

طراحی و ساخت آنتن با صفحه زمین ناقص در محدوده فرکانسی ۳/۱ تا ۱۰/۶ گیگاهرتز برای کاربرد در اخلاک‌گرهای فرایه‌ن باند

بهنام درستکار یاقوتی^{۱*}، احمد دولتخواه^۲، گوهر ورامینی^۳

۱. استادیار، گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه علوم انتظامی امین، تهران، ایران.

۲. استادیار، گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات، دانشگاه علوم انتظامی امین، تهران، ایران.

۳. دانشیار، گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیضا، بیضا، ایران.

چکیده

با توسعه روزافزون فناوری‌های بی‌سیم و افزایش تقاضا برای پهناهای باند وسیع در سیستم‌های ارتباطی و نظامی، طراحی آنتن‌های فشرده، کارآمد و چندمنظوره برای کاربردهای فرایه‌ن باند (UWB) اهمیت چشمگیری پیدا کرده است. در این مقاله، یک آنتن نوآورانه برای باند فرکانسی ۳/۱ تا ۱۰/۶ گیگاهرتز طراحی و ساخته شده است. این آنتن با استفاده از ساختار زمین معیوب (DGS) و خطوط انتقال موجبر همسطح (CPW) روی یک بستر FR4 با ابعاد کوچک $26.6 \times 29.3 \times 1.6$ میلی‌متر طراحی شده است. آنتن پیشنهادی، تک‌جهته با بهره بالا، دارای پیک بهره ۴ dBi است و نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که مقدار VSWR آن در بیشتر نقاط پهنا باند کمتر از حد استاندارد است که این موضوع نشان‌دهنده تطبیق امپدانس آنتن است. نتایج حاصل از ساخت و شبیه‌سازی آنتن بیانگر عملکرد بهینه آن در زمینه‌هایی مانند ارتباطات بی‌سیم پرسرعت، رادارهای نظارتی و سیستم‌های شناسایی است. از جمله کاربردهای برجسته این آنتن، استفاده در سیستم‌های اخلاک‌گر فرایه‌ن باند در حوزه جنگ الکترونیک است. طراحی فشرده، بهره بالا، و پهنا باند گسترده، آنتن پیشنهادی را به یک راه‌حل ایده‌آل برای فناوری‌های پیشرفته نظامی و ارتباطی تبدیل کرده است که می‌تواند نیازهای مدرن این حوزه‌ها را به‌طور مؤثری برآورده کند.

واژه‌های کلیدی: آنتن، فرایه‌ن باند، میکرواستریپ، صفحه زمین ناقص.

Design and Fabrication of an Antenna with Defected Ground Structure in the Frequency Range of 3.1 to 10.6 GHz for Ultra-Wideband Jammers

Behnam Dorostkar^{*1}, Ahmad Dolatkah², Gohar Varamini³

1. Assistant professor, Department of Information and Communication, Amin Police University, Tehran, Iran.

2. Assistant professor, Department of Information and Communication, Amin Police University, Tehran, Iran.

3. Associate professor, Department of Electrical Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.

Abstract

With the increasing development of wireless technologies and the increasing demand for wide bandwidth in communication and military systems, the design of compact, efficient, and versatile antennas for ultra-wideband (UWB) applications has gained significant importance. In this paper, an innovative antenna for the frequency band of 1.3 to 10.6 GHz is designed and fabricated. This antenna is designed using a defective ground structure (DGS) and coplanar waveguide (CPW) transmission lines on a small FR4 substrate with dimensions of $26.6 \times 29.3 \times 1.6$ mm. The proposed antenna is unidirectional with high gain, has a peak gain of 4 dBi, and the simulation results show that its VSWR value is lower than the standard value at most points of the bandwidth, which indicates the impedance matching of the antenna. The results of the antenna fabrication and simulation indicate its optimal performance in fields such as high-speed wireless communications, surveillance radars, and reconnaissance systems. Among the prominent applications of this antenna is its use in ultra-wideband jamming systems in the field of electronic warfare. The compact design, high gain, and wide bandwidth make the proposed antenna an ideal solution for advanced military and communication technologies that can effectively meet the modern needs of these fields.

Key words: CNC Satellite Communication, High-Order Statistics, Time-Frequency Interference, Viterbi Algorithm.

۱- مقدمه

با ظهور نسل پنجم شبکه‌های مخابراتی و گسترش اینترنت اشیا (IoT)، نیاز به دستگاه‌های الکترونیکی پرسرعت برای انتقال داده‌ها به یکی از محورهای اصلی پیشرفت در صنایع مختلف، دولت‌ها و کاربران تبدیل شده است. استانداردهای انتقال داده بی‌سیم در گذشته با محدودیت سرعت مواجه بودند که نیاز به تحول اساسی در این حوزه را بیش از پیش آشکار ساخت. در همین راستا، کمیسیون ارتباطات فدرال² (FCC) در سال ۲۰۰۲ پهنای باند ۷.۵ گیگاهرتز در بازه فرکانسی ۳.۱ تا ۱۰.۶ گیگاهرتز را برای ارتباطات بی‌سیم معرفی کرد. این بازه فرکانسی به دلیل پهنای باند وسیع و تطبیق‌پذیری بالا، کاربردهای گسترده‌ای را شامل می‌شود، از جمله شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۳ (WSN)، شبکه‌های شخصی بی‌سیم^۴ (WPAN)، سیستم‌های راداری و ارتباطات پیشرفته [۱]. در حوزه جنگ الکترونیک، یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری فرایه‌ن‌باند، طراحی و پیاده‌سازی اختلال‌گرهای فرایه‌ن‌باند است. این اختلال‌گرها به دلیل توانایی‌شان در پوشش طیف گسترده‌ای از فرکانس‌ها، ابزاری کلیدی برای مختل کردن عملکرد سیستم‌های ارتباطی و شناسایی دشمن به شمار می‌روند. با استفاده از یک آنتن فرایه‌ن‌باند کارآمد، اختلال‌گر می‌تواند سیگنال‌های ارتباطی، کنترل و ناوبری پهپادها، سیستم‌های راداری و تجهیزات مخابراتی دشمن را هدف قرار دهد و با ارسال سیگنال‌های اختلال‌زا، آن‌ها را غیرقابل استفاده کند. ویژگی‌های برجسته اختلال‌گر فرایه‌ن‌باند شامل پوشش گسترده فرکانسی، اندازه کوچک و قابل حمل و بهره‌وری انرژی بالاست. این قابلیت‌ها امکان استفاده از این سیستم‌ها در تجهیزات پرتابل و پهپادهای کوچک را فراهم می‌کند، به طوری که می‌توان از آن‌ها در عملیات‌های ضد پهپاد برای ایجاد اختلال در سیگنال‌های ارتباطی و کنترلی پهپادهای دشمن یا در عملیات‌های ضد رادار برای جلوگیری از شناسایی و رهگیری نیروهای خودی بهره برد. با توجه به اهمیت راهبردی این فناوری، اختلال‌گرهای فرایه‌ن‌باند می‌توانند به عنوان یک ابزار دفاعی قدرتمند در محیط‌های عملیاتی پیچیده مورد استفاده قرار گیرند و نقش مهمی در افزایش توانمندی‌های نظامی ایفا کنند [۲-۴].

سیستم‌های فرایه‌ن‌باند به دلیل وضوح زمانی بالای سیگنال‌های ارسالی، از دقت بسیار بالا و عملکرد مطلوبی برخوردار هستند. این سیستم‌ها در کاربردهای مختلف، از جمله ارتباطات بی‌سیم، حسگری کوتاه‌برد و جنگ الکترونیک، به دلیل ویژگی‌هایی مانند مصرف توان پایین، بهبود عملکرد در شرایط چندمسیره، معماری

ساده فرستنده-گیرنده و بهره‌وری انرژی بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین، این سیستم‌ها به دلیل وضوح برد بالا، قابلیت نفوذ در موانع، پیچیدگی سخت‌افزاری پایین و انعطاف‌پذیری در برابر تداخل، برای بسیاری از کاربردهای حساس ایده‌آل هستند. طراحی آنتن‌های مناسب برای سیستم‌های فرایه‌ن‌باند، به‌ویژه در بازه‌های فرکانسی گسترده، یکی از چالش‌های اصلی در این فناوری است. آنتن‌های فرایه‌ن‌باند تشعشعات الکترومغناطیسی بسیار کمی ساطع می‌کنند و انرژی کمتری مصرف می‌کنند. این ویژگی‌ها، در کنار توانایی ارائه دقت بالا در تعیین موقعیت هدف در مقیاس سانتی‌متری و نفوذ بهتر از طریق موانع در مقایسه با آنتن‌های موج پیوسته^۵ (CW)، آن‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای دقیق و حساس تبدیل کرده است [۵]. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری فرایه‌ن‌باند در حوزه جنگ الکترونیک است، جایی که از آنتن‌های فرایه‌ن‌باند برای طراحی اختلال‌گرهای فرایه‌ن‌باند^۶ استفاده می‌شود [۶]. این اختلال‌گرها به دلیل توانایی پوشش طیف گسترده‌ای از فرکانس‌ها، قابلیت ایجاد اختلال در سیگنال‌های ارتباطی، رادارها و سیستم‌های کنترلی دشمن را دارند. به‌ویژه در عملیات‌های ضد پهپاد و ضد رادار، این سیستم‌ها با ارسال سیگنال‌های اختلال‌زا، عملکرد تجهیزات دشمن را مختل کرده و مزیت تاکتیکی قابل توجهی ایجاد می‌کنند [۷].

در طراحی این اختلال‌گرها، استفاده از آنتن‌های فرایه‌ن‌باند با توانایی ارسال و دریافت سیگنال‌های قوی برای غلبه بر نویز و تداخل، از اهمیت بالایی برخوردار است. این آنتن‌ها باید علاوه بر بهره‌وری انرژی بالا، عملکرد بهینه‌ای در شرایط عملیاتی پیچیده ارائه دهند. طراحی چنین آنتن‌هایی در افزایش کارایی سیستم‌های فرایه‌ن‌باند مؤثر است، همچنین نقش مهمی در توسعه تجهیزات پیشرفته جنگ الکترونیک ایفا می‌کند. از خطوط انتقال موجبر همسطح و ساختار زمین ناقص^۷ (DGS) به عنوان یک راه‌حل نوآورانه و امیدوارکننده برای کاربردهای ارتباطی و سیستم‌های فرایه‌ن‌باند که نیاز به پهنای باند وسیع و عملکرد بالا دارند، طراحی و ارائه شده است. این آنتن با هدف بهبود کارایی و تطبیق‌پذیری در محدوده وسیعی از کاربردهای مدرن طراحی شده است و ترکیب فناوری‌های فرایه‌ن‌باند، CPW و DGS در آن چندین مزیت کلیدی به همراه دارد. استفاده از خطوط تغذیه CPW باعث کاهش پیچیدگی طراحی و بهبود تطبیق‌پذیری امپدانس می‌شود که در نهایت منجر به بهبود عملکرد آنتن در پهنای باند وسیع می‌گردد. علاوه بر این،

⁵ Continuous Wave

⁶ UWB Jammers

⁷ defected ground structure

¹ Internet of Things

² Federal Communications Commission

³ Wireless sensor networks

⁴ Wireless Personal Area Network

بهره‌گیری از ساختار زمین ناقص به کاهش تشعشعات ناخواسته، بهبود بهره آنتن و افزایش کارایی کلی سیستم کمک می‌کند. این ترکیب موجب افزایش پهنای باند و دقت سیگنال شده و توانایی آنتن را در مقابله با نویزها و تداخل‌های محیطی به طور چشمگیری بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، ویژگی‌های این آنتن آن را به گزینه‌ای مناسب برای استفاده در سیستم‌های جنگ الکترونیک تبدیل کرده است [۸].

۲- تحقیقات پیشین

آنتن‌های میکرواستریپ معمولی با محدودیت‌هایی مانند فرکانس کاری محدود، پهنای باند امیدانسی کم، بهره پایین، ابعاد بزرگ‌تر و مشکلات پلاریزاسیون مواجه هستند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، روش‌های مختلفی برای بهبود عملکرد آنتن‌های میکرواستریپ معرفی شده است، از جمله روش‌های انباشتگی، تکنیک‌های مختلف تغذیه، سطوح انتخابی فرکانس^۸ (FSS)، فاصله باند الکترومغناطیسی^۹ (EBG)، فاصله باند فوتونی^{۱۰} (PBG) و استفاده از فرامواد. در میان این تکنیک‌ها، ساختار زمین ناقص به دلیل طراحی ساده و عملکرد بهینه، محبوبیت بیشتری پیدا کرده است [۹-۱۲]. ساختارهای زمین ناقص به نقص‌ها یا شکاف‌های ایجاد شده در ساختار زمین مدارهای میکرواستریپ اشاره دارد و در ابتدا برای طراحی فیلترهای زیرخط میکرواستریپ استفاده شدند. این ساختارها برای دستیابی به خواص باند استاپ مطلوب، سرکوب هارمونیک‌های مرتبه بالاتر و کاهش کوپلینگ متقابل به کار گرفته شدند. در سال‌های اخیر، تقاضا برای DGS به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و در حوزه آنتن‌های میکرواستریپ نیز برای افزایش پهنای باند، بهبود بهره، سرکوب هارمونیک‌ها و کاهش قطبش متقاطع استفاده شده است. این ویژگی‌ها بهبود چشمگیری در مشخصات تشعشعی آنتن ایجاد کرده و آن را به گزینه‌ای ایده‌آل برای کاربردهای مختلف از جمله سیستم‌های اخلاگر فرایه‌ن باند تبدیل کرده است.

آنتن‌های فرایه‌ن باند به دلیل وضوح زمانی بالا و قابلیت‌های پیشرفته در شناسایی، نقش مهمی در سیستم‌های پیچیده دارند. به‌عنوان مثال، رادارهای داپلر و سیستم‌های چند ورودی چند خروجی^{۱۱} MIMO که در تشخیص و شناسایی اهداف متعدد و اندازه‌گیری دقیق برد و موقعیت استفاده می‌شوند، از فناوری‌های مشابه بهره می‌برند. سیستم‌های SIMO با استفاده از فناوری شکل‌دهی پرتو دیجیتال تطبیقی، امکان تشخیص همزمان اهداف و منابع متحرک را در مکان‌های ناشناخته فراهم

می‌کنند [۱۳]. در مرجع [۱۷]، یک نمونه اولیه آنتن MIMO توزیع شده 2×2 IR-UWB برای مکان‌یابی چندین هدف انسانی از طریق تصویربرداری پیشنهاد شده است که تعداد تنفس (RR) و ضربان قلب (HR) آنها را از طریق میانگین طیف چهار کلنالی تخمین می‌زند. با این حال، این روش علائم حیاتی را از هر کانال به طور جداگانه تخمین می‌زند، بدون اینکه از قابلیت‌های پردازش منسجم کانال‌های متعدد استفاده کند. به طور کلی، بلند فرکانس نفوذ موثر دیوارهای بتنی نباید از ۳ گیگاهرتز تجاوز کند [۱۸]. برخی از محققان تلاش کرده‌اند تا تعداد تنفس پشت دیوار را اندازه‌گیری کنند [۱۹] اما الگوریتم‌های تخمین حرکت قفسه سینه نمی‌توانند ضربان قلب را به دقت ثبت کنند. هم تعداد تنفس و هم ضربان قلب و هم شدت تنفس از ویژگی‌های مهم فعالیت‌های تنفسی و قلبی هستند. بنابراین، به دست آوردن الگوهای تنفس و ضربان قلب برای استخراج و شناسایی بیشتر ویژگی مفید خواهد بود. یک آنتن تک قطبی مثلثی نیمه دایره‌ای که توسط CPW برای باند UWB فوق العاده بالا تغذیه می‌شود ساخته شده است. آنتن پیشنهادی از بستر FR4 با ابعاد انتخاب شده $(23 \times 25 \times 1.6)$ میلی‌متر مکعب استفاده می‌کند که محدوده ۴.۹ تا ۲۵ گیگاهرتز را پوشش می‌دهد [۷]. در [۲۰] یک آنتن سبک وزن و مسطح UWB برای کاربردهای اینترنت اشیا پوشیدنی با پهنای باند ۷.۷۱ گیگاهرتز و ۷.۹۵ گیگاهرتز تعریف و ساخته شده است. یک آنتن UWB مبتنی بر Rogers TMM3 به عنوان مواد زیرلایه در محدوده فرکانس پهنای باند ۴.۴ - ۹.۵ گیگاهرتز آزمایش می‌شود و پهنای باند امیدانسی را تا ۷۵ درصد در رابطه با فاصله ۵۰ میلی‌متری بین آنتن و بدن انسان پیشنهادی بهبود می‌بخشد [۲۱]. در [۲۲]، یک آنتن قابل حمل فشرده با تغذیه CPW بر اساس یک فیلم مونتاژ شده با گرافن بسیار رسانا^{۱۲} (GAF) ارائه شده است. شکاف‌های H شکل به طور قابل توجهی باند عملکرد را افزایش می‌دهند.

۳- روند طراحی

در کاربردهای آنتن فوق پهن باند، یکی از ساده‌ترین پالس‌های ارسال‌کننده، شکل موج نشان داده شده است، همانطور که در شکل ۱ نمایش داده شده است. شکل موج تعریف شده به عنوان اولین مشتق پالس گوسی را می‌توان به راحتی توسط مدارهای مایکروویو تولید کرد. در حوزه زمانی، دامنه، $s(t)$ ، شکل موج تک چرخه به صورت زیر تعریف می‌شود [۸].

¹¹ multiple input, multiple output

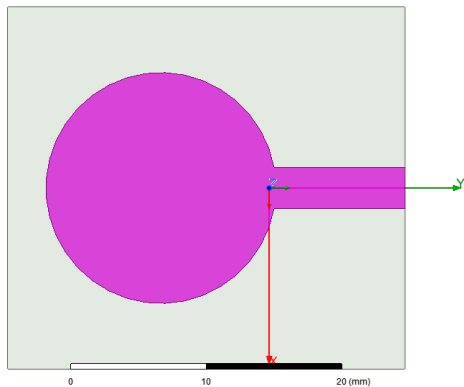
¹² graphene-assembled film

⁸ Frequency selective surfaces

⁹ Electromagnetic Band Gap

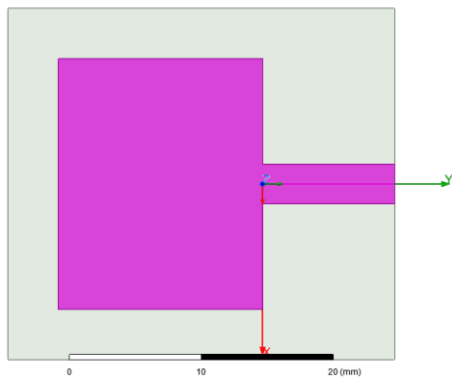
¹⁰ photonic band gap

وجود پهنای باند مناسب نیاز به ترمیم طرح برای کاربرد فرایهین باند را الزامی می کند که بتوان برای کاربرد فرایهین باند پزشکی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲- آنتن با تغذیه CPW با صفحه زمین کامل

با توجه به ایرادات طرح قبلی (شکل ۲) و نیاز به طرحی جدید و مزایای پیچ مسطیلی با تغذیه CPW طرح (شکل ۳) ارائه گردید که آنتن با تغذیه CPW با پیچ مسطیلی شبیه سازی می باشد. با توجه به بهبود عملکرد آنتن اما همچنان پهنای باند مناسبی در این طرح نیز به دست نیامد.

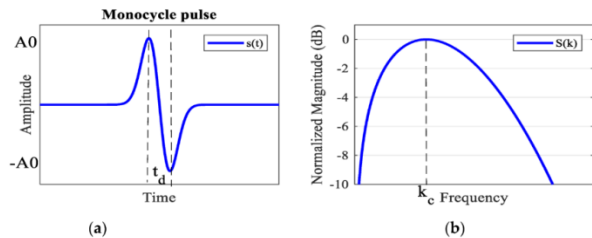


شکل ۳- آنتن با تغذیه CPW با صفحه زمین کامل

بنا به مزایای صفحه زمین ناقص شکافها یا عیوب یکپارچه شده در صفحه زمین مدارهای مسطح مایکروویو به عنوان ساختار زمین ناقص یا ناقص نامیده می شوند. برای استفاده از آنتن هایی که در فرکانس های بالا کار می کنند، فشرده هستند. در فرکانس فوق العاده بالا یک آنتن با محدوده تشخیص خوب طراحی و ساخته شده است و انعطاف پذیر برای اجازه دادن به ۱۰/۶-۳/۱ گیگاهرتز مطابقت. پهنای باند بالایی را نشان می دهند جهت دهی بالا و راندمان الکتریکی؛ بر روی سطوح با شکل هندسی نیم دایره مانند صفحه زمین ناقص و تغذیه CPW در (شکل ۴) نشان داده شده است. طراحی آنتن پیشنهادی بر روی زیرلایه FR4 با ثابت دی الکتریک $\epsilon_r = 4/4$ ، ضخامت $h = 1/6 \text{ mm}$ و 0.019 $\tan \delta =$ و خط تغذیه CPW انجام شده است. پارامترهای طراحی آنتن پیشنهادی در جدول ۱ ارائه شده است.

$$s(t) = -\frac{2\sqrt{e}}{t_d} A_0 t e^{-2\left(\frac{t}{t_d}\right)} \quad (1)$$

که در آن $t_d = 1/(\pi k c)$ مدت زمان بین حداکثر و حداقل، $k c$ فرکانس مرکزی (Hz) و A_0 دامنه ارسال است. حداکثر و حداقل مقادیر $s(t)$ به ترتیب A_0 و $-A_0$ به دلیل ضریب ضرب $\frac{-2\sqrt{e}}{t_d}$ هستند.



شکل ۱- تابع گوسی مرتبه اول: (الف) حوزه زمان (ب) حوزه فرکانس.

در حوزه فرکانس، شکل موج را می توان با اعمال تبدیل فوریه به دست آورد [۸]:

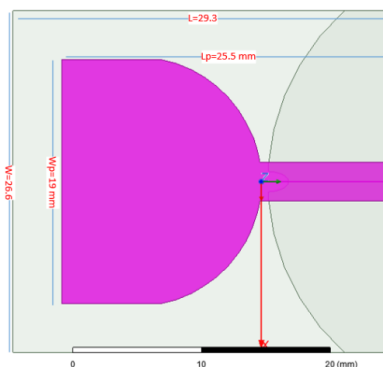
$$\sum_P \sigma_p s(t - t_p) + \sum_o \sigma_o s(t - t_o(\tau)) + \sum_v \sigma_v s(t - t_v(\tau)) \quad (2)$$

و

$$s(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-j2\pi k t} dt = -\frac{2\sqrt{e}}{t_d} A_0 \int_{-\infty}^{+\infty} t e^{-2\left(\frac{t}{t_d}\right)^2} e^{-j2\pi k t} dt = S_0 k e^{-a k^2} \quad (3)$$

از (۲) و (۳)، پهنای باند سیگنال فرستنده $s(t)$ به فرکانس مرکزی $k c$ و همچنین ترتیب پالس گاوسی بستگی دارد. به طور کلی، سیگنال دریافتی را می توان به عنوان مجموع سیگنال های منعکس شده چند مسیر به تاخیر زمانی مدل کرد. روابط نشان می دهد که تغییر فاز سیگنال های منعکس شده دریافتی در حوزه زمان کند، اطلاعات ارزشمندی درباره حرکت اجسام ارائه می دهد. در این حوزه، سیگنال های منعکس شده از اجسام ثابت جابجایی نشان نمی دهند، اما اجسامی که دارای حرکت هستند، مانند تجهیزات مکانیکی یا اهداف متحرک، تغییرات قابل توجهی ایجاد می کنند. در جنگ الکترونیک، آنتن های UWB با ارسال سیگنال های اختلال زا در طیف وسیع، ارتباطات و سیستم های کنترلی دشمن را مختل می کنند. نفوذپذیری بالای امواج UWB در محیط های شهری و پرمناخ، امکان ایجاد اختلال مؤثر در تجهیزات دشمن، از جمله سامانه های راداری و کنترل پهپادها را فراهم می کند. این ویژگی، آنتن های UWB را به یکی از اجزای کلیدی در طراحی اختلال گراهای پیشرفته و افزایش توان عملیاتی جنگ الکترونیک تبدیل کرده است. برای دستیابی به یک الگوی تشعشی تک قطبی و پهنای باند وسیع، یک آنتن وصله میکرو نوار دایره ای با تغذیه CPW با صفحه زمین کامل طراحی شد (شکل ۲) که با توجه به عملکرد خوب در تلفات بازگشتی اما عدم

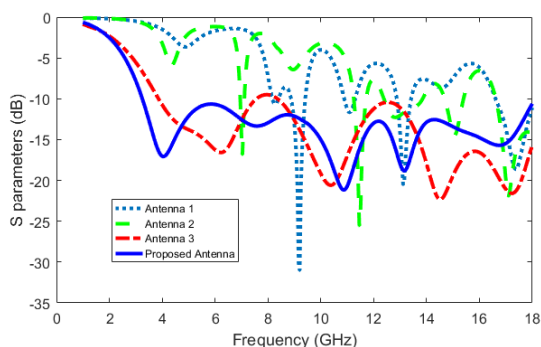
حداکثر توان کمک می‌کنند. این ویژگی، قابلیت مختل کردن سیستم‌های ارتباطی، راداری و کنترلی دشمن را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. علاوه بر این، الگوی تشعشع و بهره بالای آنتن در طرح پیشنهادی نشان‌دهنده توزیع مناسب توان در فضای آزاد است که در عملیات‌های جنگ الکترونیک و نظارتی نقش مؤثری ایفا می‌کند. طراحی و شبیه‌سازی آنتن پیشنهادی با استفاده از HFSS نشان می‌دهد که این طرح به خوبی می‌تواند نیازهای کاربردی برای سیستم‌های مدرن، از جمله اخلاک‌گرهای فرابهن‌بند و دیگر فناوری‌های پیشرفته را برآورده سازد.



شکل ۴- آنتن پیشنهادی با تغذیه CPW با صفحه زمین ناقص

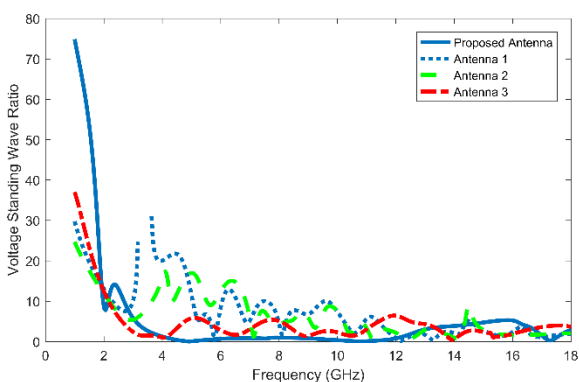
جدول ۱- پارامترهای طراحی آنتن پیشنهادی

پارامتر	اندازه (mm)
L	29.3
W	26.6
LP	25.5
WP	19
LF	10.12
WF	3.058
Lg	3.55



شکل ۵- تلفات بازگشتی آنتن‌های شبیه‌سازی شده

با توجه به بررسی نتایج تلفات بازگشتی موجود در شکل (۵) برای آنتن‌های پیشنهادی اولیه، تغییرات حاصله صفحه زمین در میزان تغییرات پهنای باند و میزان تلفات بازگشتی کاملاً مشهود است و این تغییرات بسیار چشمگیر است. مشاهده می‌شود که در شکل ۶، در فرکانس‌های کاری آنتن $VSWR \leq 2$ بدست آمده است که این نتیجه نشان‌دهنده تطبیق امپدانس خوب آنتن است.



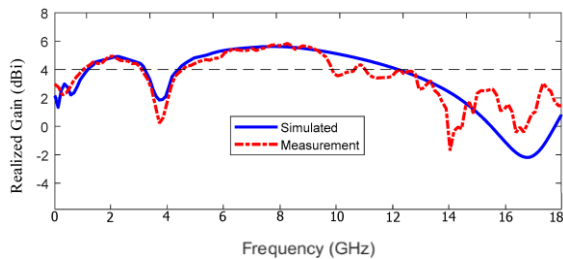
شکل ۶- VSWR آنتن‌های پیشنهادی

با توجه به اندازه‌گیری صورت گرفته به دلیل محدودیت دستگاه اندازه‌گیری و محدودیت اندازه‌گیری تا فرکانس ۱۸ گیگاهرتز اندازه‌گیری صورت گرفته شده در شکل ۷ نشان داده شده که پهنای باند خوبی بدست آمده است. اختلاف نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ممکن است ناشی از اشتباهات ساخت و اتصال

۴- ساخت آنتن و تحلیل نتایج

آنتن‌ها با استفاده از نرم‌افزار HFSS طراحی و شبیه‌سازی شده‌اند که در آن از یک پورت موج برای تحریک آنتن استفاده شده است. در این شبیه‌سازی‌ها، هر آنتن به صورت یک سلول واحد تک‌عنصری مدل‌سازی شد و از نظر تلفات بازگشتی (S_{11})، الگوی تشعشع و بهره مورد ارزیابی قرار گرفت. یکی از پارامترهای کلیدی در این ارزیابی‌ها، پارامترهای S است که به عنوان ماتریس پراکندگی نیز شناخته می‌شوند. تلفات بازگشتی S_{11} معیاری برای اندازه‌گیری عدم تطابق امپدانس بین خط تغذیه و آنتن است. هرچه مقدار S_{11} کمتر باشد، توان کمتری به دلیل عدم تطابق امپدانس بازتاب می‌شود و بخش بیشتری از توان انتقال یافته به آنتن می‌رسد. این موضوع منجر به افزایش کارایی و عملکرد آنتن در کاربردهای مختلف می‌شود. شکل ۵ نشان می‌دهد که طراحی پیشنهادی آنتن توانسته است پهنای باند وسیعی را فراهم کند که برای عملکرد مطلوب آنتن ضروری است. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده در این شکل، تلفات بازگشتی تمامی طرح‌ها را نشان می‌دهد. مقایسه این نتایج تأیید می‌کند که طرح پیشنهادی بهترین عملکرد را در تأمین پهنای باند از ۳ گیگاهرتز تا ۱۴.۸۱ گیگاهرتز ارائه می‌دهد. این پهنای باند گسترده، طراحی را برای کاربردهای متنوعی از جمله جنگ الکترونیک، سیستم‌های اخلاک‌گر فرابهن‌بند و ارتباطات پیشرفته مناسب می‌سازد. در سیستم‌های اخلاک‌گر فرابهن‌بند، تلفات بازگشتی پایین و تطبیق امپدانس مطلوب از اهمیت بالایی برخوردار هستند، زیرا این ویژگی‌ها به افزایش انتقال انرژی به آنتن و ارسال سیگنال‌های اختلال‌زا با

شکل ۱۰ رابطه بین بهره به ازای فرکانس های مختلف را نشان می دهد. در این شکل، خط آبی نتایج شبیه سازی شده و خط قرمز نتایج اندازه گیری شده را نشان می دهد. بدیهی است که بهره در حال نوسان در حدود ۴ dBi است.



شکل ۱۰- مقایسه بهره اندازه گیری و شبیه سازی

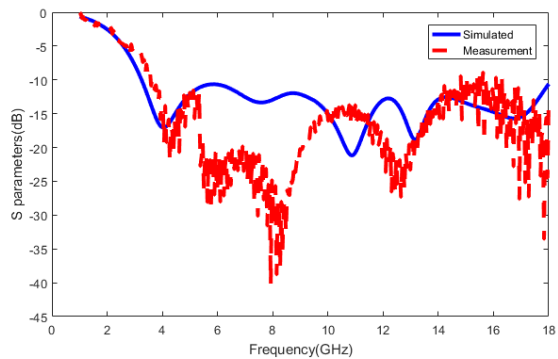
جدول ۲-مقایسه نتایج طرح پیشنهادی با کارهای دیگران

Ref.	Implemented Technique	Antenna Size (mm ³)	Dielectric Constant	Operating Frequency (GHz)
22	Lamp shaped antenna	28×15×1.6	4.4	2.7-14.0
23	Loading quarter wavelength resonating strip at the center of the patch	50 × 24 × 1.6	4.4	3.1-11.4
16	Loading quarter wavelength resonating strip at the center of the patch	42 × 24 × 1.6	2.4	3.1-12.0
17	Loading TL-MTM within UWB antenna	38.5 × 46.4 × 1.6	4.4	3.1-10.6
18	Circular slots	30 × 26 × 1.6	4.4	2.5-11
This work		29.3 × 26.3 × 1.6	4.4	3-14.81

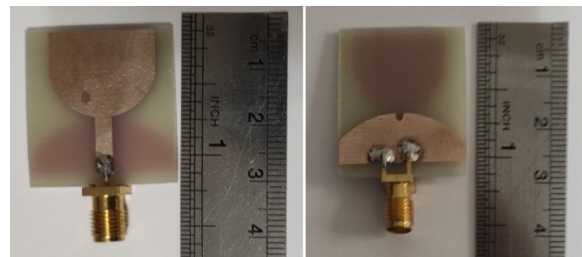
۵- نتیجه گیری

یک آنتن فرابهن باند با طراحی ساده، شامل پیچ مسطح و صفحه زمین ناقص، برای کاربردهای ارتباطات بی سیم، شناسایی افراد و دیگر استفاده های فناوری فرابهن باند طراحی و ساخته شده است. این آنتن در محدوده فرکانسی گسترده ۳/۱ تا ۱۰/۶ گیگاهرتز عملکرد دارد و ویژگی های فنی آن، آن را به یک گزینه مناسب برای کاربردهای پیشرفته تبدیل کرده است. نتایج حاصل از شبیه سازی و ساخت این آنتن، در شکل های ۵ تا ۹ ارائه شده است که نشان دهنده عملکرد مطلوب آن در پارامترهای کلیدی مانند تلفات بازگشتی و الگوی تشعشع و بهره

نامناسب یا لحیم شده اتصال SMA باشد. تصویر آنتن پیشنهادی ساخته شده در شکل ۸ نشان داده شده است.

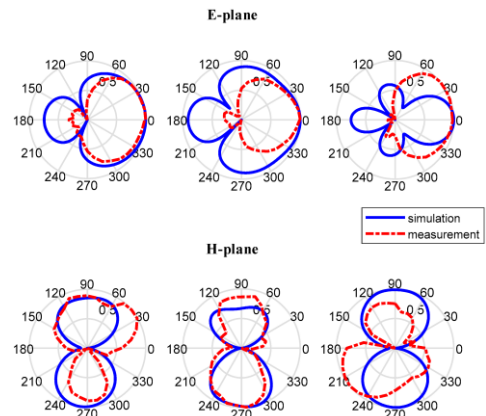


شکل ۷- پارامتر S11 اندازه گیری شده



شکل ۸- آنتن ساخته شده پیشنهادی

الگوهای تشعشع اندازه گیری و شبیه سازی شده در نمودارها و تصاویر زیر برای سه فرکانس رزونانس مختلف ۳.۴ گیگاهرتز، ۱۰.۸۶ گیگاهرتز و ۱۳.۱۸ گیگاهرتز که در شکل به ترتیب از چپ به راست ترسیم شده است. الگوهای تشعشعی در شکل ۹ نشان داده شده است که خطوط قرمز نتایج اندازه گیری و خطوط آبی نتایج شبیه سازی می باشد. با اندازه گیری میدان دور، آنتن UWB ساخته شده جهت دار و جهت اصلی تابش به سمت سوژه یا شخص است و لوب های کلیدی الگوهای تابش کاملاً به سمت عقب در کل باند فرکانس هستند. الگوی تابش پایدار آنتن UWB تضمین می کند که سیگنال های کناری و پشتی در جهت عقب چگالی نويز کم دارند.



شکل ۹- نتایج اندازه گیری شده و شبیه سازی شده E-

H-Plane و Plane

100, no. 7, pp. 2169–2180, 2012, doi: 10.1109/JPROC.2012.2183829.

- [13] F. A. Lalitha Bhavani Konkyana and B. Alapati Sudhakar, "A review on microstrip antennas with defected ground structure techniques for ultra-wideband applications," Proc. 2019 IEEE Int. Conf. Commun. Signal Process. ICCSP 2019, pp. 930–934, 2019, doi: 10.1109/ICCSP.2019.8697941.
- [14] A. Lopes, D. F. N. Osorio, H. Silva, and H. Gamboa, "Equivalent Pipeline Processing for IR-UWB and FMCW Radar Comparison in Vital Signs Monitoring Applications," IEEE Sens. J., vol. 22, no. 12, pp. 12028–12035, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3173218.
- [15] S. M. M. Islam, E. Yavari, A. Rahman, V. M. Lubecke, and O. Boric-Lubecke, "Separation of Respiratory Signatures for Multiple Subjects Using Independent Component Analysis with the JADE Algorithm," Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS, vol. 2018-July, pp. 1234–1237, 2018, doi: 10.1109/EMBC.2018.8512583.
- [16] B. Walid and J. Ma, "Accuracy Assessment and Improvement of FMCW Radar-based Vital Signs Monitoring under Practical Scenarios," Proc. 2022 IEEE Int. Conf. Dependable, Auton. Secur. Comput. Int. Conf. Pervasive Intell. Comput. Int. Conf. Cloud Big Data Comput. Int. Conf. Cy, 2022, doi: 10.1109/DASC/PiCom/CBDCCom/Cy55231.2022.9927992.
- [17] Y. Rong and D. W. Bliss, "Harmonics-based multiple heartbeat detection at equal distance using UWB impulse radar," 2018 IEEE Radar Conf. RadarConf 2018, pp. 1101–1105, 2018, doi: 10.1109/RADAR.2018.8378715.
- [18] J. Xiong, H. Hong, H. Zhang, N. Wang, H. Chu, and X. Zhu, "Multitarget respiration detection with adaptive digital beamforming technique based on simo radar," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2020, vol. 68, no. 11, pp. 4814–4824, doi: 10.1109/TMTT.2020.3020082.
- [19] E. Cardillo and A. Caddemi, "A review on biomedical mimo radars for vital sign detection and human localization," Electron., vol. 9, no. 9, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/electronics9091497.
- [20] X. Shang, J. Liu, and J. Li, "Multiple Object Localization and Vital Sign Monitoring Using IR-UWB MIMO Radar," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 56, no. 6, pp. 4437–4450, 2020, doi: 10.1109/TAES.2020.2990817.
- [21] S. Yadav, A. K. Gautam, and B. K. Kanaujia, "Design of dual band-notched lamp-shaped antenna with UWB characteristics," Int. J. Microw. Wirel. Technol., vol. 9, no. 2, pp. 395–402, Mar. 2017, doi: 10.1017/S1759078715001609.
- [22] T. Mandal and S. Das, "Design of a microstrip fed printed monopole antenna for bluetooth and UWB applications with WLAN notch band characteristics," Int. J. RF Microw. Comput. Eng., vol. 25, no. 1, pp. 66–74, Jan. 2015, doi: 10.1002/mmce.20824.
- [23] S. K. Mishra, R. K. Gupta, A. Vaidya, and J. Mukherjee, "A compact dual-band fork-shaped monopole antenna for bluetooth and UWB applications," IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 10, pp. 627–630, Jun. 2011, doi: 10.1109/LAWP.2011.2159572.
- [24] Roshani, S., I Yahya, S., Ghadi, Y. Y., Roshani, S., Parandin, F., & Yaghouti, B. D. (2023). Size reduction and harmonics suppression in microwave power dividers: A comprehensive review. aro-the scientific journal of koya university, 11(2), 122-136.
- [25] A. K. Gautam, S. Yadav, and B. K. Kanaujia, "A CPW-fed compact UWB microstrip antenna," IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 12, pp. 151–154, Jan. 2013.

می‌باشد. آنتن پیشنهادی با توجه به بهره بالا و محدوده فرکانسی وسیع خود، قابلیت استفاده در کاربردهای متنوعی را داراست. این طراحی می‌تواند در حوزه‌های مختلفی مانند ارتباطات بی‌سیم پرسرعت، رادارهای نظارتی و سیستم‌های شناسایی به کار گرفته شود. همچنین، این آنتن به دلیل تطبیق‌پذیری و پهنای باند وسیع، گزینه‌ای ایده‌آل برای استفاده در سیستم‌های اخلاک‌گر فرایه‌ن باند است.

۶- منابع

- [1] B. D. Yaghouti and J. Yavandhasani, "A high linearity low power low-noise amplifier designed for ultra-wide-band receivers," Analog Integr. Circuits Signal Process., vol. 107, no. 1, pp. 109–120, 2021, doi: 10.1007/s10470-020-01783-x
- [2] K. Wang, Z. Zeng, and J. Sun, "Through-Wall Detection of the Moving Paths and Vital Signs of Human Beings," IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., vol. 16, no. 5, pp. 717–721, 2019, doi: 10.1109/LGRS.2018.2881311.
- [3] بیات، میثم، فتحی، مهرداد، & هوشمند، رضا. (۱۴۰۱). ارزیابی یک الگوریتم بهبود یافته تطبیقی به منظور حذف اثر اخلاک‌گر نقطه‌ای در گیرنده رادارهای پالسی. نشریه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی، ۳(۹)، ۸۱–۹۳. doi: 10.22034/pitc.2022.1268241.1135
- [4] درستی‌کاریاقتی، بهنام، & یانود حسنی، جواد. (۱۴۰۱). تحلیل اثر حفاظت الکترواستاتیکی بر عملکرد گیرنده فرایه‌ن باند قابل استفاده برای مخابرات برد کوتاه پلیس هوشمند. نشریه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی، ۳(۱۰)، ۱۰۵–۱۱۵. doi: 10.22034/pitc.2022.208193.1052
- [5] خلیل پور، جعفر. (۱۴۰۱). آنتن میکرواستریپ پترن مخروطی با ابعاد بهینه بر پایه فرامواد. نشریه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی، ۳(۱۲)، ۷۰–۷۸. doi: 10.22034/pitc.2023.1272672.1191
- [6] ورامینی، گوهر، & ناصر مقدسی، محمد. (۱۴۰۱). ساخت و کوچک‌سازی آنتن مایکرواستریپ فرایه‌ن باند بالا برای سیستم‌های رادویی. نشریه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی، ۳(۱۲)، ۸۰–۹۱. doi: 10.22034/pitc.2023.1273246.1197
- [7] اسکویی، حمید، خوشچشم، مرتضی، & محمدی شیرکلائی، مرتضی. (۱۴۰۱). طراحی و ساخت آنتن حلزونی بهین باند با حذف پلاریزاسیون دایروی چپگرد با بالن مایکرواستریپ باریک شونده ۵۰ اهم. نشریه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی، ۳(۱۱)، ۶۹–۶۹. doi: 10.22034/pitc.2022.1269939.1163۷۶
- [8] Z. Katbay, S. Sadek, M. Le Roy, A. Perennec, and R. Lababidi, "From narrow-band to ultra-wide-band microwave sensors in direct skin contact for breast cancer detection," Analog Integr. Circuits Signal Process., vol. 96, no. 2, pp. 221–234, 2018, doi: 10.1007/s10470-018-1114-8.
- [9] B. D. Yaghouti and J. Yavandhasani, "A high linearity low power low-noise amplifier designed for ultra-wide-band receivers," Analog Integr. Circuits Signal Process., vol. 107, no. 1, pp. 109–120, 2021, doi: 10.1007/s10470-020-01783-x.
- [10] Z. Zhengliang, Y. Degui, Z. Junchao, and T. Feng, "Dataset of human motion status using IR-UWB through-wall radar," J. Syst. Eng. Electron., vol. 32, no. 5, pp. 1083–1096, 2021, doi: 10.23919/JSEE.2021.000093.
- [11] M. Elhabchi, M. N. Srfi, and R. Touahni, "A modified hexagonal UWB antenna loaded with multiple l-shaped stubs for GPS band integration and like y-shaped slot for single band rejection," 2019 Int. Conf. Wirel. Technol. Embed. Intell. Syst. WITS 2019, 2019, doi: 10.1109/WITS.2019.8723735.
- [12] K. F. Lee and K. F. Tong, "Microstrip patch antennas basic characteristics and some recent advances," Proc. IEEE, vol.