

شبه سازی و مقایسه دو نوع آنتن کوچک بسیار کم حجم بسیار پهن باند تیغه ای شکل

داود بصائری^۱، سید محمد جواد رضوی^۲، سید حسین محسنی ارمکی^۳

۱ دکتری مخابرات میدان، دانشگاه مالک اشتر، d.basaery@chmail.ir

۲ استاد یار دانشکده مخابرات، دانشگاه مالک اشتر

۳ استاد یار دانشکده مخابرات، دانشگاه مالک اشتر

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۵

چکیده

در این مقاله دو نوع آنتن کوچک بسیار پهن باند با ساختار تیغه ای شکل ارائه و مقایسه می‌گردد. ساختار اول متشکل از یک تیغه تشعشعی با عنصر تلفاتی در محل تغذیه است. ساختار دوم از یک خط پیچ دار تشکیل شده که خود به عنوان یک بار برای آنتن مونوپل تلقی می‌گردد. آنتن مذکور در سه ناحیه با عناصر های فشرده RLC موازی که برای رسیدن به بیشترین بهره و تلف برگشتی بهینه سازی شده اند، بارگذاری شده است. شکل ظاهری آنتن مانند آنتن های مونوپل تیغه ای با ضخامتی بسیار کم می باشد و به صورت مدار چاپی یک رو ساخته شده است. ابعاد هر دو آنتن $۷۶ \times ۲۲ \text{cm}$ (معادل $۰/۰۰۱۵ \lambda \times ۰/۰۲۲ \lambda \times ۰/۰۷۶ \lambda$ در پایین ترین فرکانس) و ابعاد صفحه زمین آن $۵۰ \times ۲۵ \text{cm}$ می باشد. نشان داده شده است که مشخصات آنتن دوم نسبت به آنتن اول که تیغه ای با همین ابعاد است، بسیار بهتر و مخصوصا در ابتدای باند مناسب تر است. مزیت ساختار دوم نیل به بهره مناسب و حذف چاله های نمودار بهره در جهت خط دید با وجود ابعاد کوچک و تطبیق در باند فرکانسی وسیع $۳۰-۵۰۰ \text{MHz}$ می باشد.

کلیدواژه

آنتن تیغه ای، آنتن بسیار کم حجم، خط پیچ دار، آنتن بسیار پهن باند، آنتن از نقطه نظر الکتریکی کوچک، آنتن بارگذاری شده با عناصر فشرده

مقدمه

آنتن " طبقه بندی می‌شوند. تعدادی از این نوع روش‌ها صرفا کاربرد باریک باند دارند که از آن جمله می‌توان به روش استفاده از شکاف یا آنتن های F معکوس یا F معکوس صفحه ای اشاره نمود. در کاربردهای پهن باند معمولا در کنار بهینه سازی شکل از روش دیگری نیز استفاده می‌گردد. دسته وسیعی از این نوع آنتن‌ها، آنتن‌های پرکننده فضا می‌باشند. گاهی این آنتن ها بر اساس منحنی های ریاضیدانان سرشناسی چون هیلبرت و پیانو طراحی می شوند. برای آنتن های کوچک منحنی های فضا پرکن برای ساختن یک منحنی طولانی در یک فضای سطحی کوچک استفاده می شوند. لذا ساختار می تواند در طول موجی رزونانس کند که توسط منحنی طولانی شکل گرفته است و بدین ترتیب کاهش ابعاد اتفاق خواهد افتاد. در منابع مختلف ذکر شده است که در آنتن های کوچک برای رسیدن به بهترین عملکرد لازم است از تمام حجم ممکن استفاده نمود. بهبود پهنای باند یک آنتن کوچک تنها با استفاده کامل از حجم برای تولید مد های TE یا TM و یا با کاهش بازده آنتن میسر است [۱۱].

به طور کلی برای کوچک سازی آنتن‌ها شش روش وجود دارد [۱]. این روش‌ها عبارتند از: استفاده از خا و اص مواد [۲،۳]؛ استفاده از عناصر فشرده [۴،۵]؛ استفاده از فرامواد [۶،۷]؛ بهینه سازی کلی [۸]؛ استفاده از مدار تطبیق امپدانس منفی [۹،۱۰] و بهینه سازی شکل ظاهری آنتن.

پردامنه ترین روش در این میان، روش استفاده از شکل آنتن و بهینه سازی آن می‌باشد. در این تکنیک سعی می‌شود با روش‌های مختلف هندسه و ساختار آنتن به گونه‌ای بهینه سازی و اصلاح شود که ضمن کاهش فرکانس ابتدای باند، پهنای باند مد نظر بدست آید. از جمله ساختارهای شناخته شده در این روش آنتن‌های L معکوس، آنتن های مارپیچی، آنتن های خط پیچ دار و نیز آنتن های با انحناهای حجمی و فرکتال ها می باشند. گاهی نیز با بریدگی یا شکاف می توان فرکانس رزونانس آنتن را پایین آورد. همه این ها در دسته "کوچک سازی با بهینه سازی هندسه

با ضخامت کم خود قابلیت نصب در داخل یک پوشش باریک برای کاربردهای هوایی را داراست. نتایج شبیه‌سازی و ساخت ارائه و مقایسه شده است. در انتها نیز برای اثبات مزیت ساختار ارائه شده نسبت به ساختارهای متعارف، آنتن با آنتن تیغه‌ای معمولی پیش گفته مقایسه می‌گردد. توجه شود که هر دو آنتن ابعاد یکسانی دارند.

یادآور می‌شود که تا کنون معیار مناسبی برای تعیین کیفیت یک آنتن کوچک پهن باند به صورت مستقل ارائه نشده و تنها راه اثبات مزیت آنتن همین مقایسه می‌باشد.

در خصوص استفاده از عناصر تلفاتی توجه شود که همانطور که مطرح شد پهنای باند آنتن‌های کوچک بسیار محدود است و لذا جهت افزایش پهنای باند تنها دو راه منطقی وجود خواهد داشت [۱۸]: اول استفاده بهینه از کره محاطی آنتن- که در این خصوص ساختارهای خمیده و خط پیچ دار استفاده شده است- و دوم اعمال بهینه و اصولی تلفات که میزان تاثیر تلفات در بهره آنتن معیار مناسبی جهت ارزیابی بهینه بودن آن است.

ساختار اول: آنتن تیغه‌ای تلفاتی

یک روش متعارف و پرکاربرد در طراحی آنتن‌های مونوپل تیغه‌ای کوچک آن است که یک تیغه معمولی را بر روی صفحه زمین قرار داده و آن را با یک شبکه تلفاتی تطبیق می‌کنند (شکل ۱). نمونه‌های زیادی از این نوع آنتن‌ها در محصولات شرکت‌های تولید آنتن موجود است [۱۹]. در این حالت با توجه به کوچک بودن آنتن، قاعدتا برای محاسبه بهره واقعی لازم است بهره قسمت تشعشعی را با بهره‌مدار تطبیق جمع کنیم. صرفنظر از نحوه تطبیق این نوع آنتن‌ها می‌توان به عنوان یک مدار ساده از یک عنصر سری مقاومتی به عنوان مدار تطبیق استفاده نمود.

نمودار شکل ۲ ضریب برگشتی و بهره و یک آنتن تیغه‌ای معمولی را نشان می‌دهد که برای رسیدن به بهره حدود -16dBi در ابتدای باند فرکانسی $30-50\text{MHz}$ با یک مقاومت $60\ \Omega$ سری تطبیق شده است. ابعاد این آنتن $76 \times 22\text{cm}$ و ابعاد صفحه زمین آن $50 \times 25\text{cm}$ در نظر گرفته می‌شود. در ادامه خواهیم دید که ساختار پیشنهادی نیز همین ابعاد را دارد. نمودار بهره راستای خط دید و ضریب برگشتی آنتن در بازه فرکانسی $30-50\text{MHz}$ در شکل ۵ آورده شده است.

به بیان دیگر بهبود پهنای باند یک آنتن که در کره ای به شعاع r محیط شده است تنها در صورتی میسر است که به کمک ساختار هندسی آن از تمام حجم قابل دسترس کره به خوبی استفاده شود [۱۲]. بر این اساس گاهی مشاهده می‌شود روش‌هایی که در دسته شکل دهی به آنتن طبقه بندی می‌شوند به نوعی سعی در استفاده بهینه از تمام فضای ممکن را دارند. این مسئله در آنتن‌های خط پیچ دار، مارپیچی‌ها و حلزونی‌ها کاملاً مشهود است.

در مرجع [۱۳] به کمک تکنیک NIC طراحی یک آنتن تیغه‌ای گزارش شده است که با ارتفاع 225mm دارای بهره 19-dBi برای 30MHz و گین 2dBi برای 300MHz می‌باشد. ساختارهای NIC از ویژگی‌های المان‌های اکتیو برای رسیدن به امپدانس‌های منفی استفاده می‌کنند و البته با ایراداتی ساختاری نظیر نیاز به تغذیه DC برای مدار اکتیو آنتن، توان تحملی بسیار پایین و پایداری مدارات منفی‌کننده مواجه هستند.

در مرجع [۱۴]، طراح به کمک یک بارگذاری تلفاتی در یک ساختار مونوپل آستینی با ابعاد $100 \times 253\text{mm}$ به گین $11,5\text{dBi}$ - برای 200MHz و $3/9\text{dBi}$ - برای 400MHz رسیده است. خواهیم دید که در مقایسه یا آنتنی که در ادامه ارائه خواهد شد با در نظر گرفتن ابعاد آنتن‌ها بهره بدست آمده خیلی مناسب نمی‌باشد.

در مرجع [۱۵] نیز طراحی یک مونوپل بارگذاری شده با المان‌های فشرده برای باند فرکانسی HF ارائه شده است. این آنتن با طول 12m و عرض حداکثر $3/5\text{m}$ به بهره 12-dBi برای 2MHz و یک چاله 9-dBi در 8MHz و بهره راستای خط دید حداکثر حدود 5dBi در فرکانس‌های بالاتر از 10MHz رسیده است. این ابعاد حدوداً معادل ابعاد متجانس با آنتنی است که در ادامه طراحی آن را ارائه می‌نماییم. البته توجه نمایید که صفحه زمین آنتن سطح یک ناو بزرگ است که ابعاد کره محاطی را برای فرکانس‌های پایین افزایش می‌دهد و رسیدن به گین بالاتری را میسر می‌سازد. ساختارهای خط پیچ‌دار گونه‌ای از ساختارهای پرکننده فضا محسوب می‌شوند که به صورت گسترده‌ای در کوچک‌سازی آنتن‌ها استفاده می‌شوند. در تحقیقات اخیر نشان داده شده است که در آنتن‌های باریک باند ساختارهای مونوپل بارگذاری شده با خط پیچ‌دار بهترین ساختار پرکننده فضا است (دارای کمترین ضریب کیفیت و بیشترین بازده) [۱۶].

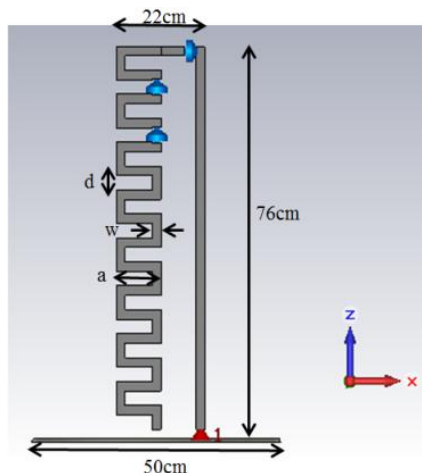
ضمناً تحقیقاتی بر روی افزایش پهنای باند آنتن‌های خط پیچ‌دار انجام شده است که پهنای باند منتهی برای بسیاری از کاربردها کافی نمی‌باشد [۱۷].

در این مقاله ابتدا یک طراحی ساده از آنتن‌های تیغه‌ای تلفاتی که به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند ارائه می‌شود. آنگاه ساختار دوم مطرح و به طور کامل مورد بحث قرار می‌گیرد. این آنتن علاوه بر پوشش دادن پهنای باند امپدانس و بهره ای $30-50\text{MHz}$ با ابعادی در حدود $158 \times 228 \times 76\text{mm}$

و نصب آسان آنتن مناسب است آنتن را به صورت کم حجم طراحی نماییم.

آنتنی را طراحی می کنیم که به سادگی بر روی برد مدارچاپی ساخته شود و بر روی صفحه زمین خود قرار گیرد. مطابق شکل ۳ ساختار آنتن از سه بخش تشکیل شده است: بخش خط پیچ دار، قسمت افقی و قسمت عمودی. آنتن با سه شبکه RLC موازی در سه محل بارگذاری شده است و مانند قسمت قبل محل و مقدار عناصر فشرده پارامترهای بهینه سازی برای ضریب برگشتی و بهره راستای افق مناسب در باند فرکانسی ۳۰-۵۰MHz می باشند. برای بهینه سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. جزئیات بیشتر در مورد نحوه بهینه سازی و پارامترهای آن و نیز رویه طراحی آنتن در منبع [۲۰] ذکر شده است.

آنتن برای سادگی ساخت بر روی FR4 یک رو به ضخامت ۱/۵mm ساخته شده ولی توجه نمایید که این زیر لایه تاثیری در عملکرد آنتن ندارد. ساختار آنتن و تصویر آن در شکل ۴ ارائه شده است. ضمناً پارامترهای بهینه نیز در جدول ۲ لیست شده اند.



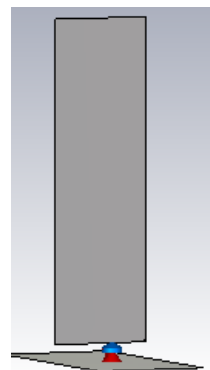
شکل ۳. ساختار آنتن [۲۰]

جدول ۱. پارامترهای بهینه آنتن نهایی [۲۰]

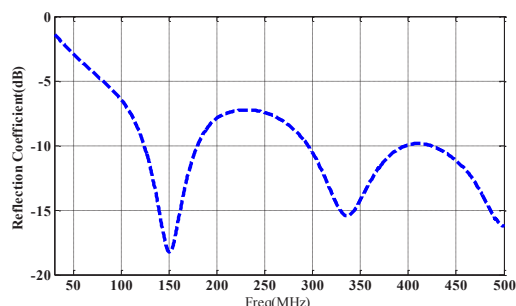
Parameter name	Value	Parameter name	Value
h1	543 mm	C1	58 pF
h2	643mm	C2	95 pF
h3	711 mm	C3	11 pF
R1	50 Ω	T	0.035 mm
R2	50 Ω	W	18 mm
R3	50 Ω	D	27 mm
L1	125 nH	A	73 mm
L2	127 nH	X-GND	50cm
L3	84 nH	Y-GND	25cm

نتایج اندازه گیری

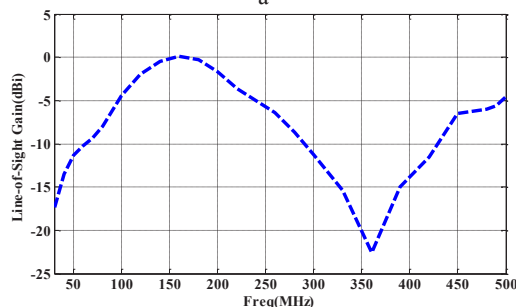
در شکل های ۴ و ۵ زیر نتایج شبیه سازی و اندازه گیری ضریب برگشتی و بهره آنتن در صفحه افق ارائه شده است. بهره آنتن به



شکل ۱. ساختار آنتن تیغه ای تلفاتی پهن باند با حضور یک مقاومت سری در محل تغذیه



a



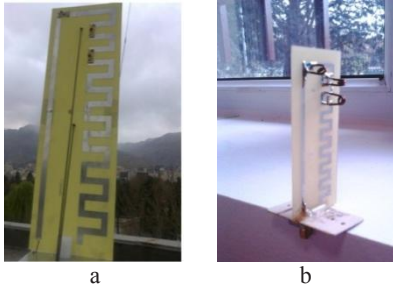
b

شکل ۲. نتایج شبیه سازی آنتن تیغه ای تلفاتی (a) ضریب برگشتی، (b) بهره در راستای خط دید

توجه شود که این آنتن فقط به عنوان یک معیار برای مقایسه و ارائه کمی میزان بهبود ساختار پیشنهادی مطرح می گردد و ارزش طراحی خاصی ندارد.

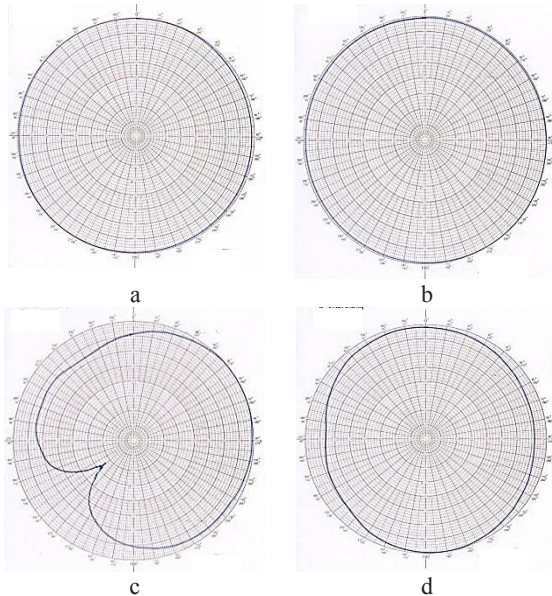
ساختار دوم: آنتن با خط پیچ دار

ساختارهای خط پیچ دار به عنوان بهترین ساختارهای پرکننده فضا شناخته می شوند. این ساختارها کاربرد زیادی در کوچک سازی آنتن ها دارند. از سوی دیگر بر اساس آنچه در بخش قبل گفته شد، ما می توانیم ابعاد آنتن را با خم کردن ساختار و نیز بارگذاری عناصر فشرده کاهش دهیم. در این بخش ساختار جدیدی را بر پایه ترکیب همه این تکنیک ها ارائه خواهیم داد [۲۰]. به دلیل محدودیت های نصب و کاربری آنتن لازم است صفحه زمین آنتن از ابعاد ۵۰×۲۵cm تجاوز نکند. همچنین حداکثر ابعاد آنتن ۷۶×۲۲cm می باشد. ضمناً برای نصب و ساخت



شکل ۶. (a) آنتن تیغه‌ای خط پیچ دار بارگذاری شده با عناصر های فشرده (b) آنتن متجانس با ضریب یک دهم [۲۰]

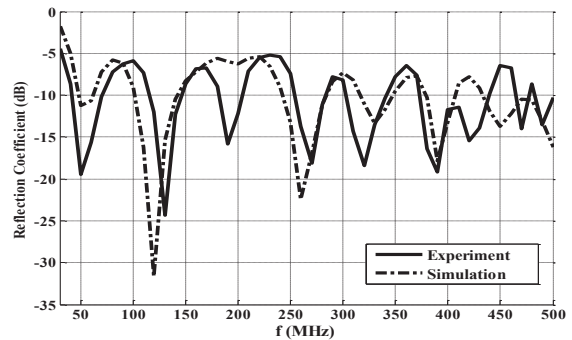
همچنین الگوی تشعشعی صفحه افق آنتن برای چند فرکانس مختلف در شکل ۷ ارائه شده است. توجه نمایید که اگرچه آنتن در صفحه عرضی دارای تقارن نیست ولی در بیشتر فرکانس ها پترن آن دارای تقارن خوبی نسبت به افق می باشد. این مسئله در کاربردهای همه جهته اهمیت بسیار زیادی دارد. البته با توجه به پهنای باند زیاد آنتن و نیز صفحه زمین کوچک آن عدم ثبات شکل پترن و نیز رخ دادن صفر در الگوی تشعشعی اجتناب ناپذیر است. مشاهده می نمایید که در فرکانس ۴۰۰MHz در پترن آنتن یک صفر رخ می دهد. در مورد علت این پدیده می توان به ایجاد توزیع جریان نامناسب و نیز تفرق ناشی از لبه های صفحه زمین اشاره نمود اما با توجه به کاربرد آنتن در ارتباطات هوایی معمولا بهره در صفحات نزدیک به افق اهمیت بیشتری دارد که در نمودار شکل ۵ به آن پرداخته شد.



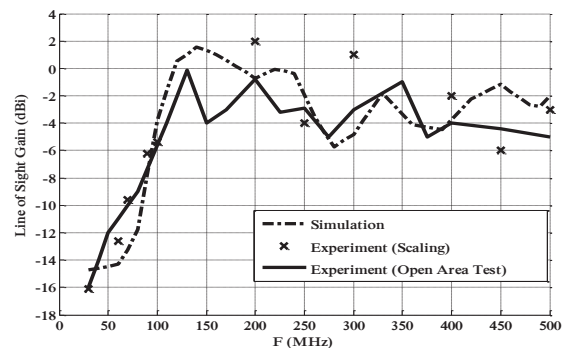
شکل ۷. الگوی تشعشعی آنتن در چند فرکانس a)130MHz b)200MHz c)400MHz d)500MHz

ضمنا از آنجا که ساختار آنتن هم به صورت افقی و هم به صورت عمودی حرکت می کند و جریان بر روی آنتن مولفه های افقی نیز

دو روش اندازه گیری شده است. در روش اول از اصل تجانس استفاده شده است. در این تکنیک بر اساس این اصل که پاسخ فرکانسی یک آنتن به ابعاد آن نسبت به طول موج بستگی دارد، آنتنی به صورت متجانس با آنتن اصلی ساخته می شود. توقع طبیعی از آنتن متجانس این است که پاسخ فرکانسی آن همان پاسخ انتقال یافته در حوزه فرکانس به اندازه ضریب تجانس باشد. در پاره ای از اندازه گیری های میدان دور آنتن مخصوصا در کارهای دانشگاهی از روش تجانس استفاده شده است [۲۱] و [۲۲]. یک نمونه متجانس از ساختار آنتن با ضریب تجانس ۱۰:۱ برابر ساخته شده و در فرکانس های ۱۰ برابر بالاتر (۵GHz-۳۰۰) در اتاق بدون انعکاس تست شده است. توجه نمایید که با توجه به مشکلات دقت ساخت برای آنتن متجانس، نتایج تست این آنتن در فرکانس های بالاتر از ۲GHz (معادل ۲۰۰MHz در آنتن اصلی) از نتایج شبهه سازی آنتن اصلی فاصله گرفته است. تصویر آنتن و متجانس آن در شکل ۶ ارائه شده است. در روش دوم آنتن اصلی در فضای آزاد نصب و بهره آن در زمین بزرگی با حداقل انعکاسات اندازه گیری شده است. مشاهده می نمایید که شبهه سازی و اندازه گیری از وحدت خوبی برخوردار می باشند.



شکل ۴. ضریب برگشتی شبهه سازی و اندازه گیری شده آنتن [۲۰]



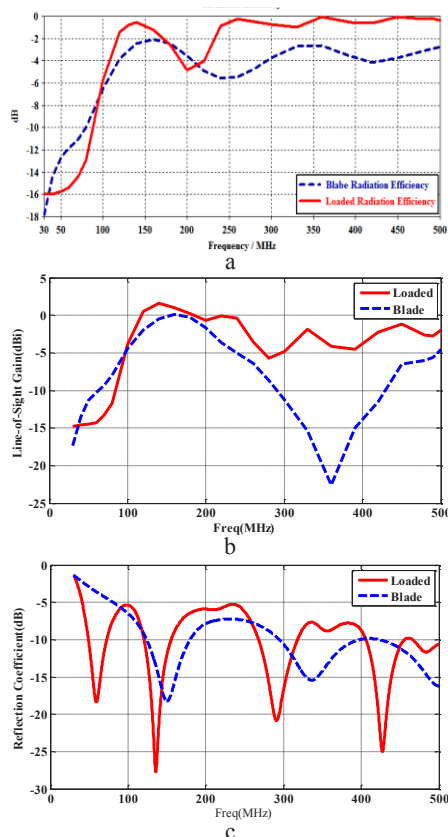
شکل ۵. نتایج شبهه سازی و اندازه گیری بهره راستای خط دید آنتن به روش های تست فضای آزاد و تجانس

دید تا حد ممکن مناسب باشد و چاله های بزرگ در نمودار بهره را حذف می نماید.

۳- پهنای باند افت برگشتی بیشتر از ۵dB آنتن بارگذاری شده بیشتر می باشد. در واقع با طراحی آنتن به صورت خط پیچ دار و خم کردن آن فرکانس پایین آنتن از ۸۰MHz در آنتن تیغه ای ساده به ۴۱MHz در آنتن بارگذاری شده کاهش یافته است. توجه شود که همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است. افت برگشتی اندازه گیری شده در ابتدای باند بهتر از افت برگشتی شبیه سازی بوده و تا فرکانس پایین آنتن تا ۳۰MHz نیز کاهش یافته است.

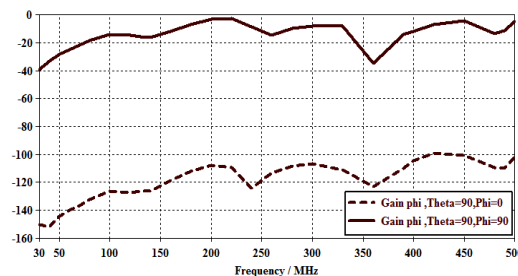
۴- مطابق شکل ۱۰ توزیع جریان در لبه های صفحه زمین در آنتن بارگذاری شده بسیار کمتر از آنتن تیغه ای است و این مسئله باعث کاهش تفرق از لبه های صفحه زمین و تغییر شکل الگوی تشعشعی می شود. همچنین همانطور که دیده می شود جریان در آنتن تیغه ای عمدتاً در دور تیغه توزیع می شود و در وسط تیغه جریان اندکی داریم.

۵- حرارت ایجاد شده در عناصر تلفاتی در یک نقطه جمع می شوند. این نقطه که همان محل تغذیه آنتن است در فرکانس های پایین توانی نزدیک به همان توان ورودی به آنتن را دریافت و تلف می نماید. واضح است که برای کنترل حرارت تولید شده در کاربردهای توان بالا مشکلات جدی وجود خواهد داشت.



شکل ۹. مقایسه (a) کارایی تشعشعی (b) ضریب برگشتی و (c) بهره خط دید آنتن خط پیچ دار بارگذاری شده پیشنهادی و آنتن تیغه ای

دارد، برای بررسی میزان خلوص پلاریزاسیون نمودار بهره آنتن در پلاریزاسیون متعامد را نیز در شکل ۸ ارائه می نماییم.



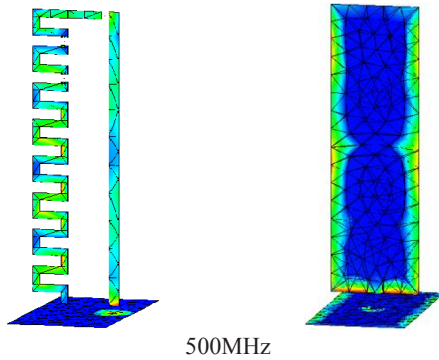
شکل ۸. نتایج شبیه سازی پلاریزاسیون متعامد در راستای خط دید در دو صفحه $\phi=90^\circ$ و $\phi=0^\circ$

مقایسه و ارزیابی

در این مرحله ساختار پیشنهادی را با آنتن تیغه ای ساده که در قسمت قبل ارائه شده است مقایسه می نماییم. برای سهولت در مقایسه، نمودارهای کارایی تشعشعی، ضریب برگشتی و بهره راستای خط دید دو آنتن در یک نمودار (شکل ۹) ارائه شده است. همچنین نتیجه شبیه سازی توزیع جریان بر روی آنتن ها به کمک نرم افزار FEKO در شکل ۱۰ نشان داده شده است [۲۳]. کارایی تشعشعی و نیز بهره راستای افق برای دو آنتن در ابتدای باند یکسان می باشد و این به معنای یکسان بودن تقریبی تلفات در ابتدای باند فرکانسی است. زیرا بهره آنتن بسیار کوچک قطعا تابع ابعاد آن و نیز تلفات اعمالی است و توزیع جریان در آنتن اهمیت زیادی ندارد. اما همانطور که مشاهده می شود فرکانس پایین آنتن خط پیچ دار بارگذاری شده پایین تر آمده است و نیز چاله موجود در نمودار بهره آنتن در فرکانس ۳۵۰MHz که به دلیل ایجاد گلبرگ های فرعی در ساختار آنتن تیغه ای وجود دارد در ساختار پیشنهادی کاملاً حذف شده است و این به دلیل تنظیم توزیع جریان در این آنتن می باشد. به طور کلی می توان گفت:

۱- کارایی تشعشعی آنتن بارگذاری شده در قسمت اعظم پهنه فرکانسی بهتر از آنتن تیغه ای ساده است. می توان گفت با وجود یکسان بودن ابعاد هر دو آنتن، ساختار خط پیچ دار و تابنده آنتن و نیز بارگذاری ها، توزیع جریان مناسب تری را در کره محاطی آنتن ایجاد نموده است که امکان رسیدن به کارایی بیشتری را فراهم می نماید. همانطور که پیشتر اشاره شد، بر اساس محدودیت های تئوریک آنتن های کوچک در یک کره محاطی مشخص برای آنتن تنها توزیع جریان مناسب تر است که می تواند کارایی آنتن را افزایش دهد [۱۹].

۲- بهره آنتن تیغه ای ساده در پهنه وسیعی از باند فرکانسی بسیار کمتر از آنتن بارگذاری شده ساختار دوم است. در واقع همانطور که پیشتر بحث شد، بارگذاری عناصر فشرده توزیع جریان بر روی آنتن را طوری تنظیم می کند که بهره آنتن در جهت خط

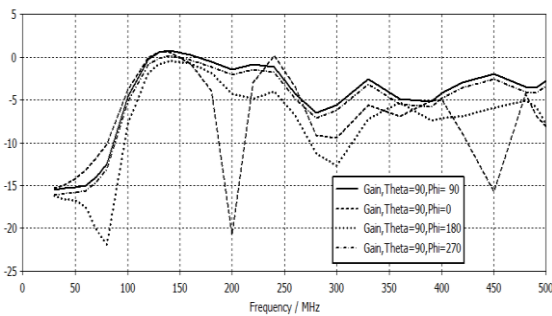


500MHz
شکل ۱۰. نمایش توزیع جریان بر روی دو آنتن

نقاط ضعف آنتن خط پیچ دار:

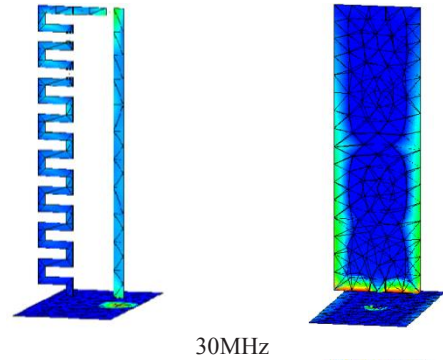
در مورد نقاط ضعف ساختار دوم می‌توان به دو نکته مهم اشاره نمود:

- ۱- همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است پلاریزاسیون متعامد آنتن در جهت عمود بر صفحه آنتن ($\varphi = 90^\circ$) در بعضی از فرکانس‌ها (مخصوصاً حدود ۲۰۰ MHz) زیاد می‌باشد. این مسئله در عمل باعث کاهش بهره در پلاریزاسیون اصلی خواهد شد. علت اصلی بروز این مشکل وجود جریان‌های افقی در ساختار در قسمت خط پیچ دار و نیز در خم شدگی بالای آنتن می‌باشد. در بعضی از فرکانس‌ها این جریان‌ها در میدان دور یکدیگر را تشدید کرده و به افزایش سطح پلاریزاسیون متعامد منجر می‌شوند.
- ۲- شکل ۱۱ نمودار بهره راستای خط دید آنتن را در چهار جهت اصلی نشان می‌دهد. محورهای مختصات مطابق شکل ۳ هستند. مشاهده می‌شود که علیرغم حذف چاله‌های نمودار بهره در صفحه عمود بر سطح آنتن، در صفحه موازی آنتن ($\varphi = 0^\circ$) در فرکانس ۲۰۰ MHz یک چاله گینی وجود دارد. این مسئله به دلیل عدم تقارن ساختار آنتن در صفحه φ بروز می‌نماید.

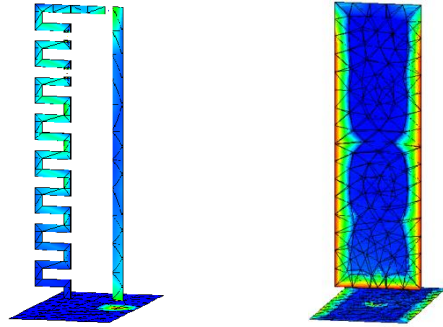


شکل ۱۱. نمودار بهره در راستای خط دید برحسب فرکانس در چهار جهت اصلی

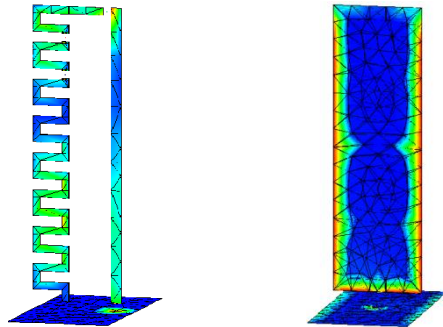
البته باید تذکر داده شود که باند فرکانسی به مرکز ۲۰۰ MHz و به پهنای حدوداً ۵۰ MHz در کاربرد مورد نظر آنتن اهمیت چندانی ندارد.



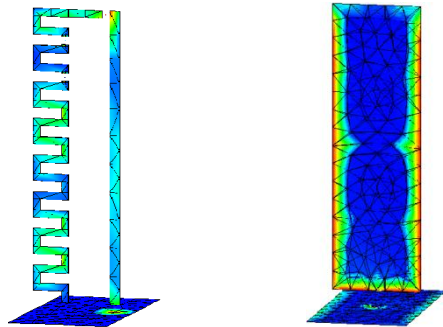
30MHz



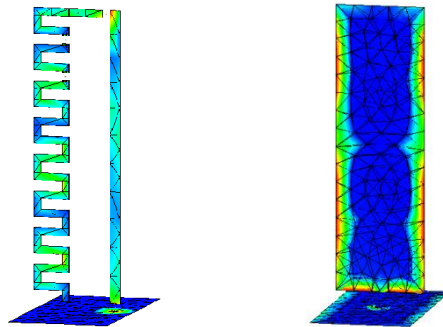
100MHz



200MHz



300MHz



400MHz

,IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.57, no.8, August 2009 .

[10] S.Koulouridis, J.L. Volakis, "Non-Foster Circuits for Small Broadband Antennas", Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE, 2009, APSURSI '09, pp 1-4.

[11] R. C. Hansen, "Fundamental limitations in antennas," Proceedings of the IEEE, vol. 69, February 1981, pp. 170-182.

[12] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, 2d ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.

[13] Javier Vazquez, Robert Pearson, "Advanced Materials for Ubiquitous Eading-Edge Electromagnetic Technologies (AMULET)", Cobham Technical Services Report.

[14] Z-D. Wu, F-Y. Meng, J. Hua, M-L. Chen, "Broadband Sleeve Monopole with very Small Ground Impedance Matching Network and Resistive Load", 2012 5th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM 2012)

[15] G. Marroco, L. Mattioni, V. Martorelli, "Naval Structural Antenna Systems for Broadband HF Communications- Part II: Design Methodology for Real Naval Platforms" IEEE Trans. on Ant. and Prop., V. 54, No. 11, Nov 2006.

[16] M.Gonzalez-Arbescu, E. Romeu; "On the influence of fractal dimension on radiation efficiency and quality factor of self-resonant pre-fractal wire monopoles"; Antennas and Propagation Society International Symposium, 2003. IEEE; Vol-4, June 2003; pp.214-217

[17] K. Noguchi, M. Mizusawa, T. Yamaguchi, Y. Okumura, "Increasing the Bandwidth of a Meander Line Antenna Consisting of Two Strips", Antennas and Propagation Society International Symposium, 1997 IEEE, pp.2198-2201

[18] David Kearney, "Small Antenna Options for Ultra-Wideband (UWB) Applications", Master of Science Thesis, Dublin Institute of Technology, July 2009.

[19] http://www.spectrumantennas.com/product_detsu_b.asp?id=21&sub_id=12.

[20] D. Basaery, S.M.J. Razavi, S.H. Mohsani Armaki, "An ultra low-profile ultra wideband blade shape monopole antenna" Microwave and Optical Technology Letters, Volume 57, Issue 7, pages 1695-1699, July 2015.

[21] Haksu Moon, "Development of Very Low-Profile Ultra-Wideband VHF Antennas", PHD Thesis, Ohio State University, USA, 2011.

[22] Lorenzo Mattioni, "Design of unconventional antennas for broadband naval communications", PHD Thesis, University of Roma "Tor Vergata, Roma, Italy, 2008.

[23] <http://www.feko.info>

جمع بندی و نتیجه گیری

دو ساختار آنتن تیغه ای شکل مونوپل برای باند فرکانسی ۳۰-۵۰۰MHz ارائه و مقایسه شد. ساختار اول مانند ساختارهای متداول به صورت تیغه ای ساده می باشد که با اعمال تلفات در محل تغذیه به پهنای باند مورد نظر نزدیک شده است. اما ساختار دوم یک آنتن بسیار پهن باند بسیار کم حجم می باشد که با ترکیب تکنیک های پرکننده فضا، خم کردن و استفاده از عناصر فشرده طراحی شده است. نشان داده شد که پهنای باند و بهره آنتن دوم بسیار مناسب تر است. البته در خصوص نقاط ضعف این آنتن نیز نکاتی مطرح شد. ضمناً توجه نمایید که مقادیر بهره بدست آمده برای آنتن دوم در مقایسه با نمونه های دیگر موجود برای این باند فرکانسی بسیار قابل دفاع می باشد.

مرجع ها

[1] J.L.Volakis, C.C.Chen, K.Fujimoto, "Small Antennas: Miniaturization Technics and Applications" ,2010

[2] I.Tzanidis, C.C.Chen, J.L. Volakis "Low Profile Spiral on a Thin Ferrite Ground Plane for 220-500 MHz Operation", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.58, No.11, PP. 3715-3720, Nov. 2010

[3] J.R. Jahoda, "JTRS/SINCGARS ultrabroadband airborne blade antenna for subsonic aircraft and helicopters", Defense Electronics, pp.20-22, August 2006.

[4] E.E. Altshuler, D.S. Linden, "An Ultrawide-Band Impedance-Loaded Genetic Antenna" IEEE Trans. Ant & Prop., Vol.52, No 11, pp. 3147 - 3150, Nov. ۲۰۰۴

[5] M. Lee, C.C. Chen, J. L. Volakis, "Ultra-Wideband Antenna Miniaturization Using distributed Lumped Element Loading", Antennas and Propagation Society International Symposium, 2005 IEEE, pp.549-552, vol. 1B.

[6] J. M. Bell and M. F. Iskander, "A low-profile Archimedean spiral antenna usingan EBG ground plane," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 3,2004, pp. 223-226.

[7] A. M. Mehrabani and L. Shafai, "A dual-arm Archimedean spiral antennaover a low-profile artificial magnetic conductor ground plane," ANTEMjURSI,vol.15-18, 2009,pp.1-4.

[8] E. E. Altshuler, D. S. Linden, "An Ultra-Wideband Impedance-Loaded Genetic Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, November 2004, pp. 3147- 3151.

[9] S.E. Sussman-Fort, R.M. Rudish, "Non-Foster Impedance Matching ofElectrically-Small Antennas"

