ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/304452058

Small Antenna in UHF Band for Mobile Ground Station Targeting UAVs

Conference Paper · April 2016

CITATIONS
0

READS
187

4 authors, including:

Hamidreza Taghvaee
University of Nottingham
46 PUBLICATIONS **395** CITATIONS
SEE PROFILE

Alireza Rezaee
University of Tehran
26 PUBLICATIONS **58** CITATIONS
SEE PROFILE

Faezeh Zarrinkhat
Universitat Politècnica de Catalunya
16 PUBLICATIONS **31** CITATIONS
SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

OBLICUE: Object Illusion in Complex Electromagnetic Wave Environments View project

WiPLASH: Architecting More Than Moore – Wireless Plasticity for Heterogeneous Massive Computer Architectures View project

All content following this page was uploaded by Hamidreza Taghvaee on 26 June 2016.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

بسمه تعالی

4th Iranian National Conference on Engineering Electromagnetic

فرمایشات و رهنمودهای مقام معظم رهبری (مدظله العالی) در دیدار دست اندرکاران ساخت ناوشکن چ.ا.ا جماران ۱۳۸۸/۱۱/۳۰

دفاع الکترونیکی برای ما خیلی مهم است. روی مسائل الکترونیک کار کنید.

گواهی می‌شود:

جناب آقای / سرکار خانم **حمیدرضا تقوایی، امیر حبیبی، علیرضا رضایی، فائزه زرین خط**

در چهارمین کنفرانس ملی الکترومغناطیس مهندسی ایران (کام ۹۴) که در تاریخ ۲۵ و ۲۶ فروردین‌ماه ۱۳۹۵ در دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) نوشهر برگزار شد، مقاله‌ی خود را با عنوان:

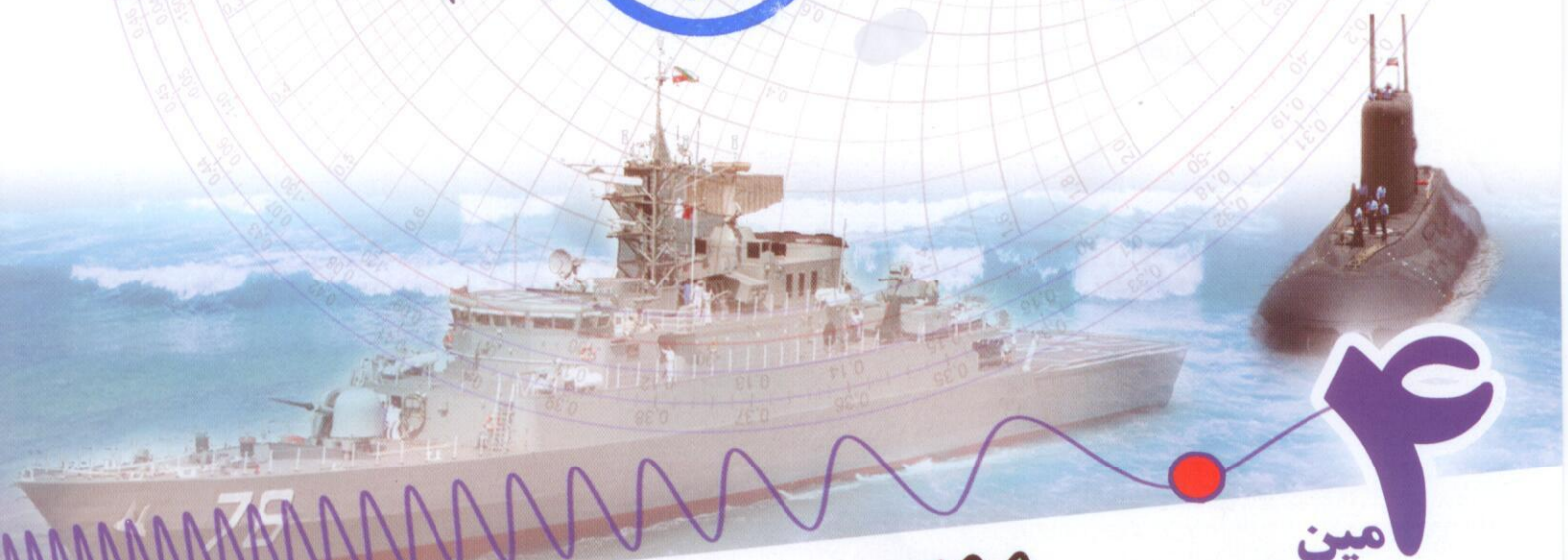
طراحی آنتن باند UHF با ابعاد کوچک برای کاربرد ایستگاه زمینی سیار جهت ارتباط با پهپاد

به‌صورت پوستر ارائه نموده‌اند. ضمن آرزوی سلامتی و موفقیت برای نگارندگان محترم، از مشارکت ارزشمند آنان صمیمانه قدردانی می‌شود.

دکتر مجید آقابابایی
دبیر کنفرانس

چهارمین کنفرانس ملی الکترومغناطیس مهندسی ایران

دکتر محمد رضا سهیلی فر
دبیر علمی کنفرانس



۴ مین کنفرانس ملی **الکترومغناطیس** مهندسی ایران کام ۱۳۹۴

www.iceem.ir

فرماندهی معظم کل قوا «مدظله العالی»

«آن چیزی که بیشتر من به آن تکیه می‌کنم و اهمیت می‌دهم ناو، موشک سطح‌به‌سطح و این چیزها نیست، آن اعتماد به نفس است.»

A-10-985-2

طراحی آنتن باند UHF با ابعاد کوچک برای کاربرد ایستگاه زمینی سیار جهت ارتباط با پهپاد

حمیدرضا تقوایی[۱]، امیر حبیبی[۲]، علیرضا رضایی،[۳]* فائزه زرین خط[۴]

[۴۲۱] دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

[۳] دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*رایانامه نویسنده مسئول arrezaee@ut.ac.ir

چکیده: این مقاله یک آنتن جدید را معرفی می‌کند که ترکیبی از آنتن حلقه ای و Patch است، به طوری که آنتن Patch توسط کابل هم‌محور تغذیه شده و با حلقه‌های مربعی به صورت الکتریکی تزویج شده است. این ساختار در نرم‌افزار CST شبیه‌سازی شده است. این آنتن‌ها در حالت کلی به یک صفحه زمین بزرگ احتیاج دارند، اما در این ساختار حتی با کاهش ابعاد صفحه زمین آنتن به خوبی کار می‌کند. این آنتن در باند UHF و در بازه فرکانسی ۵۲۵ تا ۷۲۵ مگاهرتز و با پهنای باند امپدانسی ۲۰۰ مگاهرتز کار می‌کند. بیشترین بهره در فرکانس ۵۷۵ مگاهرتز حاصل شده است که برابر با ۲/۵۰ دسی‌بل است، همه این ویژگی‌ها در کنار ۳۱ ٪ کوچک‌سازی محقق شده است. با توجه به اینکه المان اصلی تشعشع کننده، حلقه‌های مربعی هستند بنابراین، در فواصل نزدیک میدان مغناطیسی غالب است، که آسیبی به بدن انسان نمی‌رساند. این آنتن به دلیل کوچک بودن و سبک بودن در ارتباطات سیار کاربرد فراوانی دارد، همچنین به دلیل داشتن بیم پهن و بهره مناسب می‌تواند به‌عنوان ایستگاه زمینی برای ارتباط با پهپاد در فواصل نزدیک و دور، مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: ایستگاه زمینی، پهپاد، کوچک‌سازی آنتن.

«نیروی دریایی جزء نیروهایی است که پایه اش بیشتر بر تجهیزات است»

A-10-989-1

شبیه سازی آنتن نوررسانا برای تولید پالس تراهرتز

احمد ساجدی بیدگلی[۱*]، مجید ناظری[۱]

[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

*رایانامه نویسنده مسئول: sajediahmad69@gmail.com

چکیده: این مقاله، مکانیزم آنتن نوررسانای تراهرتز با استفاده از نرم افزار CST شبیه سازی شده است. در این شبیه‌سازی پالس لیزر فمتوثانیه به گپ آنتن برخورد کرده و با استفاده از معادله درود، منحنی جریان الکتریکی ایجاد شده در سطح آنتن به صورت تابعی از زمان به دست می‌آید و سپس برای محاسبه انتشار امواج تراهرتز در فضای اطراف آنتن از نرم افزار CST استفاده شده است که مبتنی بر روش FDTD می باشد. نتایج حاصل با منحنی‌های تجربی همخوانی خوبی دارد.

کلمات کلیدی: آنتن، گالیم آرسنایید، تراهرتز، نور هادی، نرم افزار سی اس تی.

چهارمین کنفرانس الکترومغناطیس
مهندسی ایران
(کام ۱۳۹۴)
اسفندماه ۱۳۹۴

۱۳۵۹
دانشگاه علوم دریایی امام خمینی
(ره) - نوشهر
دانشکده مهندسی الکترونیک و
مخابرات دریایی

طراحی آنتن باند UHF با ابعاد کوچک برای کاربرد ایستگاه زمینی سیار جهت ارتباط با پهپاد

حمیدرضا تقوایی[۱]، امیر حبیبی[۲]، علیرضا رضایی،[۳]* فائزه زرین خط[۴]

[۴۲۱] دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، تهران، ایران

[۳] دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

arrezaee@ut.ac.ir

چکیده: این مقاله یک آنتن جدید را معرفی می‌کند که ترکیبی از آنتن حلقه ای و Patch است، به طوری که آنتن Patch توسط کابل هم‌محور تغذیه شده و با حلقه‌های مربعی به صورت الکتریکی تزویج شده است. این ساختار در نرم‌افزار CST شبیه‌سازی شده است. این آنتن‌ها در حالت کلی به یک صفحه زمین بزرگ احتیاج دارند، اما در این ساختار حتی با کاهش ابعاد صفحه زمین آنتن به خوبی کار می‌کند. این آنتن در باند UHF و در بازه فرکانسی ۵۲۵ تا ۷۲۵ مگاهرتز و با پهنای باند امپدانسی ۲۰۰ مگاهرتز کار می‌کند. بیشترین بهره در فرکانس ۵۷۵ مگاهرتز حاصل شده است که برابر با ۲/۵۰ دسی‌بل است، همه این ویژگی‌ها در کنار ۳۱ ٪ کوچک‌سازی محقق شده است. با توجه به اینکه المان اصلی تشعشع کننده، حلقه‌های مربعی هستند بنابراین، در فواصل نزدیک میدان مغناطیسی غالب است، که آسیبی به بدن انسان نمی‌رساند. این آنتن به دلیل کوچک بودن و سبک بودن در ارتباطات سیار کاربرد فراوانی دارد، همچنین به دلیل داشتن بیم پهن و بهره مناسب می‌تواند به‌عنوان ایستگاه زمینی برای ارتباط با پهپاد در فواصل نزدیک و دور، مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه: ایستگاه زمینی، پهپاد، کوچک‌سازی آنتن.

۱- مقدمه

پرنده هدایت‌پذیر از راه دور (پهپاد) یک هواپیمای کنترل از راه دور یا یک هواپیمای تمام‌خودکار است که می‌تواند به تجهیزاتی همچون دوربین، حسگر، موشک و تجهیزات مخابراتی مجهز شود. از پهپادها بیشتر در کاربردهای نظامی، تحقیقاتی و جمع‌آوری اطلاعات استفاده می‌کنند به‌طوری‌که از هزینه‌های

احتمالی کاسته می‌شود و از به خطر افتادن جان انسان حین انجام مأموریت جلوگیری می‌کند [۱،۲].

بر اساس پیوند ارتباطی میان پهپاد و ایستگاه زمینی، آنتن‌های ایستگاه زمینی باید پهنای باند، قطبش، بهره و الگوی تشعشعی مناسبی داشته باشند [۳]. برای برقراری ارتباط در فواصل دور رسیدن به بهره بالا ضروری است. در فواصل نزدیک که سرعت نسبی میان پهپاد و ایستگاه زمینی بیشتر می‌شود برای برقراری ارتباط پایدار و بدون وقفه وجود الگوی تشعشعی عریض ضروری است. پس آنتن یک ایستگاه زمینی به انضمام بهره بالا باید الگوی تشعشعی عریضی داشته باشد که چنین چیزی امکان پذیر نیست زیرا عملاً پهنای بیم با بهره آنتن رابطه عکس دارند و هرچه بهره بالاتر باشد بیم آنتن باریک‌تر می‌شود. به همین علت ایستگاه‌های زمینی برای رسیدن به این مهم از دو آنتن مجزا استفاده می‌کنند. یک آنتن با بهره بالا برای ارتباط با فواصل دور و یک آنتن با بیم پهن برای ارتباط در فواصل نزدیک به کار برده می‌شود.

با ظهور فناوری بی‌سیم و نیاز رو به رشد به نرخ بالای اطلاعات در ارتباطات سیار، تعداد رادیوها در ارتباطات نظامی به جایگاهی رسیده که بالا بودن پهنای باند به یک مسئله جدی تبدیل شده است [۴]. آنتن‌های PIFA جز ارزان‌ترین، معروف‌ترین و ساده‌ترین آنتن‌ها در حوزه ارتباطات فردی هستند. حوزه‌ای که شامل موبایل‌ها و دیگر رادیوهای سیار است [۵].

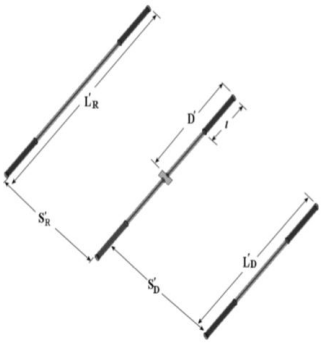
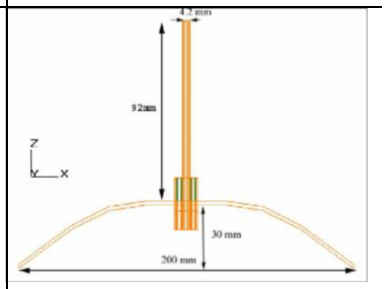
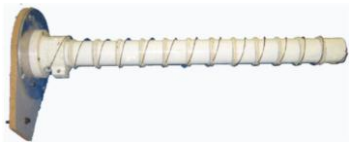
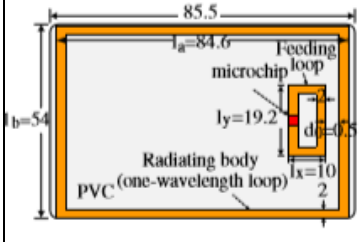
در محیط‌های نظامی و شرایط جنگی که کنترل‌کننده پهپاد در منطقه جنگی درحرکت است نیاز دارد که در هرلحظه بتواند به‌سرعت با پهپاد ارتباط برقرار کرده دستورات لازم را ارسال و اطلاعات موردنظر را دریافت کند. پس آنتن ایستگاه زمینی باید به‌راحتی قابل‌حمل باشد سبک و کوچک باشد و درعین‌حال ممکن است کاربر مدت‌زمان طولانی آنتن را در حالت آماده‌به‌کار نگه دارد پس باید برای جلوگیری از آسیب رساندن امواج به کاربر به دنبال یک راهکار عملی بود.

۲- پیش‌زمینه

در این بخش چند آنتن را که در ایستگاه‌های زمینی استفاده می‌شوند، ارائه می‌کنیم که در باند فرکانسی UHF کار می‌کنند. یکی از متداول‌ترین آنتن‌های ایستگاه زمینی یاگی-یودا است که بهره زیاد، پهنای باند پایین و اندازه نسبتاً بزرگی دارد اما قابل‌حمل است و به دلیل طراحی و ساخت ساده و کم هزینه در پهپادهای غیرنظامی کاربرد دارد. بیشترین میزان بهره در آنتن‌های ایستگاه زمینی مربوط به آنتن مارپیچی است که در نمونه اشاره شده در جدول ۱، این بهره ۱۲/۵ دسی‌بل است اما این آنتن بسیار بزرگ است و نمی‌توان آن را به‌راحتی حمل نمود و برای ایستگاه‌های ثابت مناسب است. بهره بالا سبب باریک شدن بیم تشعشعی می‌شود بنابراین آنتن مارپیچی به یک آنتن با بیم همه‌جانبه نیاز دارد تا در فواصل نزدیک کار ارتباط با پهپاد را انجام دهد. معمولاً از یک آنتن دوقطبی یا تک‌قطبی به‌عنوان آنتن همه‌جانبه استفاده می‌کنند که آنتن تک‌قطبی به یک صفحه زمین بزرگ نیاز دارد که برای کاربردهای سیار مطلوب نیست. آنتن حلقوی جز آنتن‌های سبک و قابل‌حمل

است که به‌عنوان ایستگاه زمینی سیار مورد استفاده قرار می‌گیرد اما بهره پایین و پهنای باند کم، استفاده از آن را به کاربردهای تجاری محدود کرده است.

جدول۱: آنتن‌های استفاده شده در ایستگاه زمینی [۳،۶،۷]

شکل	توصیف	نوع
	F = 643-690 MHz BW= 47 MHz G= 5.4 dB 174*160 mm	Inductively-Loaded Yagi-Uda
	F= 775-875 MHz BW= 100 MHz G= 3 dB 200*120 mm	monopole with bent ground plane
	F=780-880 MHz BW= 100 MHz G= 12.5 dB 1170*126 mm	helix Antenna
	880-940 MHz 60 MHz Unity 85.5*54 mm	Loop Antenna RFID

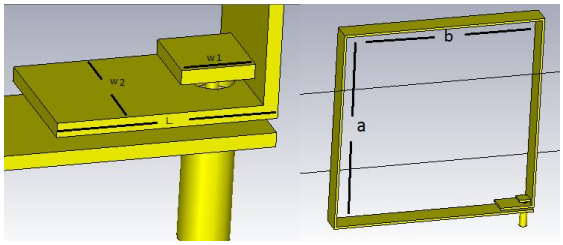
برای یک ارتباط پایدار در ایستگاه زمینی سیار به بهره بالا، بیم پهن، پهنای باند زیاد و حجم و وزن پایین نیازمندیم. برای ارتباط در فواصل دور بهره بالا برد مخابراتی را افزایش می‌دهد ولی در فواصل نزدیک که حرکت زاویه‌ای میان پهپاد و ایستگاه زمینی زیاد است تعقیب پهپاد برای آنتنی که بیم باریکی دارد عملاً غیرممکن است ولی آنتنی که بیم پهنی دارد در فواصل نزدیک نیز ارتباط خود را با پهپاد حفظ می‌کند گفتیم که پهپادها می‌توانند به تجهیزاتی همچون دوربین و حسگر مجهز شوند یا به عنوان رله مخابراتی برای ایجاد پیوند میان ایستگاه‌های زمینی مورد استفاده قرار گیرند و برای ارسال اطلاعات با نرخ بالا داشتن پهنای باند ضروری است. همچنین آنتن یک ایستگاه سیار باید سبک و قابل حمل باشد و نباید تشعشعات ناشی از آن به کاربر آسیب برساند. یک مجموعه که ترکیبی از آنتن‌های ارائه شده باشد و تمام مزایای آن‌ها را در کنار هم داشته باشد می‌تواند ما را به هدف مطلوب برساند.

۳- طراحی

در این مقاله یک ساختار جدید ارائه می‌کنیم که اندازه بزرگی ندارد و درعین‌حال پهنای باند کافی و بهره بالا دارد. الگوی تشعشعی با عرض بیم نسبتاً پهنی دارد بنابراین در فواصل نزدیک نیز می‌تواند به‌تنهایی با پهپاد ارتباط بگیرد. یکی از اصلی‌ترین مشکلات ارتباط سیار آسیبی است که امواج جذب‌شده توسط بدن انسان به کاربر وارد می‌کند [۸]، المان تشعشعی این آنتن یک حلقه الکتریکی است که در فواصل نزدیک میدان الکتریکی ضعیفی ایجاد می‌کند و میدان مغناطیسی در ناحیه نزدیک آنتن قوی‌تر است که برای بدن انسان مضر نیست [۹]. درعین‌حال که نقص‌های

آنتن‌های قبلی در این نوع آنتن بهبودیافته است پیچیدگی آن زیاد نشده و ساختار ساده‌ای داشته، سبک و قابل‌حمل است و نیز راه‌اندازی آن در محیط‌های مختلف بدون اشکال صورت می‌پذیرد و ازنظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است.

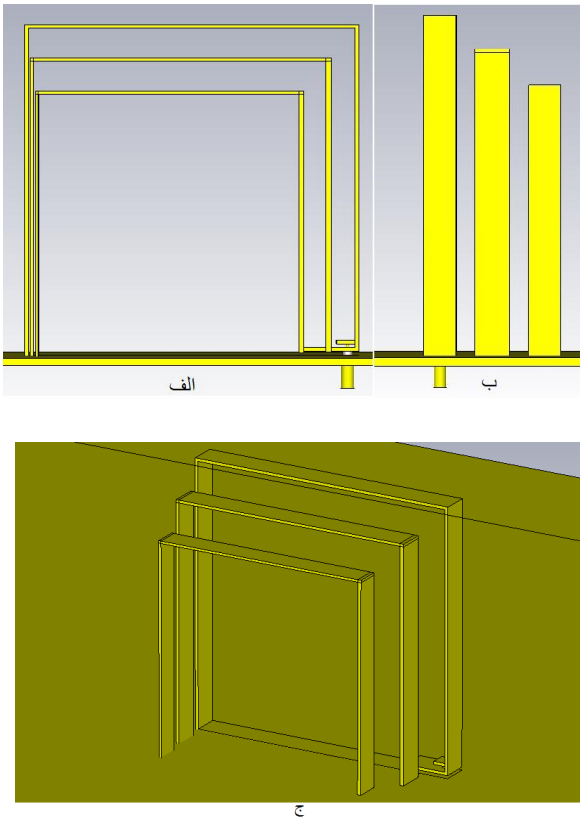
همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، آنتن ارائه‌شده در این مقاله شامل یک حلقه رسانای مسی (رسانایی 96/5 × 107 s/m) متصل شده با یک آنتن Patch که انتهای آن مدارباز است و شکل PIFA به آن داده است و توسط کابل هم‌محور تغذیه‌شده است. در واقع خط ماکرواستریپ کابل هم محور و حلقه الکتریکی را به یکدیگر متصل کرده است که زیر لایه‌ی آن از جنس تفلون (ضریب دی الکتریکی εr=۲/۱ و تلفات دی الکتریکی tanδ=۰/۰۰۰۲) است که به‌راحتی با کابل هم‌محور که دی‌الکتریک آن هم از جنس تفلون است، تطبیق می‌شود. ساختار آنتن در شکل ۱ نشان داده‌شده است. بر اساس محدودیت‌های بنیادین یک آنتن [۱۰]، ضریب کیفیت هر نوع آنتنی با معکوس اندازه الکتریکی آن به توان ۳ نسبت عکس دارد. پس با کوچک کردن یک آنتن پهنای باند آن شدیداً افت می‌کند بنابراین ابعاد صفحه زمین ازجمله چالش‌های مربوط به آنتن‌های میدان الکتریکی است [۱۱]. سازوکار تشعشع در آنتن بر اساس سه توزیع میدان مختلف انجام می‌شود: یک جریان مغناطیسی ناشی از خط ماکرواستریپ که انتهای آن باز است، یک جریان الکتریکی در سمت تغذیه و یک جریان مغناطیسی در حلقه توزیع شده است. میزان این جریان‌ها با توجه به اندازه ابعاد آنتن تغییر می‌کنند. برای مثال با افزایش طول حلقه (b) و باریک کردن حلقه (W2) جریان مغناطیسی در انتهای خط ماکرواستریپ غالب می‌شود. با افزایش ارتفاع حلقه (a) نقش جریان الکتریکی در سمت تغذیه آنتن بیشتر می‌شود [۱۲].



شکل ۱: نمای آنتن شبیه سازی شده

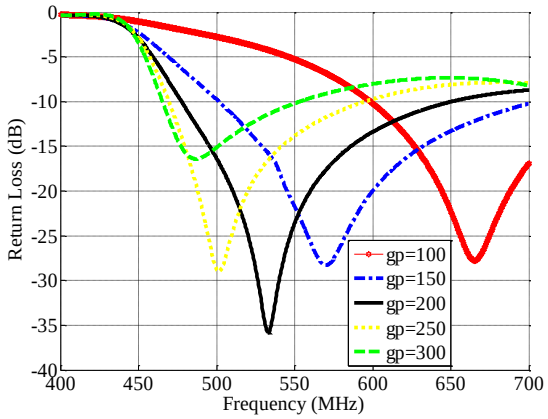
بدیهی است که برای نتیجه بهتر، صفحه زمین را باید بزرگ‌تر کنیم اما این کار ابعاد آنتن را بیش‌ازحد بزرگ می‌کند. با انحنا دادن به صفحه زمین مانند یک صفحه بازتابنده می‌توانیم نتایج بهتری به دست آوریم و درعین‌حال ابعاد آنتن را ثابت نگه‌داریم. همان‌طور که می‌دانید میزان توان برگشتی از آنتن حلقه‌ای در سطح مطلوبی قرار ندارد، و پهنای باند امپدانسی این آنتن‌ها در حالت کلی پایین است، میزان توان برگشتی از آنتن علاوه بر هدر دادن انرژی، باعث آسیب رساندن به تجهیزات حساس می‌گردد، بنابراین بایستی از میزان توان بازگشتی بکاهیم. ایراد در تطبیق موج میان آنتن و فضای آزاد است. روش‌های مرسوم برای تطبیق امپدانسی برای آنتن ماکرواستریپ در این جا مفید نیست، زیرا در باند UHF طول موج بزرگ است. برای رفع این مشکل از روش آرایه کردن حلقه‌ای استفاده کردیم. این روش بر گرفته از ابتکاری است که در آنتن یاگی-یودا استفاده شده است. در این روش

حلقه‌های کوچک را در کنار حلقه اصلی قراردادیم و با بهینه‌سازی بهترین حالت ممکن را برای ابعاد این حلقه‌ها و همچنین فواصل میان آن‌ها انتخاب کردیم که خوشبختانه نتایج بسیار خوبی حاصل شد که البته کمی به ابعاد آنتن افزوده شد و آن را از حالت ساده خارج کرد اما پهنای باند امپدانسی و بهره آنتن به میزان قابل‌توجهی افزایش داشت، کمینه توان بازگشتی از آنتن نیز شدیداً افت پیدا کرد. شکل ۲ این آنتن را از زوایای مختلف نمایش می‌دهد.

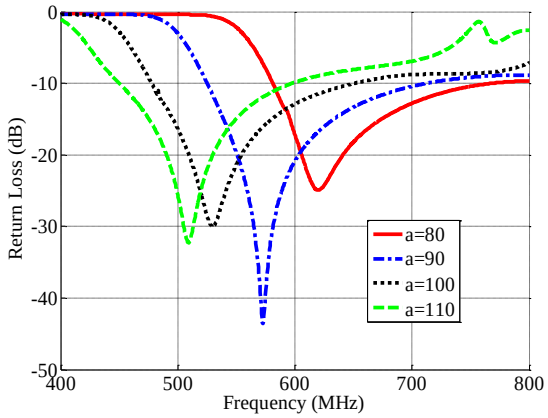


شکل ۲: آنتن آرایه‌ای از روبه‌رو (الف)، آنتن آرایه‌ای از کنار(ب)، آنتن آرایه‌ای از نمای بالا (ج)

حلقه‌ها به فاصله یک میلی‌متری از هم قرار دارند مشاهده می‌کنید شکل ۳ تأثیر ابعاد صفحه زمین بر توان بازگشتی و شکل ۴ تأثیر ابعاد حلقه روی توان بازگشتی را نشان می‌دهند. در این شبیه سازی W2=25 mm، W1=1 mm و L=15mm در نظر گرفته شده است.



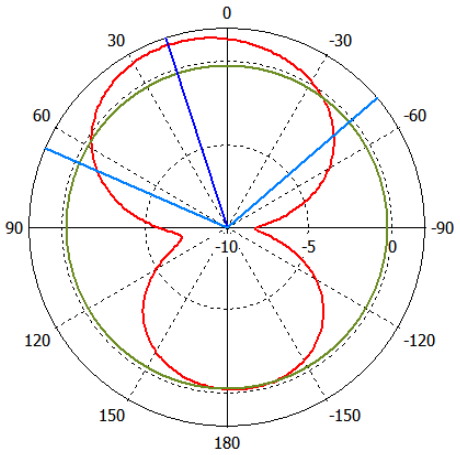
شکل ۳: توان بازگشتی آنتن آرایه‌ای با ابعاد مختلف صفحه زمین



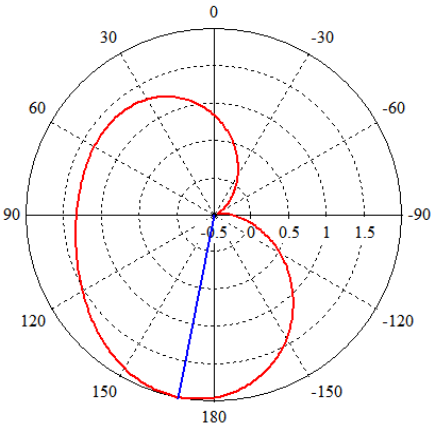
شکل ۴: توان بازگشتی آنتن آرایه‌ای با طول‌های مختلف حلقه

در بهترین حالت ۲۰۰ مگاهرتز پهنای باند در فرکانس ۵۷۵ مگاهرتز حاصل شده یعنی حدوداً ۳۵ ٪ پهنای باند که بهبود بسیار زیادی نسبت به رقیبان خود دارد. همچنین ۳۱ ٪ کوچک‌سازی با کاهش فرکانس کاری محقق شده است. شکل ۵ الگوی تشعشعی این آنتن را

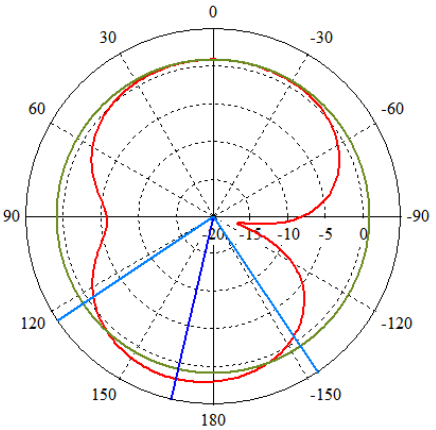
در صفحات مختلف و در فرکانس ۵۷۵ مگاهرتز نشـان می‌دهد.



(الف)



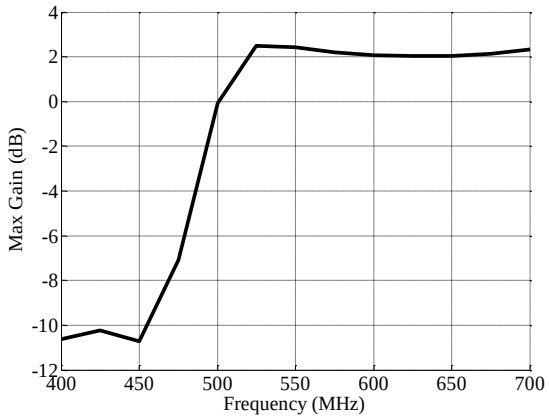
(ب)



(ج)

شکل ۵: الگوی تشعشعی برای آنتن آرایه‌ای در صفحه XY، XZ و YZ در فرکانس ۵۷۵ مگاهرتز

الگوی تشعشعی آنـتن حلقـه‌ای در حالـت کلـی همـه جهتی هست اما با تغییر این ساختار الگوی تشعشـعی نیز کمی تغییر کرده و متمایل شده است و یـک لـوب قوی‌تر و یک لوب ضعیف‌تر دارد. اما با تغییـر طراحـی صفحه زمین می‌توان این لوب‌ها را دست‌کاری کرد که متناسب با کاربرد مدنظر بهینه شود. شـکل ۶ بیشـینه بهره حقیقی برای فرکانس‌های مختلف که تأثیر عـدم تطبیق نیز در آن لحاظ شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۶: بیشینه بهره برحسب فرکانس

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله آنتنی ارائه شـده اسـت کـه در فرکـانس ۵۷۵ MHz تشدید می‌کند که طول‌موج بلندی دارد و می‌تواند منطقه وسیعی را تحت پوشـش قـرار دهـد و حدود ۲/۵۰ دسی‌بل بهره ایجاد می‌کند که با توجه به چنین بهره بالایی برد مفید آنتن افزایش می‌یابد. ایـن آنتن بـه یـک حلقـه متصـل شـده اسـت کـه میـدان

الکتریکی نزدیک ضعیفی دارد و برای بدن انسان مضر نیست بنابراین در محیط‌هایی که انسان‌ها حضور دارند قابل استفاده است. الگوی تشعشعی آنتن می‌تواند برای کاربردهای متفاوتی استفاده شود. این الگوی تشعشعی با منحنی‌تر شدن صفحه زمین می‌تواند باریک شـود و با صاف شدن آن می‌تواند پهن شود، پس صفحه زمین متناسب با کاربرد موردنظر طراحی می‌شود. در طراحی این آنتن با توجه به بهینه‌سازی صورت گرفته و آرایـه کردن حلقه‌ها توانستیم پهنای باند را تا ۳۵٪ افـزایش دهیم. همچنین ۳۱٪ کوچک‌سازی محقق شده است.

مرجع‌ها

[1] Munson, K., "World Unmanned Aircraft", JANE'S,NewYork, pp. 7-10, 1988.

[2] http//airtraffici.stanford.edu/uav/.

[3] Z.H. Firouzeh, M. Moradian, A. Safari-Hajat-Aghaei, H. Mir-Mohammad-Sadeghi, "Design and Implementation of Ground Station Antennas for UAV Data Radio Link in UHF Band", IEEE 2nd International Conference on Information & Communication Technologies (2006), 2195-2220.

[4] Kamal Sarabandi, Reza Azadegan, "Design of an Efficient Miniaturized UHF Planar Ante" IEEE Trans. Antennas Propagat, vol. 51, NO. 6, June 2003.

[5] M. Manteghi and Y. Rahmat-Samii, "A novel miniaturized triband PIFA for MIMO applications", Microwave Optl Technol Lett 49 (2007), 724–731X.

[6] J. A. Tirado-Mendez, H. Jardon-Aguilar, R. Flores-Leal, M. Reyes-Ayala, and F. Iturbide-Sanchez, "Inductively-Loaded Yagi-Uda Antenna With Cylindrical Cover for Size Reduction at VHF-UHF Bands", IEEE Trans. Antennas Propagat, vol. 59, NO. 2, February 2011.

[7] M. Tsai1, C. Chiu, H. Wang, and T. Wu, "Inductively Coupled Loop Antenna Design For UHF RFID On-Body Applications", Progress In Electromagnetics Research, Vol. 143, 315–330, 2013.

[8] M. A. Jensen and Y. Rahmat-Samii, "EM interaction of handset antennas and a human in personal communications", Proc IEEE 83 (1995), 7–17.

[9] R.F. Harrington, Time-harmonic electromagnetic fields, McGraw-Hill, New York, 1961.

[10] L.J. Chu, Physical limitations of omni-directional antennas, J Appl Phys 19 (1948), 1163–1175.

[11] M.C. Huynh and W. Stutzman, Ground plane effects on planar inverted-F antenna (PIFA) performance, IEEE Proc Microwaves Antennas Propag 150 (2003), 209–213.

[12] M. Manteghi, "Electrically coupled loop antenna as a dual for the inverted-f antenna" Microwave and Optical Technology Letters/ Vol. 55, No. 6, June 2013.

View publication stats