

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق مخابرات گرایش میدان و امواج

عنوان پایان‌نامه:

طراحی و ساخت آنتن موجبری شکافدار طول بلند موج نشتی

با استفاده از تیغه در باند X

استاد راهنما: دکتر علیرضا ملاح‌زاده

نگارش: محمدحسین امینی

زمستان ۹۱



دانشگاه شاهرود
دانشکده فنی و مهندسی


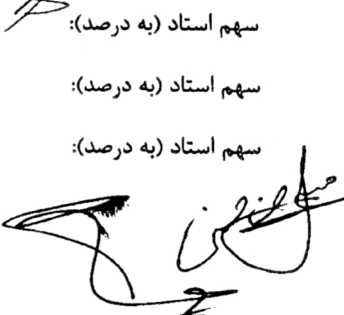







صورت جلسه هیئت داوران پایان نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاعیه پروژه کارشناسی ارشد مربوط به آقای/خانم محمدحسین امینی به شماره دانشجویی ۸۹۷۵۱۸۵۰۴ در رشته مخابرات با عنوان "طراحی و ساخت آنتن موج جبری شکافدار طول بلند موج نشتی با استفاده از تیغه در باند X" به ارزش ۶ واحد در روز ۹۱/۱۱/۳ در دانشکده فنی و مهندسی با حضور افراد ذیل تشکیل شد، نتیجه به قرار زیر است:

پروژه نامبرده با نمره ۱۹٫۲۵ قابل قبول می باشد.

پروژه نامبرده مردود می باشد.

پروژه نامبرده به شرط انجام اصلاحات جزئی قابل قبول می باشد. نمره دانشجو متعاقباً اعلام می شود.

	امضاء	سهم استاد (به درصد):	<input type="checkbox"/> نام استاد راهنمای اول	عبدمنان زارعی	دانشگاه : شاهرود
	امضاء	سهم استاد (به درصد):	<input type="checkbox"/> نام استاد راهنمای دوم		دانشگاه :
	امضاء	سهم استاد (به درصد):	<input type="checkbox"/> نام استاد مشاور اول		دانشگاه :
	امضاء	سهم استاد (به درصد):	<input type="checkbox"/> نام استاد مشاور دوم		دانشگاه :
	امضاء	سهم استاد (به درصد):	<input type="checkbox"/> نام داور اول	حمید رضایی	دانشگاه :
	امضاء	سهم استاد (به درصد):	<input type="checkbox"/> نام داور دوم	علیرضا زارعی	دانشگاه : شاهرود
	امضاء	سهم استاد (به درصد):	<input type="checkbox"/> نام داور سوم		دانشگاه :
	امضاء	سهم استاد (به درصد):	<input type="checkbox"/> نام داور چهارم		دانشگاه :
	امضاء	سهم استاد (به درصد):	<input type="checkbox"/> نام نماینده معاونت پژوهشی	محمدرضا زارعی	دانشگاه : شاهرود

تذکر: تعیین سهم اساتید در صورت وجود بیش از یک استاد راهنما و مشاور ضروری است.



اظهار نامه دانشجو

شماره:

تاریخ:

اینجانب **محمد حسین امینی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **برق مخابرات گرایش میدان و امواج** دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، گواهی می دهم که پایان نامه تدوین شده حاضر با عنوان؛ **" طراحی و ساخت آنتن موجبری شکافدار طول بلند موج نشتی با استفاده از تیغه در باند X "** به راهنمایی استاد محترم جناب آقای **دکتر ملاح زاده**، توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنان چه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان نامه حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید هم چنین اعلام می دارد در صورت بهره گیری از منابع مختلف شامل؛ گزارش های تحقیقاتی، رساله، پایان نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان نامه حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارایه نشده است. در تدوین متن پایان نامه حاضر، چارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً این که، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان نامه / رساله حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تقدیم به تو

ای پدر از تو هر چه می گویم باز هم کم می آورم

خوشیدی شدی و از روشنائی ات جان گرفتم و در ناامیدی ماندم را

کشیدی و لبریزم کردی از شوق

اکنون حاصل دستان خسته ات رمز موفقیتم شد

به خودم تبریک می گویم که تو را دارم و دنیا با همه بزرگیش مثل تو را

ندارد.....

و تو ای مادر، ای شوق زیبای نفس کشیدن

ای روح مهربان حسی ام

تو زنک شادی بایم شدی و نقطه بار با تمام وجود از من دور کردی و

عمری سختی بار بار به جان خریدی تا اکنون توانستی طعم خوش

پیروزی را به من بخشانی

سپاس خدای را که سخوران در ستودن او بماند و شمارندگان شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان حق او را گردن توانند و سلام و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آمان که وجودمان و امدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

از آنجا که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تا این می کند و سلامت امانت بانی را که بر دوشش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "مَنْ لَمْ يَشْكُرِ النُّعْمَ مِنَ الْمَخْلُوقِينَ لَمْ يَشْكُرِ اللهَ عَزَّ وَجَلَّ"؛ از پدر و مادر عزیزم... این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریماه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشمداشت برای من بوده اند؛

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر ملاح زاده که در کمال سعی صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کجی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛

و از اساتید فرزانه و دلوز؛ جناب آقای دکتر حسنی و جناب آقای دکتر داداش زاده که در طول تحصیل در مقطع ارشد راهنمای اینجانب بوده اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خرد، بخشی از زحمات آمان را سپاس گوید.

چکیده

آنچه در پایان‌نامه‌ی پیشرو از نظر خواهد گذشت، ارائه‌ی ساختاری جدید جهت حصول پلاریزاسیون متعامد پایین در آنتن‌های شکافدار طول‌بلند موج نشتی است. طراحی جدید به کمک موجبر تیغه‌دار صورت گرفته است که طی آن، شکل خاصی از تیغه جهت حصول توزیع شکاف تیلوری با تراز گلبرگ کناری ۳۵dB بدست آمده است. پیش از این کاربرد تیغه در طراحی آرایه‌های موجبری شکافدار تشدیدی صورت گرفته است و برای اولین بار در این پایان‌نامه از موجبر تیغه‌دار جهت طراحی آنتن شکافدار طول‌بلند موج نشتی استفاده شده است. این تحقیق هم برای شکاف واقع بر دیواره‌ی پهن صورت گرفته است و هم برای شکاف واقع بر دیواره‌ی باریک انجام شده است. جهت کاهش پلاریزاسیون متعامد، شکاف واقع بر دیواره‌ی پهن موجبر بایستی در مرکز آن قرار گیرد و از طرفی توزیع جریان‌ها نیز باید به گونه‌ای باشد که سبب نشت توان به بیرون از ساختار شود. تیغه درون موجبر این امکان را فراهم می‌سازد که با منحنی خاص خود سبب ایجاد توزیع شکاف تیلوری مذکور با پلاریزاسیون متعامد پایین گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از حصول الگوی تشعشعی با پلاریزاسیون متعامد ۴۹dB و تراز گلبرگ کناری ۳۰dB است. نتایج حاصل از ساخت این آنتن نیز با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مورد مقایسه قرار گرفته است. برای شکاف واقع بر دیواره‌ی باریک جهت کاهش پلاریزاسیون متعامد، بایستی شکاف در طول ساختار بدون تغییر بماند. از آنجا که حضور تیغه‌ی یکنواخت درون موجبر سبب نشت توان از شکاف نمی‌شود، لذا در این مورد نیز شکل خاصی از تیغه وجود دارد که توزیع شکاف مطلوب را فراهم می‌سازد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی گویای دقت روند طراحی است که طی آن الگوی تشعشعی با پلاریزاسیون متعامد ۶۰dB و تراز گلبرگ کناری ۲۸dB حاصل شده است.

کلمات کلیدی: پلاریزاسیون متعامد، آنتن موج نشتی، شکاف، موجبر تیغه‌دار، تراز گلبرگ کناری.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها.....	ت
فهرست شکل‌ها.....	ث
مقدمه.....	۱
فصل ۱- مقدمه‌ای بر آنتن‌های موج نشتی.....	۳
۱-۱- مقدمه.....	۳
۱-۲- بررسی رفتار میدان‌های امواج نشتی.....	۳
۱-۳- توزیع میدان‌ها در موجبر مستطیلی در مد غالب.....	۶
۱-۴- انواع آنتن‌های موجبری موج نشتی.....	۸
۱-۴-۱- آنتن موجبری شکافدار طول بلند و یکنواخت موج نشتی.....	۹
۱-۴-۲- آنتن موجبری موج نشتی با ساختار متناوب.....	۱۱
۱-۴-۳- آنتن‌های شکافدار موج نشتی با ساختار اصلاح شده.....	۱۳
۱-۴-۴- نقاط ضعف آنتن شکافدار طول بلند موج نشتی.....	۱۹
فصل ۲- تیغه و کاربرد آن در آنتن آرایه‌ای موجبری شکافدار.....	۲۰
۲-۱- مقدمه.....	۲۰
۲-۲- تیغه در موجبر.....	۲۰
۲-۳- کاربرد تیغه در آنتن آرایه‌ای موجبر شکافدار.....	۲۳
۲-۳-۱- افزایش پویش تاب و پهنای باند.....	۲۳
۲-۳-۲- حذف بیم ثانویه.....	۲۴
۲-۳-۳- شیفت فاز.....	۲۵
فصل ۳- آنتن موجبری شکافدار طول بلند موج نشتی.....	۲۷
۳-۱- مقدمه.....	۲۷
۳-۲- بررسی منابع خطی و سنتز آن‌ها به کمک روش تیلور.....	۲۷
۳-۲-۱- منابع خطی یکنواخت و غیر یکنواخت.....	۲۸
۳-۲-۲- تبدیل منابع پیوسته‌ی خطی به منابع نقطه‌ای (گسسته کردن منابع پیوسته‌ی خطی).....	۳۰
۳-۲-۳- روش سنتز تیلور برای منابع خطی.....	۳۴
۳-۳- آنتن شکافدار طول بلند موج نشتی در دیواره‌ی پهن.....	۳۶
۳-۳-۱- طراحی آنتن.....	۳۶
۳-۳-۲- بررسی خصوصیات تشعشی.....	۳۹
۳-۴- آنتن شکافدار طول بلند موج نشتی در دیواره‌ی باریک.....	۴۲

۴۲	طراحی آنتن.....	۱-۴-۳
۴۴	بررسی خصوصیات تشعشعی.....	۲-۴-۳
۴۷	عیوب آنتن موجبری شکافدار طول بلند موج نشتی.....	۵-۳
۴۸	فصل ۴ - آنتن شکافدار طول بلند موج نشتی در دیواره‌های موجبر تیغه‌دار.....	
۴۸	مقدمه.....	۱-۴
۴۸	آنتن شکافدار طول بلند موج نشتی در دیواره‌ی پهن موجبر تیغه‌دار.....	۲-۴
۴۸	طراحی آنتن.....	۱-۲-۴
۵۳	بررسی خصوصیات تشعشعی.....	۲-۲-۴
۵۷	آنتن شکافدار طول بلند موج نشتی در دیواره‌ی باریک موجبر تیغه‌دار.....	۳-۴
۵۷	طراحی آنتن.....	۱-۳-۴
۶۱	بررسی خصوصیات تشعشعی.....	۲-۳-۴
۶۵	بررسی حساسیت الگوی تشعشعی آنتن نسبت به تغییر پارامترها.....	۳-۳-۴
۶۶	دستاوردهای حاصل از طراحی آنتن شکافدار طول بلند موج نشتی با استفاده از تیغه.....	۴-۴
۶۸	فصل ۵ - نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	
۶۸	نتیجه‌گیری.....	۱-۵
۶۹	پیشنهادات.....	۲-۵
۷۲	مراجع.....	

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

جدول ۱-۳	پهنای تابع نیم‌توان برای منابع خطی یکنواخت پهلوآتش با طول‌های مختلف [۳۰].....	۲۹
جدول ۲-۳	مشخصه‌های تشعشعی سه منبع خطی با توزیع جریان‌های مختلف [۳۰].....	۳۰
جدول ۳-۳	تراز گلبرگ کناری آنتن موجبری شکافدار در دیواره‌ی پهن در فرکانس‌های مختلف.....	۴۱
جدول ۴-۳	تراز گلبرگ کناری آنتن موجبری شکافدار در دیواره‌ی باریک در فرکانس‌های مختلف.....	۴۶
جدول ۱-۴	پارامترهای طراحی موجبر تیغه‌دار در دیواره‌ی پهن.....	۵۰
جدول ۲-۴	مقادیر محاسبه شده برای d_i ها.....	۵۲
جدول ۳-۴	مشخصات تشعشعی آنتن طراحی شده در دیواره‌ی پهن در فرکانس‌های مختلف.....	۵۵
جدول ۴-۴	پارامترهای طراحی موجبر تیغه‌دار در دیواره‌ی باریک.....	۵۸
جدول ۵-۴	مشخصات تشعشعی موجبر تیغه‌دار در دیواره‌ی باریک.....	۶۳
جدول ۶-۴	مقایسه‌ی پارامترهای ساختار پیشنهادی با ساختار پیشین در دیواره‌ی پهن.....	۶۷
جدول ۷-۴	مقایسه‌ی پارامترهای ساختار پیشنهادی با ساختار پیشین در دیواره‌ی باریک.....	۶۷

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: بیان ساده از یک ساختار موج نشستی [۱۰].....	۴
شکل ۲-۱: یک ساختار موج نشستی از نوع موج رو به جلو [۱۰].....	۵
شکل ۳-۱: یک ساختار موج نشستی از نوع موج رو به عقب [۱۰].....	۵
شکل ۴-۱: تشعشع یک آنتن موج نشستی (الف) نمایش پرتو ها (ب) الگوی تشعشعی [۱۰].....	۶
شکل ۵-۱: هندسه‌ی موجبر مستطیلی.....	۷
شکل ۶-۱: میدان‌ها در دهانه‌ی موجبر مستطیلی در مد غالب.....	۸
شکل ۷-۱: نمایش جریان‌ها در موجبر مستطیلی در مد غالب [۱۲].....	۸
شکل ۸-۱: آنتن موجبری شکافدار طول بلند یکنواخت.....	۹
شکل ۹-۱: تاثیر طول آنتن بر تراز گلبرگ کناری (الف) با طول λ_0 ۱۰ (ب) با طول λ_0 ۱۵۰ [۱۱].....	۱۰
شکل ۱۰-۱: الگوی تشعشعی آنتن موج نشستی با دو ثابت نشت متفاوت [۱۰].....	۱۱
شکل ۱۱-۱: آنتن موجبری موج نشستی با ساختار متناوب (الف) شکاف واقع بر دیواره‌ی پهن (ب) شکاف واقع بر دیواره‌ی باریک [۱۰].....	۱۲
شکل ۱۲-۱: گونه‌های مختلف آنتن‌های موج نشستی [۱۲].....	۱۳
شکل ۱۳-۱: پارامترهای تشعشعی برای موجبر استوانه‌ای با استفاده از روش تحلیلی (الف) ثابت تضعیف (ب) ثابت فاز [۲۱].....	۱۶
شکل ۱۴-۱: پارامترهای تشعشعی برای موجبر مستطیلی با استفاده از اندازه‌گیری میدان دور (الف) ثابت تضعیف (ب) ثابت فاز [۲۳].....	۱۷
شکل ۱۵-۱: پارامترهای تشعشعی موجبر مجتمع شده بر روی زیرلایه با استفاده از HFSS (الف) ثابت تضعیف (ب) ثابت فاز [۲۰].....	۱۸
شکل ۱-۲: ۱- نمایش موجبر (الف) یک تیغه ای (ب) دو تیغه ای [۲۴].....	۲۱
شکل ۲-۲: ۲- اثر تغییر طول و عرض تیغه‌ها بر فرکانس قطع موجبر [۲۴].....	۲۱
شکل ۳-۲: ۳- اثر تغییر طول و عرض تیغه‌ها بر پهنای باند [۲۴].....	۲۲
شکل ۴-۲: ۴- توزیع میدان الکتریکی در ورودی موجبر در مدهای مختلف [۲۴].....	۲۲
شکل ۵-۲: ۵- آنتن آرایه‌ای موجبر شیاردار با تیغه‌ی متقارن [۲۶].....	۲۴
شکل ۶-۲: ۶- آنتن آرایه‌ای موجبر شیاردار با تیغه غیرمتقارن [۲۸].....	۲۵
شکل ۷-۲: ۷- شکل و ابعاد تیغه‌ی چرخان در موجبر [۲۹].....	۲۶
شکل ۱-۳: ۱- ضریب پرتو یک منبع خطی یکنواخت.....	۲۸
شکل ۲-۳: ۲- ضریب پرتو یک منبع خطی با تابع باریک شوندگی کوسینوسی [۳۰].....	۲۹
شکل ۳-۳: ۳- توزیع تیلور تراز گلبرگ کناری -35dB و $\bar{n} = 5$	۳۵
شکل ۴-۳: ۴- الگوی تیلوری با تراز گلبرگ کناری -35dB و $\bar{n} = 5$	۳۵

- شکل ۳-۵: مدل موجبر جهت محاسبه‌ی ثابت نشت برای شکاف واقع بر دیواره‌ی پهن ۳۶
- شکل ۳-۶: ثابت نشت بر حسب فاصله‌ی شکاف از خط مرکزی موجبر ۳۷
- شکل ۳-۷: ثابت نشت بر حسب بازدهی‌های مختلف آنتن موج نشستی ۳۷
- شکل ۳-۸: توزیع تیلوری جهت حصول تراز گلبرگ کناری -35dB ۳۸
- شکل ۳-۹: منحنی شکاف در طول موجبر ۳۸
- شکل ۳-۱۰: نمای سه بعدی آنتن موج نشستی طراحی شده در دیواره‌ی پهن ۳۹
- شکل ۳-۱۱: بهره‌ی آنتن موج نشستی طراحی شده در دیواره‌ی پهن نسبت به فرکانس ۳۹
- شکل ۳-۱۲: الگوی تشعشعی آنتن طراحی شده در دیواره‌ی پهن در فرکانس 10 گیگاهرتز ۴۰
- شکل ۳-۱۳: پویس تابیه‌ی آنتن موج نشستی طراحی شده در دیواره‌ی پهن ۴۱
- شکل ۳-۱۴: ضریب بازتابش آنتن موج نشستی طراحی شده در دیواره‌ی پهن ۴۱
- شکل ۳-۱۵: مدل موجبر جهت محاسبه‌ی ثابت نشت برای شکاف واقع بر دیواره‌ی باریک ۴۲
- شکل ۳-۱۶: ثابت نشت بر حسب عرض شکاف برای مدل نشان داده شده در شکل ۳-۱۵ ۴۳
- شکل ۳-۱۷: توزیع تیلوری جهت حصول تراز گلبرگ کناری -35dB ۴۳
- شکل ۳-۱۸: عرض شکاف در طول موجبر ۴۴
- شکل ۳-۱۹: نمای سه بعدی آنتن موج نشستی طراحی شده در دیواره‌ی باریک ۴۴
- شکل ۳-۲۰: بهره‌ی آنتن موج نشستی طراحی شده در دیواره‌ی باریک نسبت به فرکانس ۴۵
- شکل ۳-۲۱: الگوی تشعشعی آنتن موج نشستی در دیواره‌ی باریک در فرکانس 10 گیگاهرتز ۴۵
- شکل ۳-۲۲: پویس تابیه‌ی آنتن موج نشستی در دیواره‌ی باریک ۴۶
- شکل ۳-۲۳: ضریب بازتابش آنتن موج نشستی طراحی شده در دیواره‌ی باریک ۴۶
- شکل ۴-۱: ساختار پیشنهادی برای محاسبه‌ی پارامترهای تشعشعی (الف) نمای بالا (ب) سطح مقطع در $y = 0$ ۴۹
- شکل ۴-۲: وابستگی زاویه‌ی تابیه نسبت به C ۵۰
- شکل ۴-۳: ثابت نشت بر حسب فاصله‌ی تیغه از شکاف برای سه اسلات با عرض‌های مختلف ۵۱
- شکل ۴-۴: توزیع شکاف تیلوری با تراز گلبرگ کناری -35dB برای شکاف واقع بر دیواره‌ی پهن ۵۱
- شکل ۴-۵: توزیع ثابت نشت در طول شکاف واقع بر دیواره‌ی پهن ۵۲
- شکل ۴-۶: بازدهی آنتن طراحی شده برای شکاف واقع بر دیواره‌ی پهن در فرکانس‌های مختلف ۵۳
- شکل ۴-۷: الگوی تشعشعی آنتن موج نشستی طراحی شده در دیواره‌ی پهن در فرکانس 10 گیگاهرتز ۵۴
- شکل ۴-۸: تغییرات ثابت انتشار در طول شکاف واقع بر دیواره‌ی پهن ۵۴
- شکل ۴-۹: الگوی تشعشعی آنتن شبیه‌سازی شده در دیواره‌ی پهن در فرکانس‌های مختلف ۵۵
- شکل ۴-۱۰: تیغه‌ی طراحی شده به همراه آنتن موجبری ساخته شده ۵۶
- شکل ۴-۱۱: الگوی تشعشعی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در فرکانس 10 گیگاهرتز ۵۶
- شکل ۴-۱۲: ضریب انعکاس شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده ۵۶
- شکل ۴-۱۳: ساختار پیشنهادی برای محاسبه‌ی پارامترهای تشعشعی (الف) سطح مقطع در $y = 0$ (ب) نمای بالا ۵۸

- شکل ۴-۱۴: وابستگی زاویه‌ی تاب به نسبت به پارامتر T_0 ۵۸
- شکل ۴-۱۵: ثابت نشت بر حسب پارامتر C برای سه اسلات با عرض‌های مختلف ۵۹
- شکل ۴-۱۶: توزیع شکاف تیلوری با تراز گلبرگ کناری -35dB برای شکاف واقع بر دیواره‌ی باریک ۶۰
- شکل ۴-۱۷: پوش منحنی تیغه ۶۰
- شکل ۴-۱۸: منحنی تیغه ۶۱
- شکل ۴-۱۹: بازدهی آنتن طراحی شده در دیواره‌ی باریک در فرکانس‌های مختلف ۶۲
- شکل ۴-۲۰: الگوی تشعشعی آنتن شبیه‌سازی شده توسط دو نرم‌افزار CST و HFSS ۶۲
- شکل ۴-۲۱: الگوی تشعشعی آنتن شبیه‌سازی شده در دیواره‌ی باریک در فرکانس‌های مختلف ۶۳
- شکل ۴-۲۲: تغییرات ثابت انتشار در طول شکاف واقع بر دیواره‌ی باریک ۶۳
- شکل ۴-۲۳: ضریب انعکاس شبیه‌سازی شده در نرم‌افزارهای CST و HFSS ۶۴
- شکل ۴-۲۴: الگوی شبیه‌سازی شده برای عرض‌های مختلف شکاف با خطای ساخت $\pm 100 \mu\text{m}$ ۶۵
- شکل ۴-۲۵: الگوی شبیه‌سازی شده برای عرض‌های مختلف تیغه با خطای ساخت $\pm 100 \mu\text{m}$ ۶۵
- شکل ۴-۲۶: الگوی شبیه‌سازی شده برای ارتفاع‌های مختلف تیغه با خطای ساخت $\pm 100 \mu\text{m}$ ۶۶
- شکل ۵-۱: هندسه‌ی ساختار متناوب موجبری موج نشستی ۶۹
- شکل ۵-۲: هندسه‌ی آنتن موج نشستی متناوب برای ساختار موجبر مجتمع شده بر روی زیرلایه (الف) مدل ساختار جهت محاسبه‌ی ثوابت نشت و انتشار (ب) آنتن موج نشستی ساخته شده با توزیع یکنواخت [۳۳] ۷۰
- شکل ۵-۳: الگوی تشعشعی آنتن موجبر مجتمع شده بر روی زیرلایه با ساختار متناوب (الف) در فرکانس ۱۰.۸ گیگاهرتز (ب) در فرکانس ۱۱.۵ گیگاهرتز [۳۳] ۷۱

مقدمه

آنتن‌های موج نشستی^۱ گونه‌ای از آنتن‌ها می‌باشند که مکانیسم تشعشعی آنها، حضور یک موج رونده^۲ در یک ساختار هدایت کننده‌ی موج است. این دسته از آنتن‌ها دارای مزیت‌هایی همچون سمتگرایی^۳ بالا، سادگی ظاهری، توانایی تحمل توان‌های بالا و تراز گلبرگ کناری^۴ پایین می‌باشند. عدم نیاز به داشتن شبکه‌ی تغذیه‌ی پیچیده - در کاربرد آرایه‌ی صفحه‌ای - آن‌ها را برای کاربردهای میکروویوی و امواج میلیمتری مناسب می‌سازد [۴-۱]. همچنین پوشش تاب^۵ از جمله خصوصیات ذاتی این آنتنهاست که آنها را جهت کاربردهای راداری بسیار مفید می‌سازد. اغلب از این گونه آنتن‌ها به عنوان آنتن‌های موج سریع^۶ یاد می‌شود چراکه سرعت فاز در آن‌ها بیشتر از سرعت نور است. چنین خاصیتی باعث نشت^۷ توان در طول ساختار شده و سبب می‌شود بردار انتشار مقداری مختلط شود.

اولین گونه از آنتن‌های موج نشستی، توسط Hansen ارائه شد [۵]. چنین ساختاری شامل یک شکاف^۸ بلند بر دیواره ی باریک یک موجبر است. با وجود این به دلیل داشتن توان نشستی بالا قادر به ایجاد تاب‌های باریک نیست. جهت غلبه بر این مشکل، شکاف بلند به حفره‌هایی نزدیک به هم تبدیل شد. چنین ساختاری به موجبر حفره دار^۹ معروف است [۶]. ساختار دیگر، آنتن فشرده^{۱۰} است که از نقطه نظر ساخت، عملی نیست [۷]. بعدها گونه‌های مختلفی از آرایه‌ی دو بعدی این آنتن‌ها مطرح شد که توسط آن‌ها تاب‌های باریک در راستای محور عمودی آنتن قابل حصول شد [۸] و [۹]. باید یادآور شد که ساختارهایی که با هدف تولید تاب‌های باریک به وجود آمدند، در واقع گونه‌ی دو بعدی آنتن‌های موج نشستی می‌باشند.

جهت داشتن الگوی تشعشعی با تراز گلبرگ کناری پایین، در گونه‌ی یک بعدی آنتن‌های موج نشستی، ساختارهایی مطرح شده است [۲۰-۱۶]. این مطالعات هر چند الگوی تشعشعی با تراز گلبرگ کناری پایین و بیم بالا به وجود می‌آورند اما از نقطه نظر پلاریزاسیون متعام^{۱۱} چندان مناسب نیستند، حال آنکه در کاربردهای فضایی، پلاریزاسیون متعام پایین مطلوب است. مطالعه‌ای که در [۲۰] بر روی ساختارهای موجبری مجتمع شده بر روی زیر لایه^{۱۲} انجام گرفته، نشان داده است که با جابجا کردن

¹ Leaky- wave antennas

² Traveling wave

³ Directivity

⁴ Side lobe level

⁵ Beam scanning

⁶ Fast wave

⁷ Leakage

⁸ Slot

⁹ Holey waveguide

¹⁰ Sandwich antenna

¹¹ Cross polarization

¹² Substrate integrated waveguide

رابطه‌ها¹ و در عوض قرار دادن شکاف در وسط ساختار میزان پلاریزاسیون متعامد بهبود می‌یابد. اما چنانچه گفته شد مشکل پلاریزاسیون متعامد نامطلوب در ساختارهای موج‌نشتی هنوز پابرجاست.

در این پایان‌نامه با بکارگیری تیغه درون‌موج‌بر و طراحی آنتن موج‌نشتی جهت حصول الگوی تشعشعی مناسب، پلاریزاسیون متعامد به میزان قابل توجهی بهبود داده شده است.

این پایان‌نامه مشتمل بر پنج فصل است که در فصل اول مقدمه‌ای بر طراحی آنتن‌های موج‌نشتی آورده شده است و تاریخچه‌ای از آنتن‌های مرسوم موج‌نشتی ارائه گردیده است.

در فصل دوم به بررسی تاثیر حضور تیغه² در موج‌بر مستطیلی می‌پردازیم. در این فصل همچنین کاربرد تیغه در آنتن‌های موج‌بر با شکاف‌های تشدید³ عنوان می‌شود.

در فصل سوم به طراحی ساختارهای موج‌بر بدون تیغه در دیواره‌ی پهن و سپس در دیواره‌ی باریک پرداخته می‌شود و پارامترهای تشعشعی آن‌ها مورد بررسی قرار داده می‌شود. عیوب این دسته آنتن‌ها نیز در این فصل شرح داده می‌شود.

در فصل چهارم به واقع طراحی آنتن شکافدار طول بلند موج‌نشتی به کمک موج‌بر تیغه دار شرح داده می‌شود. در این فصل دو نوع طراحی ارائه می‌گردد. نخست به طراحی آنتن موج‌بر تیغه دار شرح داده می‌شود و پارامترهای تشعشعی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. آنگاه طراحی آنتن موج‌بر تیغه دار بلند واقع بر دیواره‌ی باریک بیان می‌گردد. پس از بیان پارامترهای تشعشعی این طراحی، دستاوردهای این دو ساختار ارائه می‌گردد.

از تحلیل‌ها و شبیه‌سازی‌ها، نتایج و نکات قابل توجه و کاربردی مهمی بدست آمده است که در فصل پنجم به آن پرداخته شده است. پیشنهادات برای پژوهش‌ها و کارهای آینده نیز در این فصل عنوان شده است.

¹ Via

² Ridge

³ Resonance slot

فصل ۱ - مقدمه‌ای بر آنتن‌های موج نشتی

۱-۱- مقدمه

آنتن‌های موج نشتی گونه‌ای از آنتن‌ها می‌باشند که مکانیسم اصلی تشعشعی آن‌ها حضور یک موج رونده در یک ساختار هدایت کننده‌ی موج است. اولین گونه از این آنتن‌ها در سال ۱۹۴۰ ارائه شد. با وجود این تا دهه‌ی پنجاه میلادی این دسته آنتن‌ها چندان مورد بررسی قرار نگرفتند. در اوایل همان دهه، گونه‌های مختلفی از آنتن‌های موج نشتی به همراه روش‌های متفاوت آنالیز آن‌ها مطرح شد. سادگی ساختار، داشتن تابه‌ی باریک و همچنین توانایی تحمل توان‌های بالا، این دسته آنتن‌ها را برای کاربردهای راداری مناسب می‌سازد. توانایی اسکن بیم با فرکانس خصوصیت ذاتی این دسته آنتن‌هاست که آن‌ها را برای کاربردهای این چنینی بسیار مناسب می‌سازد.

در این فصل ابتدا رفتار میدان‌های امواج نشتی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. آن‌گاه پس از بررسی توزیع میدان‌ها در موجبر مستطیلی در مد^۱ غالب، انواع آنتن‌های موج نشتی به همراه خصوصیات تشعشعی آن‌ها را مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

۱-۲- بررسی رفتار میدان‌های امواج نشتی

در این قسمت میدان‌های امواج نشتی مورد بررسی قرار می‌گیرند. شکل ۱-۱ یک ساختار ساده‌ی موج نشتی را نشان می‌دهد [۱۰]. میدان $E_y(x, z)$ واقع بر محل شکاف در موقعیت $x = 0$ را می‌توان به صورت رابطه‌ی (۱-۱) نوشت [۱۰]:

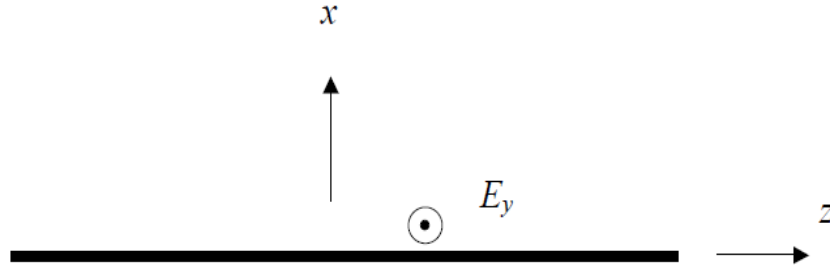
$$E_y(0, z) = Ae^{-jk_z z} \quad (1-1)$$

در رابطه‌ی (۱-۱)، k_z عدد موج^۲ نشتی است و برابر است با:

$$k_z = \beta - ja \quad (2-1)$$

^۱ Mode

^۲ Wave number



شکل ۱-۱: بیان ساده از یک ساختار موج نشستی [۱۰].

در رابطه‌ی (۲-۱)، β ثابت فاز^۱ و α ثابت تضعیف^۲ موج است.

در یک آنتن موج نشستی، تضعیف موج با نشت توان در طول ساختار، همزمان با انتشار موج صورت می‌گیرد. چنانچه ساختار هدایت کننده‌ی موج نشستی دارای تلفات هادی و دی الکتریک نیز باشد، ثابت تضعیف، این تلفات را نیز در بر می‌گیرد. میدان الکتریکی در ناحیه‌ی $x > 0$ به صورت زیر خواهد بود:

$$E_y(x, z) = Ae^{-jk_z z} e^{-jk_x x} \quad (۳-۱)$$

که در رابطه‌ی (۳-۱) مقدار k_x به صورت زیر است:

$$k_x = (k_0^2 - k_z^2)^{\frac{1}{2}} \quad (۴-۱)$$

و از طرفی مقدار k_x را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

$$k_x = \beta_x - j\alpha_x \quad (۵-۱)$$

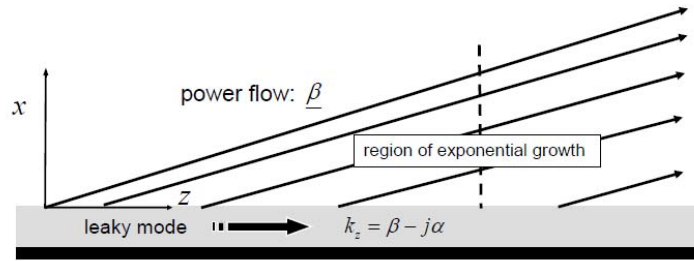
از روابط (۴-۱) و (۵-۱) رابطه‌ی (۶-۱) نتیجه می‌شود:

$$\beta_z \alpha_z = -\beta_x \alpha_x \quad (۶-۱)$$

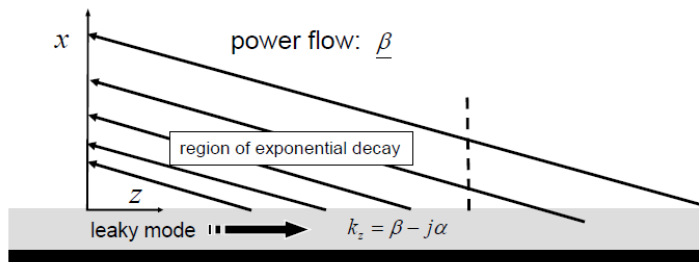
چنانچه $\alpha_z > 0$ و $\beta_z > 0$ باشد، یک موج رو به جلو^۳ را خواهیم داشت که در این صورت طبق رابطه‌ی (۶-۱)، α_x منفی خواهد شد. چنین موجی با عنوان ”نادرست“^۴ تعبیر می‌شود. بدین معنی که دامنه‌ی موج در ناحیه‌ی هوا به صورت نمایی افزایش می‌یابد. اگر چه در نگاه اول این رفتار ممکن است غیر طبیعی به نظر برسد اما از نقطه نظر فیزیکی درک بهتری از مسأله را به دست می‌دهد. شکل ۲-۱ شارش توان را در ناحیه‌ی هوا نشان می‌دهد که در واقع بیانگر راستای بردار فاز ($\hat{\beta}$) است. در این شکل پیوستگی پرتوها، شدت میدان را به خوبی نشان می‌دهد [۱۰].

چنانچه ثابت تضعیف α کوچک باشد با تقریب خوبی می‌توان نوشت:

¹ Phase constant
² Attenuation constant
³ Forward wave
⁴ Improper



شکل ۱-۲: یک ساختار موج نشتی از نوع موج رو به جلو [۱۰].



شکل ۱-۳: یک ساختار موج نشتی از نوع موج رو به عقب [۱۰].

$$\cos \theta_0 = \frac{\beta}{k_0} \quad (7-1)$$

رابطه‌ی (۷-۱) جهت تعیین زاویه تشعشع آنتن‌های موجی نشتی، رابطه‌ی مفیدی است. حال چنانچه سرعت فاز و سرعت گروهی در جهات مخالف هم باشند (موج رو به عقب^۱) بنا به رابطه‌ی (۶-۱)، α_x مثبت خواهد بود. در این جا فرض بر این است که سرعت گروهی در جهت مثبت محور z ها و سرعت فاز در جهت منفی محور z ها است. چنین موجی بر خلاف حالت قبل با عنوان "درست"^۲ تعبیر می‌شود به این معنی که میدان‌های آن در راستای عمود بر ساختار به طور نمایی تضعیف می‌شود [۱۰]. شکل ۱-۳ نتیجه‌گیری فوق را واضح‌تر بیان می‌کند.

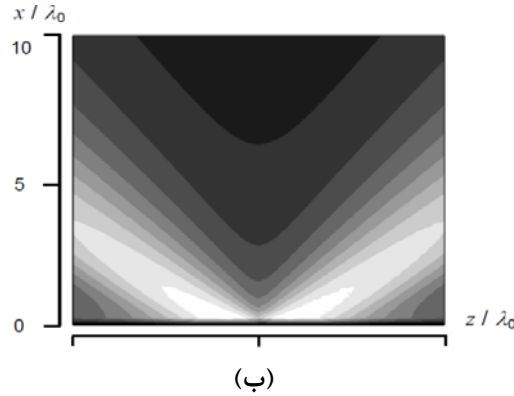
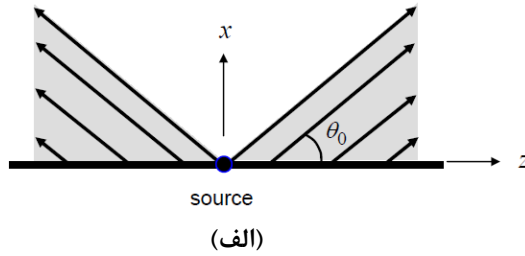
حال حالت واقعی در نظر گرفته می‌شود که در آن مد نشتی توسط یک منبع واقع در $z = 0$ تحریک می‌شود (شکل ۱-۴-الف). میدان شکاف را به صورت زیر می‌توان نوشت [۱۰]:

$$E_y(0, z) = A e^{-k|z|} \quad (8-1)$$

در ناحیه‌ی $\theta_0 < \theta$ ، میدان مشابه آنچه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، می‌باشد اما در $\frac{\pi}{2} > \theta > \theta_0$ ، دامنه‌ی میدان تضعیف می‌شود. همان طور که در شکل دیده می‌شود، شدت میدان در راستای عمود، ابتدا به طور نمایی افزایش می‌یابد و سپس سریعاً کاهش می‌یابد. میدان حاصل از چنین توزیعی با استفاده از تبدیل فوریه به دست می‌آید [۱۰]:

^۱ Backward wave

^۲ Proper



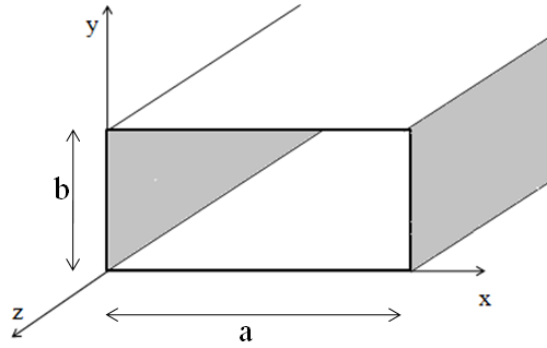
شکل ۴-۱: تشعشع یک آنتن موج نشستی (الف) نمایش پرتوها (ب) الگوی تشعشعی [۱۰].

$$E_y(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{E}_y(0, k_z) e^{-jk'_x x} e^{-jk'_z z} dk'_z \quad (9-1)$$

در شکل ۴-۱ میدان فوق به ازای $\frac{\beta}{k_0} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ و $\frac{\alpha}{k_0} = 0.02$ آورده شده است [۱۰]. واضح است که تشعشع آنتن مذکور در زاویه‌ی ۳۰ درجه است.

۳-۱- توزیع میدان‌ها در موجبر مستطیلی در مد غالب

جهت بررسی آنتن موجبر شکافدار موج نشستی، لازم است در ابتدا توزیع میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی رادر موجبر مستطیلی مورد بررسی قرار دهیم. در یک موجبر مدهای مختلفی امکان تحریک و فعال شدن دارند. از آنجایی که در عملکرد چند مدی تمام توان بین مدهای موجبر توزیع می شود، لذا غالباً عملکرد موجبر در حالت تک‌مدی مطلوب‌تر میباشد. در نتیجه معمولاً موجبر در حالت مد غالب خود مورد استفاده و بررسی قرار می‌گیرد. مد غالب در موجبر مستطیلی، مد TE_{10} می باشد که در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۵-۱: هندسه ی موجبر مستطیلی.

یک موجبر مستطیلی با ابعاد $a \times b$ و با طول نامحدود همانند شکل ۵-۱ در نظر می گیریم. در مد غالب میدان های الکتریکی و مغناطیسی به صورت معادلات زیر، بدست می آیند [۱۲]:

$$E_x = 0 \quad (10-1)$$

$$E_y = -\frac{j\omega\mu a}{\pi} A_{10} \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{-j\beta_z z} \quad (11-1)$$

$$E_z = 0 \quad (12-1)$$

$$H_x = \frac{j\beta_z \pi a}{\pi} A_{10} \sin\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{-j\beta_z z} \quad (13-1)$$

$$H_y = 0 \quad (14-1)$$

$$H_z = A_{10} \cos\left(\frac{\pi}{a}x\right) e^{-j\beta_z z} \quad (15-1)$$

که در آن:

$$\beta_z = (k^2 - \beta_x^2)^{\frac{1}{2}} = \frac{2\pi}{\lambda_g} \quad (16-1)$$

$$\beta_x = \frac{\pi}{a} \quad (17-1)$$

$$k = \frac{\omega}{c} \quad (18-1)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{(4a^2 - \lambda^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (19-1)$$

که β_z عدد موج می باشد.

برای بدست آوردن جریان سطحی - با توجه به میدان مغناطیسی در روابط فوق - از رابطه زیر می توان بهره گرفت [۱۲]:

$$J = n \times H \quad (20-1)$$