\right) \qquad (۱۶-۱)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = -\frac{1}{\mu}\left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y}\right) \qquad (۱۷-۱)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z}\right) \qquad (۱۸-۱)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x}\right) \qquad (۱۹-۱)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon}\left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) \qquad (۱-۲۰)$$

بعد از گسسته سازی تابع $f\,(x\,,y\,,z\,,t\,)$ اندیس‌های زیر جایگزین می‌گردند:

$$f\,(i\,\Delta x\,,j\,\Delta y\,,k\,\Delta z\,,n\Delta t\,) = f^{\,n}(i\,,j\,,k\,) \qquad (۱-۲۱)$$

مشتقات جزیی با استفاده از تفاضل مرکزی تقریب زده می‌شوند. کوانتیزه شده معادلات بالا به صورت زیر می‌شود.

$$\frac{H_x^{n+\frac{1}{2}}(i\,,j\,,k\,) - H_x^{n-\frac{1}{2}}(i\,,j\,,k\,)}{\Delta t} = -\frac{1}{\mu} \times \left(\frac{E_z^n\left(i\,,j\,+\frac{1}{2},k\,\right) - E_z^n\left(i\,,j\,-\frac{1}{2},k\,\right)}{\Delta y} - \frac{E_y^n\left(i\,,j\,,k\,+\frac{1}{2}\right) - E_y^n\left(i\,,j\,,k\,-\frac{1}{2}\right)}{\Delta z} \right) \qquad (۱-۲۲)$$