



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات موج

طراحی و ساخت آنتن Double Ridged Horn

در حوزه فرکانسی ۷-۱۸ GHz

توسط:

میثم قربانی راد

استاد راهنما:

دکتر علی خالقی

بهار ۱۳۹۰

ش
الحسين
الحسين

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای میثم قربانی راد

را با عنوان:

طراحی و ساخت آنتن Double Ridged Horn در حوزه فرکانسی ۰/۷-۱۸ GHz

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
	استادیار	دکتر علی خالقی	۱- استاد راهنما
	دانشیار	دکتر منوچهر کامیاب	۲- استاد ممتحن
	دانشیار	دکتر ایاز قربانی	۳- استاد ممتحن
			۴- نماینده تحصیلات تکمیلی

اظهار نامه دانشجو

اینجانب میثم قربانی راد دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق مخابرات گرایش موج دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان نامه با عنوان

«طراحی و ساخت آنتن Double Ridged Horn در حوزه فرکانسی ۰/۷-۱۸ GHz»

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر علی خالقی توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان نامه مورد تأیید می باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده ام.

تقدیم به خانواده عزیزم، به خصوص مادر مهربانم که همه داشته‌هایم

را مدیون زحمات او، مسم

با سپاس از مرکز تحقیقات مخابرات ایران به خاطر حمایت

مالی از این پروژه تحت قرارداد شماره ۱۲۱۲۷/۵۰۰/ت

تشکر و قدردانی

بدون شک انجام این پروژه بدون وجود زحمات استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر خالقی که در تمام مراحل، راهنما و پشتیبان اینجانب بودند و همچنین یاری دوستان عزیزم که با نظرات خود در مراحل مختلف به بنده دلگرمی دادند، امکان پذیر نبود که به همین وسیله از همه این عزیزان سپاسگزاری و قدردانی می‌نمایم. ضمناً از استاد بزرگوار جناب مهندس ابوتراب که در مرحله اندازه‌گیری زحمات فراوانی را متحمل شدند و همچنین از اساتید محترم ممتحن که برای ارزیابی این اثر ناچیز قبول زحمت نمودند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

در این پایان‌نامه مراحل مربوط به طراحی، شبیه‌سازی و ساخت یک ساختار بهبود یافته از آنتن هورن دو تیغه‌ای با پترن مناسب در بازه فرکانسی ۱-۱۸ GHz ارائه خواهد شد. بدین منظور، در ابتدا یک ساختار کلاسیک از آنتن هورن دو تیغه‌ای، طراحی و شبیه‌سازی گردید و مطابق انتظار در فرکانس‌های بالاتر از ۱۲ GHz مشکلاتی از قبیل ایجاد لوبهای فرعی، ایجاد نال در راستای اصلی آنتن و بالا آمدن سطح لوبهای فرعی در پترن آنتن مشاهده شد. پس از مطالعه مشکلات پترن و یافتن علت آنها، راه حل جدیدی مبتنی بر حذف جریان‌های سطحی از دیواره‌های آنتن مطرح شده و مؤثر بودن آن در شبیه‌سازی‌ها تأیید گردید. در نهایت پس از اعمال برخی تغییرات، ساختار جدیدی طراحی شد که به ساخت یک نمونه آزمایشگاهی از آنتن هورن دو تیغه‌ای با پترن یکنواخت و افت بازگشت مطلوب در بازه فرکانسی ۱-۱۸ GHz منجر گردید. مشخصات اندازه‌گیری نمونه ساخته شده تطابق قابل قبولی با نتایج شبیه‌سازی نشان دادند. در ادامه روند پروژه، تأثیر افزودن جاذب به ساختار آنتن برای افزایش پهنای باند بررسی و مشخص شد که در نتیجه این تغییر، اگرچه بازه فرکانسی کارکرد آنتن افزایش یافته ولی به علت افزایش تلفات ناشی از جاذب، بازدهی آنتن در تمام قسمت‌های باند فرکانسی بین ۵ تا ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت.

کلید واژه : آنتن هورن تیغه‌دار، پهن‌باند، سازگاری الکترومغناطیسی (EMC)

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	فهرست شکل‌ها
۱	فصل ۱- مقدمه
۱	۱-۱- پیشگفتار
۱	۱-۲- تاریخچه
۲	۱-۳- شیوه‌های نوین
۴	۱-۴- هدف از انجام تحقیق
۴	۱-۵- ساختار گزارش
۵	فصل ۲- مروری بر اصول تئوری و پیدایش آنتن هورن تیغه‌دار
۵	۲-۱- تاریخچه پیدایش آنتن هورن استاندارد
۵	۲-۲- پیدایش موجبرهای تیغه‌دار
۶	۲-۳- افزایش پهنای باند آنتن هورن با تکنیک تیغه‌گذاری
۷	۲-۴- تحلیل تئوری موجبر و آنتن هورن تیغه‌دار
۱۰	۲-۵- توضیحات کلی در مورد ساختار آنتن
۱۵	فصل ۳- طراحی و شبیه‌سازی یک آنتن هورن دوتیغه‌ای کلاسیک
۱۵	۳-۱- مقدمه
۱۶	۳-۲- طراحی آنتن
۱۶	۳-۲-۱- ابعاد خارجی
۱۶	۳-۲-۲- دیواره‌ها
۱۶	۳-۲-۳- قسمت موجبری و حفره پشتی
۱۷	۳-۲-۴- تغذیه آنتن
۱۸	۳-۲-۵- طراحی تیغه‌ها
۱۹	۳-۳- شبیه‌سازی طرح کلاسیک
۲۱	۳-۳-۱- نتایج شبیه‌سازی طرح کلاسیک آنتن هورن دوتیغه‌ای
۲۳	۳-۴- بررسی علت مشکلات پترن طرح کلاسیک
۲۳	۳-۴-۱- محاسبه فرکانس قطع مودهای تحریک شده

۲۴	۲-۴-۳ - بررسی نحوه توزیع میدان در ساختار آنتن
۳۰	۵-۳ - بررسی تاثیر تغییرات ساختار بر مشخصات آنتن
۳۰	۱-۵-۳ - تغییر عمق حفره
۳۲	۲-۵-۳ - تغییر فاصله اولیه تیغه‌ها
۳۲	۳-۵-۳ - تغییر محل فید
۳۴	۴-۵-۳ - اثر حذف میله‌های کناری
۳۶	۵-۵-۳ - تغییر شیب قسمت خطی تیغه‌ها
۳۷	فصل ۴ - بهبود طرح جهت بهینه‌سازی پترن
۳۷	۱-۴ - مقدمه
۳۷	۲-۴ - تغییر ساختار به منظور بهینه کردن پترن
۴۱	۱-۲-۴ - بررسی اثر برش دایروی از دیواره‌های بالایی و پایینی
۴۵	۳-۴ - بررسی اثر اضافه کردن ماده جاذب به ساختار
۴۷	فصل ۵ - ساخت نمونه آزمایشگاهی و نتایج اندازه‌گیری
۴۷	۱-۵ - مقدمه
۴۷	۲-۵ - بررسی اثر جنس فلز بر عملکرد آنتن
۴۹	۳-۵ - نتایج اندازه‌گیری نمونه ساخته شده
۵۷	فصل ۶ - جمع بندی و نتیجه‌گیری
۵۸	فهرست مراجع
۶۰	واژه نامه فارسی به انگلیسی
۶۱	واژه نامه انگلیسی به فارسی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱ دو نمونه از مدل کلاسیک آنتن هورن تیغه‌دار.....
۴	شکل ۲-۱ (الف) تصویر آنتن معرفی شده در [۱۱] و (ب) آنتن معرفی شده در [۱۰].....
۶	شکل ۱-۲ مقطع عرضی و نحوه تغذیه موجبرهای تیغه‌دار (الف) دوتیغه‌ای (ب) چهارتیغه‌ای.....
۷	شکل ۲-۲ دو نمونه تجاری از آنتن هورن چهار تیغه‌ای.....
۹	شکل ۳-۲ توزیع میدان الکتریکی در دهانه موجبر برای مودهای (الف) TE_{10} (ب) TE_{20} (ج) TE_{30}
۱۱	شکل ۴-۲ (الف) برش مقطعی یک آنتن هورن دوتیغه‌ای. (ب) ساختار نمونه حفره پشتی.....
۱۱	شکل ۵-۲ ساختار حفره پیشنهادی در [۱۸].....
۱۲	شکل ۶-۲ نحوه به کارگیری صفحات کناری آنتن با استفاده از (الف) زیرآیند (ب) تیغه‌های فلزی.....
۱۸	شکل ۱-۳ (الف) نمایی از یک کانکتور SMA پنلی (ب) سطح مقطع و ابعاد کانکتور مدل شده.....
۱۹	شکل ۲-۳ نمایی از منحنی طراحی شده برای تیغه‌ها به همراه متغیرهای مربوطه.....
۲۰	شکل ۳-۳ طرح کلاسیک مدل شده در نرم‌افزار CST (الف) برش مقطعی (ب) نمای کلی.....
۲۱	شکل ۴-۳ نتایج شبیه‌سازی شده طرح کلاسیک (الف) افت بازگشت (ب) VSWR.....
۲۲	شکل ۵-۳ نتایج شبیه‌سازی پترن برای طرح کلاسیک آنتن در صفحات E و H.....
۲۳	شکل ۶-۳ نمودار جهت دهی برای هورن دوتیغه‌ای کلاسیک شبیه‌سازی شده.....
۲۴	شکل ۷-۳ ترسیم تابع محاسبه فرکانس قطع مودهای فرد برای موجبر تیغه‌دار استفاده شده در آنتن... ۲۴
۲۵	شکل ۸-۳ توزیع جریانهای سطحی روی دیواره‌های آنتن.....
۲۶	شکل ۹-۳ (الف) نمونه‌ای از طرح یک آنتن هورن دندانه‌دار [۲۷] (ب) پارامترهای ساختاری مؤثر در مشخصات یک سطح دندانه دار.....
۲۸	شکل ۱۰-۳ نمای آنتن پس از اضافه نمودن سطوح دندانه دار (الف) نمای خارجی (ب) برش مقطعی... ۲۸
۲۹	شکل ۱۱-۳ مقایسه تغییرات افت بازگشت، قبل و بعد از اضافه کردن سطح دندانه‌دار.....
۳۰	شکل ۱۲-۳ مقایسه پترن آنتن در صفحه E، قبل و بعد از اضافه کردن سطح دندانه دار.....
۳۱	شکل ۱۳-۳ نمودار تغییرات افت بازگشت به ازای مقادیر مختلف عمق حفره.....
۳۱	شکل ۱۴-۳ نمودار تغییرات پترن در صفحه E به ازای مقادیر مختلف عمق حفره.....
۳۲	شکل ۱۵-۳ نمودار افت بازگشت به ازای مقادیر مختلف فاصله تیغه‌ها.....
۳۳	شکل ۱۶-۳ تغییرات افت بازگشت آنتن به ازای تغییر محل فید آنتن.....
۳۳	شکل ۱۷-۳ تغییرات پترن بر اثر تغییر محل فید آنتن.....

- شکل ۳-۱۸ مقایسه افت بازگشت در دو حالت وجود و عدم وجود میله‌های کناری در ساختار ۳۴
- شکل ۳-۱۹ مقایسه پترن در صفحه E در دو حالت وجود و عدم وجود میله‌های کناری در ساختار ۳۵
- شکل ۳-۲۰ نمودار تأثیر شیب قسمت خطی پروفایل تیغه بر روی افت بازگشت ۳۶
- شکل ۴-۱ ساختار آنتن بهبود یافته (الف) نمای خارجی (ب) برش مقطعی ۳۸
- شکل ۴-۲ مقایسه افت بازگشت بین طرح کلاسیک و طرح بهبود یافته ۳۹
- شکل ۴-۳ نتایج مربوط به مقایسه پترن آنتن در طرح کلاسیک و بهبود یافته در صفحه E ۴۰
- شکل ۴-۴ نتایج مربوط به مقایسه پترن آنتن در طرح کلاسیک و بهبود یافته در صفحه H ۴۱
- شکل ۴-۵ نمای آنتن پس از برش نیم دایره از دیواره‌های بالا و پایین، (الف) نمای کلی (ب) نمای بالا ۴۲
- شکل ۴-۶ بررسی اثر میزان انحنای لبه دیواره‌های بالا و پایین بر افت بازگشت ۴۳
- شکل ۴-۷ بررسی تأثیر میزان انحنای لبه دیواره‌های بالا و پایین بر پترن در صفحه E ۴۴
- شکل ۴-۸ مقایسه نتایج شبیه‌سازی، قبل و بعد از اضافه کردن جاذب برای (الف) VSWR (ب) بهره ۴۶
- شکل ۴-۹ مقایسه نتایج شبیه‌سازی بازدهی تشعشعی و کلی آنتن، قبل و بعد از اضافه کردن جاذب ۴۶
- شکل ۵-۱ مقایسه افت بازگشت برای آنتن ساخته شده از جنس PEC و آلومینیوم ۴۸
- شکل ۵-۲ مقایسه گین برای آنتن ساخته شده از جنس PEC و آلومینیوم ۴۸
- شکل ۵-۳ تصویر آنتن ساخته شده (الف) نمای کلی (ب) نمای کناری ۴۹
- شکل ۵-۴ (الف) نمای روبروی آنتن ساخته شده (ب) ساختار تغذیه و حفره پشتی آنتن ۵۰
- شکل ۵-۵ مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری برای افت بازگشت آنتن ۵۰
- شکل ۵-۶ نمودار مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری گین آنتن ۵۱
- شکل ۵-۷ مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پترن برای فرکانس‌های ۱-۴ GHz ۵۲
- شکل ۵-۸ مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پترن برای فرکانس‌های ۵-۷ GHz ۵۳
- شکل ۵-۹ مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پترن برای فرکانس‌های ۸-۱۰ GHz ۵۴
- شکل ۵-۱۰ مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پترن برای فرکانس‌های ۱۱-۱۳ GHz ۵۵
- شکل ۵-۱۱ مقایسه نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پترن برای فرکانس‌های ۱۴-۱۶ GHz ۵۶

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

استفاده از آنتن‌های پهن‌بند^۱ با گین بالا، یکی از چالش برانگیزترین موضوعات در زمینه آنتن‌ها و الکترومغناطیس خصوصاً در تست‌های سازگاری الکترومغناطیسی^۲ است. در گذر زمان انواع مختلفی از آنتن‌های پهن‌بند همچون LPDA^۳ و دومخروطی^۴ در استانداردهای مربوطه استفاده شده‌اند، اما در سالیان اخیر رویکرد روزافزونی نسبت به استفاده از آنتن‌های هورن تیغه‌دار^۵ شکل گرفته است. دلیل عمده این رویکرد، مشخصات مطلوب این‌گونه آنتن‌ها از قبیل بهره و جهت دهی^۶ بالا، VSWR پایین و پهنای اشعه^۷ قابل قبول در سرتاسر محدوده فرکانسی مورد نظر است. علاوه بر این مزایا، ویژگی‌های دیگری همچون تحریک آسان، روند ساخت نسبتاً ساده و قابلیت تحمل توان بالا، امکان استفاده از این نوع آنتن‌ها را در بسیاری از کاربردهای دیگر همچون آنتن مرجع در اتاق‌های اندازه‌گیری آنتن، ردگیری ماهواره^۸، فید آنتن‌های رفلکتوری، رادارهای پرتوان، رادارهای زمین نفوذ^۹ و ... فراهم کرده است [۱]. علاوه بر کاربردهای فوق، اخیراً در برخی رادارهای پزشکی UWB نیز از این آنتن‌ها استفاده می‌شود [۲].

۱-۲- تاریخچه

ایده اولیه استفاده از تیغه برای افزایش پهنای باند موجرها، در دهه ۶۰ و ۷۰ میلادی مطرح و به تکامل رسید. استفاده از تیغه درون موجرها باعث ایجاد بارگذاری خازنی شده و در نتیجه فرکانس قطع را برای مود غالب TE₁₀ کاهش و برای مودهای بالاتر افزایش می‌دهد. با افزایش تدریجی^{۱۰} ابعاد دهانه این موجر، به گونه‌ای که تطبیق مناسبی بین امپدانس موجر و امپدانس فضای آزاد به وجود آید، می‌توان به ساختار

¹ Wideband

² Electromagnetic Compatibility or EMC

³ Log-Periodic Dipole Array

⁴ Biconical

⁵ Double Ridged Horn

⁶ Directivity

⁷ Beamwidth

⁸ Satellite Tracking

⁹ Ground Penetrating Radars

¹⁰ Tapering

یک هورن تیغه‌دار رسید که پهنای باند آن به مراتب بیشتر از یک هورن استاندارد است. بدون شک یکی از مهمترین پژوهش‌ها در زمینه آنتن‌های هورن تیغه‌دار در سال ۱۹۷۳ توسط آقای «جان کر»^۱ انجام شد. وی در این مقاله طراحی یک آنتن هورن دوتیغه‌ای را برای کارکرد در فرکانس ۱۲-۱ GHz ارائه کرده و پیشنهاد کرد که با اعمال تغییراتی می‌توان پهنای باند آنتن را تا ۱۸ GHz افزایش داد [۳].

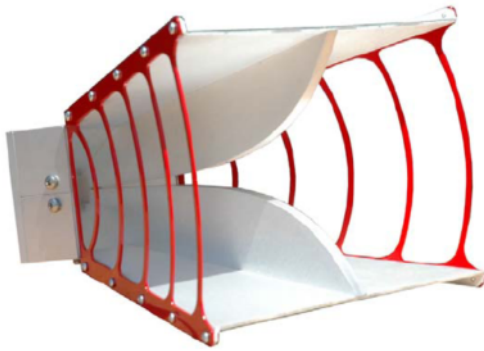
در سه دهه آخر قرن بیستم، پژوهش‌های متعددی بر روی این آنتن‌ها صورت گرفته و مدل‌های متعددی برای کارکرد در باندهای مختلف فرکانسی طراحی و ساخته شد. با گسترش رویکرد به این نوع از آنتن‌ها، نمونه‌های تجاری آن به سرعت به تولید انبوه رسید و سازندگان مختلفی به تولید تجاری این محصول در باندهای فرکانسی مختلف و برای کاربردهای مختلف پرداختند. در اواخر قرن بیستم برخی استانداردهای مهم تجاری و نظامی همچون MIL-STD-461E، SAE J551، IEC/CISPR/EN و FCC-18 آنتن هورن دوتیغه‌ای ۱۸-۱ GHz را به عنوان آنتن استاندارد برای برخی کاربردهای اندازه‌گیری، خصوصاً در تست-های EMC، معرفی کردند [۴]. شکل ۱-۱ نمایی از دومدل آنتن هورن تیغه دار ۱۸-۱ GHz با ساختار کلاسیک را نمایش می‌دهد.

علی‌رغم پذیرش هورن تیغه‌دار به عنوان آنتن استاندارد در بسیاری از استانداردهای معتبر دنیا، در سال ۲۰۰۳ گروهی از محققین آلمانی در پژوهشی اعلام کردند که شبیه‌سازی‌های دقیق نشان می‌دهد، پترن آنتن‌های هورن تیغه‌دار در فرکانس‌های بالا دچار مشکلات اساسی است. علت این مشکل تحریک مودهای مرتبه بالاتر در قسمت موجبری آنتن است که در فرکانس‌های بالا روی پترن آنتن تاثیر گذاشته و آنتن را از حالت تک لوب خارج می‌کند [۵]. بدون شک علت عدم آشکار شدن این مشکلات در سال‌های اولیه، فقدان ابزارهای قدرتمند شبیه‌سازی کامپیوتری برای بررسی دقیق وضعیت پترن در فرکانس‌های مختلف بوده است.

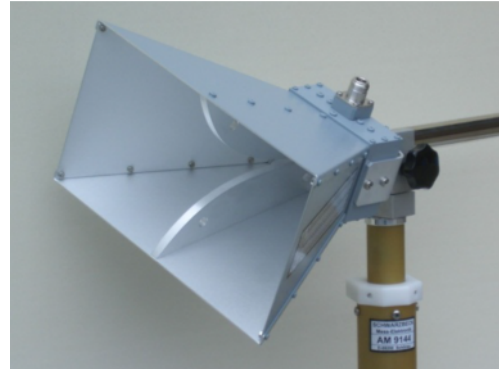
۱-۳- شیوه‌های نوین

پس از آشکار شدن مشکل پترن آنتن هورن دوتیغه‌ای در فرکانس‌های بالا، سمت و سوی تحقیقات انجام شده بر روی این نوع آنتن‌ها تا حد زیادی عوض شده و تمرکز فعالیتها بیشتر بر روی بهبود پترن، بدون تخریب سایر مشخصات مطلوب آن قرار گرفته است.

¹ John L. Kerr



(ب)



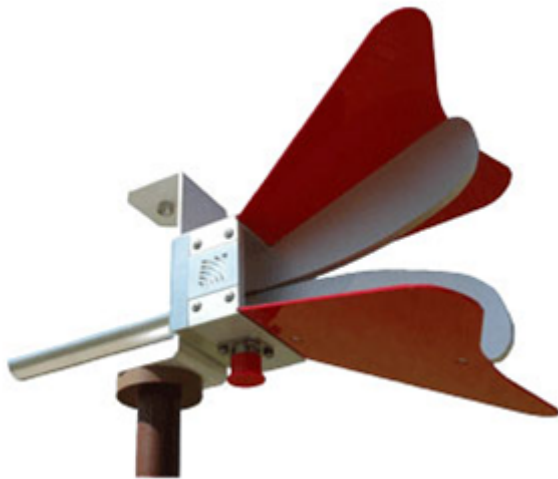
(الف)

شکل ۱-۱ دو نمونه از مدل کلاسیک آنتن هورن تیغه‌دار

برخی راهکارهای ارائه شده در سالیان اخیر برای بهبود مشخصه این آنتن‌ها عبارتند از: تغییر برخی ابعاد ساختاری آنتن و اضافه کردن یک پروفایل دایروی به انتهای تیغه‌ها [۱]، برش یک کمان دایروی از دیواره‌های بالایی و پایینی آنتن [۶]، اضافه کردن یک پروفایل مثلثی به انتهای تیغه‌ها [۷]، تغییر شکل حفره پشتی [۸] و استفاده از تیغه‌های حذف مود کلاسیک برای حذف مودهای بالاتر در قسمت موجبری [۹].

از سال ۲۰۰۷ تاکنون دو نمونه تجاری از آنتن‌های هورن تیغه دار با پترن بهبود یافته عرضه شده است [۱۱، ۱۰]. علی‌رغم تلاش‌های باارزش صورت گرفته در سالیان اخیر برای بهبود وضعیت این نوع آنتن‌ها و نتایج قابل توجه به دست آمده، این مشکل همچنان به صورت کامل حل نشده و هرکدام از راهکارهای ارائه شده از مشکل متفاوتی رنج می‌برند. به عنوان مثال، آنتن معرفی شده در [۱۰] گین بسیار کمی در فرکانس‌های زیر ۲ GHz دارد (کمتر از ۰ dB_i). ازسوی دیگر VSWR این آنتن نیز در فرکانس‌های زیر ۱/۵ GHz بالاتر از ۳ است که برای کاربردهای پرتوان EMC چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. در شکل ۲-۱ (ب) نمایی از این آنتن نمایش داده شده است.

علاوه‌براین، سازندگان آنتن تجاری معرفی شده در [۱۱]، که در [۱۲] نیز به ثبت تجاری رسیده، با ساختار جدیدی از مجموعه تیغه‌ها و دیواره‌ها و همچنین اضافه کردن جاذب، به طرح جدیدی از این آنتن رسیده‌اند که بنا به ادعای آنها، علاوه بر پترن مناسب در کلیه بازه فرکانسی ۰/۸-۱۸ GHz، نمودار گین همواری داشته و VSWR آن نیز با توجه به اثر جاذب‌ها، از نمونه‌های مشابه مناسب‌تر است. در شکل ۲-۱ (الف) نمایی از این آنتن نمایش داده شده است. متأسفانه برای این آنتن هیچ‌گونه جزئیاتی در مورد شکل پترن در قسمت‌های مختلف باند فرکانسی منتشر نشده است. علاوه براین اضافه کردن مواد تلف‌دار به ساختار آنتن، قطعاً به کاهش بازدهی تشعشی و کلی آنتن خواهد انجامید، در صورتی که در این پژوهش هیچ‌گونه بررسی بر روی تاثیر جاذب بر روی بازدهی آنتن انجام نپذیرفته است.



(ب)



(الف)

شکل ۲-۱ (الف) تصویر آنتن معرفی شده در [۱۱] و (ب) آنتن معرفی شده در [۱۰]

۴-۱- هدف از انجام تحقیق

در این پژوهش برآنیم تا بررسی کاملی بر روی آنتن‌های هورن تیغه‌دار و روش‌های مختلف ارائه شده برای بهینه کردن آنها به عمل آورده و در نهایت، پس از طراحی و شبیه‌سازی این آنتن، نمونه‌ای آزمایشگاهی با پترن و VSWR مطلوب، برای کارکرد در بازه فرکانسی ۰/۷-۱۸ GHz طراحی و ساخته شود. بررسی علت مشکلات به وجود آمده در پترن آنتن، بررسی حساسیت آنتن به تغییر پارامترهای ساختاری، نقش هر یک از اجزای سازنده در عملکرد آنتن و تاثیر جنس مواد به کار رفته در ساخت آنتن بر عملکرد آن از دیگر فعالیت‌هایی است که در طی این پژوهش انجام خواهد شد.

۵-۱- ساختار گزارش

ساختار این پایان‌نامه بدین گونه است که ابتدا در فصل اول و به عنوان مقدمه، تاریخچه‌ای از تحولات مرتبط با موضوع بیان شده، و در مورد انواع و کاربردهای این نوع از آنتن‌ها توضیح داده خواهد شد. در فصل دوم مروری بر اصول تئوری حاکم بر موجبرها و آنتن‌های تیغه‌دار انجام می‌شود. در فصل سوم روند طراحی یک آنتن هورن تیغه‌دار با ساختار کلاسیک معرفی شده و نتایج شبیه‌سازی آن ارائه و تحلیل خواهد شد. در فصل چهارم روند طی شده برای بهبود پترن آنتن ارائه و نتایج آن توضیح داده می‌شود. در فصل پنجم ملاحظات و روند مربوط به ساخت به همراه مقایسه نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی آنتن ارائه شده و در فصل ششم و پایانی نتایج حاصل از پژوهش به همراه ارائه پیشنهادات آورده خواهد شد.

فصل ۲ - مروری بر اصول تئوری و پیدایش آنتن هورن تیغه‌دار

۱-۲ - تاریخچه پیدایش آنتن هورن استاندارد

از گذشته‌های دور آنتن‌های هورن استاندارد، با توجه به بهره بالا و جهت‌دهی مناسب، انتخاب شایسته‌ای برای بسیاری از کاربردهای مخابراتی و اندازه‌گیری به شمار می‌روند. اولین آنتن هورن در سال ۱۸۹۷ توسط آقای چاندر برای فرکانس ۶۰ GHz ابداع گردید. پس از یک دوره کم‌فروغ در اوایل قرن بیستم، استفاده از این نوع آنتن‌ها پس از جنگ جهانی دوم دوباره رونق گرفت [۱۳].

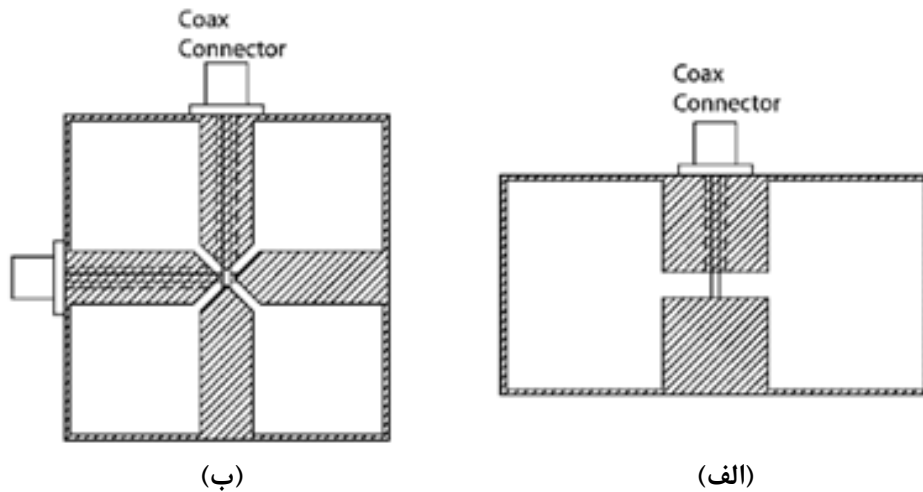
علی‌رغم مشخصات قابل قبول تشعشعی همچون افت بازگشت و شکل پترن مناسب، پهنای باند آنتن‌های هورن معمولاً کم است. می‌توان نشان داد که برای یک موجبر مستطیلی که طول دهانه‌ی آن دو برابر عرض دهانه باشد، حداکثر پهنای باند قابل دستیابی ۲:۱ خواهد بود [۱۴]. با توجه به همین مشکل، قابلیت استفاده از آنتن‌های هورن در کاربردهای فرایه‌ن‌بند و پالسی وجود ندارد. از سوی دیگر باتوجه به کاربرد وسیع آنتن هورن به عنوان آنتن استاندارد گین در اتاق‌های آنتن و تست‌های سازگاری الکترومغناطیسی، افزایش پهنای باند این‌گونه آنتن‌ها می‌تواند مزیت استفاده از تنها یک آنتن مرجع در یک گستره وسیع فرکانسی را ایجاد کند.

۲-۲ - پیدایش موجبرهای تیغه‌دار

همان‌گونه که می‌دانیم، آنتن هورن استاندارد یک موجبر مایکروویوی مستطیلی یا دایروی است که دهانه آن برای رسیدن به مشخصه تشعشعی مناسب و تطبیق با فضای آزاد بازتر شده است. بنابراین هرگونه موفقیت در افزایش پهنای باند این نوع از موجبرها، منجر به افزایش پهنای باند آنتن هورن مربوطه خواهد شد.

ساده‌ترین و مهمترین راه‌حل برای افزایش پهنای باند یک موجبر مستطیلی، اضافه کردن دو تیغه متقارن به صورت طولی در وسط موجبر است. شکل ۱-۲ ساختار دو موجبر دوتیغه‌ای و چهار تیغه‌ای نمونه را نشان می‌دهد. به طور کلی تیغه‌های اضافه شده به صورت بارهای رآکتیو گسترده عمل کرده و سرعت فاز و امپدانس مشخصه موجبر را تا ۲۵ برابر کاهش می‌دهند. کاهش سرعت فاز همراه با کاهش فرکانس

قطع مود اصلی (TE_{10}) موجبر (حدود ۵ تا ۶ برابر) شده و همچنین فرکانس قطع مودهای بالاتر را نیز افزایش می‌دهد [۱۵]. البته معایب این روش نیز باید مورد توجه قرار گیرد. به عنوان مثال با اضافه شدن تیغه به ساختار، تضعیف موجبر به علت اضافه شدن افت روی دیواره تیغه‌ها، افزوده شده و حداکثر توان قابل تحمل^۱ موجبر نیز به علت نزدیک بودن لبه تیغه‌ها و افزایش احتمال جرقه‌زنی، کاهش خواهد یافت. بدیهی است که مشخصات این نوع از موجبرها تا حد زیادی به ابعاد و مشخصات تیغه‌های مورد استفاده وابسته خواهد بود.



شکل ۱-۲ مقطع عرضی و نحوه تغذیه موجبرهای تیغه‌دار (الف) دوتیغه‌ای (ب) چهارتیغه‌ای

۲-۳- افزایش پهنای باند آنتن هورن با تکنیک تیغه‌گذاری

همان‌گونه که در بخش قبل ذکر شد، اضافه کردن تیغه در صفحه الکتریکی^۲ یک موجبر تیغه‌دار باعث کاهش فرکانس قطع مود اصلی در مقایسه با موجبر هم مقطع خواهد شد. این تیغه‌ها فرکانس قطع دو مود بالاتر را نیز بالا برده و قابلیت عملکرد موجبر موجود را تا پهنای باندهایی در حدود ۱۰:۱ بهبود خواهند داد. چنانچه این موجبر به عنوان موجبر ورودی آنتن هورن استفاده شده و در دهانه آنتن تیغه‌ها به گونه‌ای باز شوند که بهترین تطبیق ممکن بین امپدانس موجبر با امپدانس فضای آزاد به وجود آید، به آنتن جدیدی خواهیم رسید که آنتن هورن تیغه‌دار نامیده شده و تمام مزایای هورن استاندارد را به همراه پهنای باند بالا دارا می‌باشد. در برخی از منابع ذکر شده که پهنای باند آنتن‌های هورن معمولی را که در

^۱ Peak Power Handling

^۲ E-Plane

حدود ۲:۱ تا ۸:۱ است، می‌توان با استفاده از این تکنیک تا ۲۰:۱ افزایش داد. طرح‌های اولیه این نوع آنتن‌ها دارای دو تیغه بوده و پلاریزاسیون خطی داشتند. بعدها با تکامل این طرح‌ها آنتن‌هایی با چهار تیغه برای پشتیبانی از پلاریزاسیون دایروی نیز ابداع شد. در شکل ۲-۲ دو نمونه از آنتن هورن چهارتیغه-ای ملاحظه می‌شود. اخیراً در برخی مقالات روش‌هایی ارائه شده که امکان دستیابی به پلاریزاسیون دایروی را با آنتن هورن دوتیغه‌ای و صفحات قطبش دهنده فراهم می‌آورند [۱۶].



شکل ۲-۲ دو نمونه تجاری از آنتن هورن چهار تیغه‌ای

۲-۴- تحلیل تئوری موجبر و آنتن هورن تیغه‌دار

معمولاً برای تحلیل این نوع از آنتن‌ها از روش تشدید قائم^۱ استفاده می‌شود. یک موجبر مستطیلی با میدان‌های الکتریکی موازی با دیواره کوتاه‌تر را می‌توان به عنوان یک خط انتقال صفحات موازی در نظر گرفت. چنانچه فاصله صفحات این موجبر b باشد، امپدانس خط انتقال، معادل ηb خواهد بود که در آن $\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ امپدانس فضای آزاد است. فرکانس قطع پایین‌ترین مود برای یک موجبر معمولی هنگامی اتفاق خواهد افتاد که عرض آن (a) معادل $\lambda/2$ شود.

در روش تشدید قائم، نیمی از ساختار به عنوان یک خط انتقال فرض شده و فرکانس قطع هنگامی رخ می‌دهد که امپدانس دیده شده در مرکز، معادل مدار باز (برای مدهای فرد) و یا معادل اتصال کوتاه (برای مدهای زوج) باشد. در حالت کلی برای مود TE_{N0} که N عددی صحیح و دلخواه باشد، این شرط

^۱ Transverse Resonance Method

به صورت $a/\gamma = N \lambda/4$ بیان می‌شود. با توجه به ثابت فرض شدن امپدانس خط صفحات موازی می‌توان از اثر آن در معادلات صرفنظر کرد [۱۴].

نحوه تغذیه یک موجبر تیغه‌دار در شکل ۱-۲ نشان داده شد. همانگونه که در شکل مشخص است، برای تغذیه از یک خط هم‌محور^۱ استفاده شده که از میان یکی از تیغه‌ها عبور کرده و هادی داخلی آن پس از عبور از فضای خالی موجود، به تیغه پایینی متصل می‌شود.

مدار معادل تشدید قائم این مجموعه از دو خط انتقال به همراه یک خازن موازی (به جای تیغه‌ها) تشکیل می‌شود. با فرض آنکه عرض موجبر a_1 و ارتفاع آن $2b_1$ و ضخامت تیغه‌ها a_2 و فاصله آن‌ها $2b_2$ باشد، مقدار این خازن وابسته به نسبت ارتفاع‌ها یعنی $\alpha = b_2/b_1$ است که در آن $b_2 < b_1$.

$$C = \frac{\epsilon_0}{\pi} \left(\frac{\alpha^2 + 1}{\alpha} \cosh^{-1} \frac{1 + \alpha^2}{1 - \alpha} - 2 \ln \frac{4\alpha}{1 - \alpha^2} \right) \quad (۱-۲)$$

برای تحلیل موجبر دوتیغه‌ای می‌توان یک صفحه زمین در وسط صفحه E موجبر قرار داد و موجبر را به دو قسمت هم ارتفاع تقسیم کرد. در مرحله بعد امپدانس ورودی این نیم‌موجبرها محاسبه شده و امپدانس کل از موازی کردن امپدانس این دو بدست خواهد آمد.

با نوشتن معادلات ادمیتانس در نقطه مرکزی موجبر و مساوی صفر یا بینهایت قرار دادن آن می‌توان به فرکانس‌های قطع مورد نظر رسید. امپدانس برای مودهای فرد در مرکز موجبر، بینهایت و بر روی دیواره-ها صفر است. فرکانس قطع به ازای $k_c = 2\pi/\lambda_c = 2\pi f_c/c$ اتفاق می‌افتد که c سرعت نور در فضای آزاد است. معادله به دست آمده برای مودهای فرد به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{\tan\left(k_c \frac{a_2}{2}\right)}{\eta b_2} + k_c c C - \frac{\cot\left[k_c (a_1 - a_2)/2\right]}{\eta b_1} = 0 \quad (۲-۲)$$

با حل عددی معادله (۲-۲) مقدار k_c یافته خواهد شد. برای مودهای زوج باید امپدانس ورودی صفر در مرکز در نظر گرفته شود که منجر به معادله مشابهی به فرم زیر خواهد شد:

$$-\frac{\cot\left(k_c \frac{a_2}{2}\right)}{\eta b_2} + k_c c C - \frac{\cot\left[k_c (a_1 - a_2)/2\right]}{\eta b_1} = 0 \quad (۳-۲)$$

^۱ Coaxial