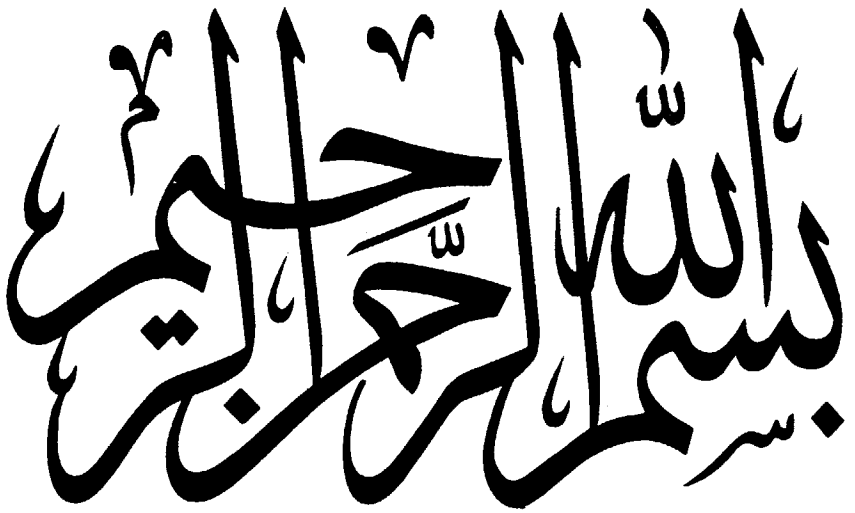

بسم الله الرحمن الرحيم

٣٠٢٢٣

مرکز اطلاعات علمی ایران
تقدیمیه مرکز
۱۳۷۹ /۵/ ۲۰

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد
مهندسی برق (مخابرات)

آنالیز یک شکاف عرضی تشعشع کننده بین صفحات موازی با طول محدود

اعظم مظفری

7854

استاد راهنما

دکتر کیوان فرورقی

اسفند ۱۳۷۸

۳۰۲۲۳

دانشگاه‌تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

خانم **اعظم مظفری** پایان‌نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **آنالیز یک شکاف عرضی تشعشع‌کننده بین صفحات موازی با طول محدود** در تاریخ ۷۸/۱۲/۲۴ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی برق با گرایش مخابرات پیشنهاد می‌کنند.۱۵ف۱۲

اعضای هیات داوران	*نام و نام خانوادگی*	*امضاء*
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر فرورقی	
۲ـ استاد مشاور :	ـ	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر حکاک	
	آقای دکتر کامیاب	
۴ـ مدیر گروه :	آقای دکتر ولایی	
(یا نمایندهٔ گروه تخصصی)		

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما

بسمه تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ ..... است که در سال ..... در دانشکدهٔ ..... دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... ، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ..... از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب اعظم سفری دانشجوی رشته مرتع - بیابان مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: اعظم سفری

تاریخ و امضا:

به نام او

من لم یشکر الخالق لم یشکر المخلوق

هر که از مخلوق تشکر نکند شکر خالق را بجای نیاورده است .حال که با بذل توجهات حضرت حق این پایان نامه به اتمام رسیده است ،بر خود لازم می دانم که از پدر و مادر خویش که در تمام مراحل زندگی راهنما و یاور من بوده اند و تمام آموزگاران فداکار ، از بدو کودکی تا کنون خصوصاً استاد گرامی آقای دکتر فرورقی که در تمام مراحل انجام این پایان نامه با مساعدت ها و راهنماییهای خود مرا یاری کرده اند ونیز همسر و کلیه دوستانی که به نوعی مرا در انجام این امر یاری داده اند ،تشکر و قدردانی نمایم . امید است این اثر در پیشبرد و تحکیم پایه های علم و تکنولوژی کشورمان مفید واقع گردد.

تقدیم به تمامی پویندگان طریق علم و هدایت

اَلذّینَ یَذکرونَ اللهَ قیاماً و قُعوداً و عَلی جُنوبِهِم وَ یَتفکّرونَ فی خَلقِ السَّماواتِ و الارضِ رَبَّنا مَا خَلقتَ هذا باطلاً سُبحانکَ فَقِنَا عَذابَ النّارِ

آنانکه خدا را در حالت ایستاده ، نشسته و خوابیده یاد کنند و در خلقت آسمانها و زمین فکر کرده می گویند : پروردگارا این دستگاه با عظمت را بیهوده نیافریده ای ، پاك و منزّهی ما را به لطف خود از عذاب دوزخ نگهدار.

چکیده

در آنتن‌هایی که پلاریزاسیون در جهت موجبر مورد نظر است، شکاف موازی بر روی دیواره باریک موجبر[1] کاربردهای وسیعی دارد. ولی یکی از معایب این نوع شکاف، ایجاد پلاریزاسیون متقابل[2] می‌باشد. شکاف عرضی[3] بر روی دیواره پهن موجبر نیز می‌تواند پلاریزاسیون در جهت موجبر ایجاد نماید. ولی در آرایه‌ای از شکافهای عرضی که بر روی موجبر ایجاد می‌شود، فاصله رزونانس بین شکافها، لُبهای بزرگ شده[4] را به وجود می‌آورد که این فاصله جهت ایجاد تشعشع ماکزیمم در جهت عمود بر محور آرایه برابر یک طول موج است . در این پایان نامه از صفحات موازی[5] با طول محدود در دو طرف آرایه جهت کاهش این لُبها استفاده شده و یک آرایه از شکافهای عرضی که در فضای بین صفحات موازی با طول محدود تشعشع می‌کنند، به وسیله روش S2DS آنالیز گردیده است. به این ترتیب که مسئله سه بعدی فوق با استفاده از تبدیل فوریه به مسئله‌ای دو بعدی تبدیل شده و حل می‌گردد. الگوی تشعشعی این آرایه، با استفاده از پاسخهای دو بعدی مسئله محاسبه شده و اثرات دیواره‌های موازی بر کاهش لُبهای بزرگ شده بررسی می‌گردد. همچنین در محاسبه الگوی تشعشعی اثرات لبه‌های صفحه زمین توسط روش UTD محاسبه شده است.

جهت مدل نمودن شکاف مورد نظر بر روی خط انتقال معادل موجبر، جریان مغناطیسی معادل بر روی شکاف با در نظر گرفتن ضخامت موجبر و با استفاده از روش ممان و تابع بسط وتابع تست تمام دامنه[6] محاسبه گردیده است. پس از بدست آمدن جریان مغناطیسی معادل بر روی شکاف، باتوجه به میدان تابشی و انعکاسی، ضریب انعکاس از این شکاف استخراج گردیده و در نتیجه امپدانس نرمالیزه برحسب فرکانس، طول شکاف، فاصله صفحات موازی و ارتفاع آنها مشخص می‌گردد که تطابق بسیار خوبی را با اندازه‌گیریهای منتشر شده در مقالات نشان می‌دهند.

واژه های کلیدی : شکاف عرضی، روش S2DS، صفحات موازی محدود، الگوی تشعشعی، روش ممان، موجبر مستطیلی.

۱- Edge Slot

۲- Cross Polarization

۳- Transverse Slot

٤- Grating Lobes

٥- Baffles

٦- Entire Domain

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه	۱
۲- معرفی روش S2DS و روش ممان	۵
۲-۱- روش S2DS	۵
۲-۲- روش ممان	۸
۳- شکاف عرضی بر روی دیواره پهن موجبر مستطیلی با وجود صفحات موازی محدود	۱۱
۳-۱- میدان مغناطیسی دو بعدی در میان صفحات موازی	۱۳
۳-۲- میدان مغناطیسی حاصل از نوار جریان مغناطیسی بر روی صفحه زمین بی‌نهایت	۱۵
۳-۳- محاسبه جریان مغناطیسی شکاف	۱۶
۳-۴- محاسبه جریان مغناطیسی دهانه صفحات موازی	۲۰
۴- الگوی تشعشعی	۲۲
۴-۱- صفحات زمین بی‌نهایت	۲۳
۴-۲- صفحات زمین محدود	۲۶
۵- امپدانس شکاف حک شده بر روی دیواره پهن موجبر مستطیلی با وجود صفحات موازی	۳۰
۵-۱- امپدانس شکاف در موجبر بدون ضخامت	۳۰
۵-۲- امپدانس شکاف در موجبر با ضخامت غیرصفر	۳۱
۶- نکات محاسباتی و برنامه‌های کامپیوتری	۳۶
۶-۱- برنامه الگوی تشعشعی	۳۶
۶-۲- برنامه امپدانس شکاف	۴۶
۷- نتیجه گیری	۵۵
منابع ومراجع	۵۶

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیوست (الف) : بدست آوردن ماتریسهای ممان جریان مغناطیسی دهانه	۵۸
پیوست (ب) : روش فازایستا	۶۰
پیوست (پ) : محاسبه میدان خارجی و ماتریس مربوط بـــه آن در حـالت صفحـات موازی بی‌نهایت	۶۳
پیوست (ج) : واژه نامه فارسی به انگلیسی	۶۷
پیوست (د) : واژه نامه انگلیسی به فارسی	۷۰

فصل اول

مقدمه

آرایه‌هایی از شکاف بر روی موجبر مستطیلی از زمان جنگ جهانی دوم، در بسیاری از سیستمهای نظامی و غیرنظامی استفاده شده است . این آرایه‌ها دارای معایب و محاسن مخصوص به خود می‌باشند. از جمله محاسن آنها می‌توان به قابلیت انتقال توان بالا در سیستمهای راداری، کنترل کامل بر تحریک المانهای تشعشعی (شکافها) و سطح پایین لُبهای کناری[۱] اشاره کرد. اما ایجاد پلاریزاسیون متقاطع[۲] در آرایه‌هایی از شکاف لبه‌ای[۳] و شکاف اریب[۴] از معایب این آرایه‌ها می‌باشد. همچنین ایجاد لُبهای بزرگ شده[۵] در خارج از صفحات اصلی (لُبهای پروانه‌ای) و لُبهای بزرگ شده در صفحات اصلی از دیگر معایب آرایه‌هایی از نوع شکاف طولی و عرضی می‌باشد.

برای تضعیف و از بین بردن لُبهای مزاحمی که در بالا ذکر شد، استفاده از صفحات موازی[۶] متداول و معمول می‌باشد. از این صفحات موازی برای شیب دادن به پرتو[۷] و بالا بردن دایرکتیویتی در یک صفحه نیز استفاده می‌شود.

۱- Side Lobes

۲- Cross Polarization

۳- Edge Slot

٤- Inclined Slot

٥- Grating Lobes

٦- Baffles

۷- Beam

طراحی آرایه‌های شکافی، مستلزم داشتن اطلاعات بسیار دقیقی از نحوه پراکندگی تک تک شکافها در موجبر می‌باشد. هدف این پایان نامه، محاسبه مشخصه‌های پراکندگی[1] شکافهای عرضی هنگامیکه به داخل صفحات موازی تابش می‌کنند، می‌باشد. اکنون به ذکر تاریخچه مختصری از کارهای انجام شده در این رابطه می‌پردازیم.

استفاده از شکافها به عنوان المان تشعشعی توسط واتسون [1] ابداع شد. او به صورت کاملاً تجربی متوجه شد که با ایجاد شکاف بر روی دیواره‌های موجبر مستطیلی می‌تواند از آنها به عنوان المان تشعشعی استفاده کند. اولین کار تئوری در این زمینه توسط استیونسون [2] انجام گرفت. او در گزارش خود، تابع گرین موجبر مستطیلی را با وجود شکاف در دیواره‌های مختلف آن استخراج کرد و با استفاده از آن توانست عباراتی تقریبی برای امپدانس معادل شکاف ارائه کند. لازم به ذکر است که عبارات استیونسون فقط شامل قسمت حقیقی امپدانس می‌شد و به عبارت دیگر، او فقط شکاف در حالت تشدید را مورد بررسی قرار داد.

کار تئوریک استیونسون توسط اولینر [3] و کاک [4] دنبال شد. کاک اولین کسی بود که این مساله را با استفاده از روش ممان و برای شکافهایی با ضخامت صفر محاسبه کرد. پس از او نیز تعداد بسیار زیادی از محققان برای بهبود بخشیدن به نتایج بدست آمده توسط روش ممان تلاش کرده‌اند.

گرونبرگ اولین کسی بود که جهت تضعیف لُبهای پروانه‌ای در آرایه‌های متشکل از شکافهای طولی [6,5] استفاده از صفحات موازی را پیشنهاد کرد و سپس امپدانس شکاف را در حالت تشدید و با فرض طول بی‌نهایت برای صفحات موازی محاسبه نمود. پس از آن در سال ۱۹۹۸ ، فرورقی [7] یک آنالیز با استفاده از روش ممان برای این ساختار (صفحات موازی با طول بی‌نهایت) ارئه نمود و توانست ادمیتانس شکاف را در حالت غیرتشدید نیز محاسبه کند و بدین ترتیب طول تشدید را بدست آورد.

فرورقی ، کیلدال و رنگاراجان سپس ، اثر صفحات موازی با طول محدود را بررسی کرده‌اند[9,8] . نکته اصلی در مراجع بالا، ارائه روش S2DS و استفاده از آن در تحلیل مسائلی از این قبیل می‌باشد. در این روش که برای ساختارهایی با سطح مقطع تقریباً استوانه‌ای به کار می‌رود، با استفاده از تبدیل فوریه، مسأله مقدار مرزی سه بعدی به یک مسأله دو بعدی تبدیل می‌شود. سپس در فضای دو بعدی، توابع گرین و عبارات میدانها استخراج می‌گردد. لازم به ذکر است که در حوزه جدید، منابع و میدانها دیگر تابعی از متغیر z (محور آنتن) نبوده و تابعی از متغیر k_z (عدد موج در امتداد محور z) می‌شوند. سپس طیف پیوسته k_z ، گسسته شده و مساله دو بعدی برای هر یک از مقادیر k_z حل می‌گردد. بنابر

۱- Scattering

این یک طیف از پاسخهای دو بعدی بدست می‌آیند. با جمع این طیفها، به بیان دیگر تبدیل فوریه معکوس، پاسخهای سه بعدی محاسبه می‌شوند.

ساختار بررسی شده توسط گرونبرگ ، فرورقی و دیگران که در بالا اشاره گردید،پلاریزاسیون عرضی ایجاد می‌نماید ولی در بعضی از کاربردهای راداری ، لازم است که پلاریزاسیون امواج تابیده شده در امتداد محورآنتن (موجبر) باشد. در این گونه مواقع از شکافهای اریب بر روی دیواره باریک موجبر، موسوم به شکافهای لبه‌ای استفاده می‌شود که یک عیب این گونه آرایه‌ها، ایجاد پلاریزاسیون متقاطع می‌باشد.

شکافهای عرضی بر روی دیواره پهن موجبر مستطیلی نیز می‌توانند امواجی با پلاریزاسیون در امتداد محور موجبر ایجاد نمایند. اما فاصله بین شکافها برای ایجاد تشعشع ماکزیمم در جهت عمود بر محور آرایه بایستی λ_g باشد (λ_g طول موج در موجبر می‌باشد) که از آنجائیکه λ_g از طول موج فضای آزاد بیشتر است، لُبهای بزرگ شده تولید می‌شوند. برای تضعیف این لُبها، استفاده از صفحات موازی توسط جوزفسون پیشنهاد شد [10]. اما او صفحات موازی را بی‌نهایت فرض نموده است. یکی از علل بی‌نهایت فرض کردن ارتفاع صفحات موازی، ایجاد سهولت در محاسبات می‌باشد و در حالت صفحات موازی محدود، درجه پیچیدگی محاسبات چندین برابر بیشتر می‌شود.

در این پایان نامه، یک آرایه از شکافهای عرضی، هنگامیکه در میان صفحات موازی با طول محدود تشعشع می‌کنند، بررسی می‌گردد. سپس روش S2DS برای بدست آوردن الگوی تشعشعی آرایه و همچنین امپدانس معادل هر شکاف اعمال می‌شود.

در فصل دوم این پایان نامه، روش S2DS و روش ممان به صورت مختصر بیان می‌گردند. در فصل سوم چگونگی محاسبه جریان مغناطیسی معادل شکاف عرضی بر روی موجبر مستطیلی در حضور صفحات موازی محدود به طور کامل توضیح داده می‌شود. در فصل چهارم از این پایان نامه، مسائل مربوط به الگوی تشعشعی آرایه‌های متشکل از شکافهای عرضی در میان صفحات موازی محدود و اثر لبه‌های صفحات زمین موجود در اطراف صفحات موازی بررسی می‌گردد. در فصل پنجم نیز امپدانس معادل هر شکاف در حالت موجبر بدون ضخامت و با ضخامت محاسبه می‌شود. نکات مهم در رابطه با تحلیل ساختار فوق و نتایج حاصل از برنامه‌های رایانه‌ای در فصل ششم بیان گردیده‌اند. در فصل آخر، نتیجه گیری کلی‌تری از نتایج فصل ششم به عمل آمده است. در پیوست اول این پایان نامه، چگونگی محاسبه درایه‌های ماتریس ممان جهت محاسبه جریان مغناطیسی دهانه صفحات موازی بیان شده است . مختصری در مورد روش فاز ایستا که در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفته ، در پیوست دوم بیان گردیده است و در پیوست سوم نیز درایه‌های ماتریس خارجی در حالت صفحات موازی نامحدود

بدست آمده‌اند. محاسبه این ماتریس جهت مقایسه نتایج این پایان نامه با حالت صفحات موازی نامحدود، انجام شده است .

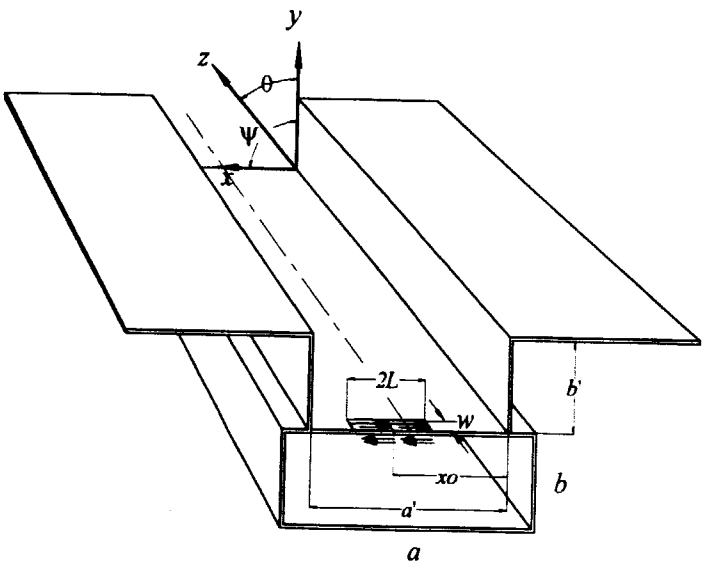
فصل دوم

معرفی روش S2DS و روش ممان

۲-۱- روش S2DS

حل بسیاری از مسائل الکترومغناطیسی در حالت کلی بسیار مشکل می‌باشد لـــذا امـروزه روشـهای متعددی برای ساده نمودن و حل آسانتر آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله این روشها، می‌تـــوان به روش S2DS یا Spectrum of Two Dimensional Solution به طور خیلی خلاصه اشاره کرد. این روش همانطور که از نام آن نیز برمی‌آید. از طیفی از پاسخهای دو بعدی بـه جـای پاسـخ سـه بعـدی استفاده می‌نماید. این روش در مسائل مختلفی از جمله آنالیز شکاف موازی بـــر روی موجـبر [9.8] استفاده شده و دقت بسیار بالایی را در کنار سادگی و کم شـــدن حجـم محاسـبات بـه مقـدار قـــابل ملاحظه‌ای در بر دارد. در این پایان نامـه نیز جهت بدست آوردن میـدان مغناطیســی در ناحیـه میـان صفحات موازی وخارج از این صفحـات از این روش استفاده می‌گردد.سـاختار مورد نظـــر در شـکل (۲-۱) نشـان داده شده است .

در شکل (۲-۱) یک شکاف عرضی به طول 2L و عرض w بر روی دیـــواره پـهن یـک موجـبر مستطیلی به ابعاد a × b قرار گرفته است. در طرفین شکاف، یک جفت صفحه موازی بـه فاصلـه a′ از یکدیگر و به ارتفاع b′ قرار دارند. انتهای صفحات موازی به صفحه زمیـــن بـی نـهایت بـزرگ ختـم می‌شود. پس از جایگزینی جریان مغناطیـسی معـــادل بـر روی شـکاف عرضـی شـکل (۲-۱) میـدان مغناطیسی حاصل از این جریان مغناطیسی باید محاسبه گردد. اگر چه موجبر و دهانه صفحات مـــوازی درجهت z تا بی‌نهایت ادامه داشته و سطح مقطع یکسان در طول محور z دارند. محاسبه این میدان بعلت محدود بودن جـریان مغناطیسی یک مسأله دو بعدی نیست . باتوجه به ساختار نزدیک به استوانه ی



شکل (۲-۱) : جریان مغناطیسی معادل بر روی شکاف عرضی در میان صفحات موازی محدود

که این مسأله داراست، می‌توان با اعمال تبدیل فوریه نسبت به محور z ، مسأله را به حالت دو بعدی تقلیل داد [11] . همانطور که در شکل (۲-۲) دیده می‌شود با اعمال تبدیل فوریه، جریان مغناطیسی بر روی شکاف با تغییرات هارمونیک $e^{jk_z z}$ نسبت به z تا بی‌نهایت ادامه می‌یابد و بجز وابستگی نمایی به z مستقل از z بوده و وابسته به k_z (عدد موج در جهت z) می‌گردد. پس از این تبدیل ، تمامی میدانها نیز بغیر از جمله $e^{jk_z z}$مستقل از z و وابسته به k_z می‌گردند. لذا با استفاده از این روش مسأله از حالت سه بعدی به حالت دو بعدی برای k_z های مختلف تبدیل می‌شود.

حال جریان مغناطیسی معادل میدان الکتریکی شکاف را در حالت سه بعدی به صورت $M_x^s(x', z')$ نامگذاری نموده و میدان الکتریکی شکاف و در نتیجه جریان معادل آنرا نسبت به x′ و z′ که مختصات شکاف هستند، جداپذیر فرض می‌نماییم . لذا در مورد جریان مغناطیسی می‌توان نوشت:

$$M_x^s(x',z') = M_x^s(x') M_x^s(z') \qquad \begin{cases} |x' - x_0| < L \\ \dfrac{-w}{2} < z' < \dfrac{w}{2} \end{cases} \qquad (۲-۱)$$

با اعمال تبدیل فوریه نسبت به z′ ، یک نوار جریان مغناطیسی بی‌نهایت با تغییرات $e^{jk_z z}$ نسبت به z خواهیم داشت :

$$M_x^s(x',k_z) = M_x^s(x') \tilde{M}_x^s(k_z) e^{jk_z z} \qquad (۲-۲)$$