

Vol. 12/ No. 45/Autumn 2022

Research Article

Multi-Band Compact MIMO Antenna for New Generations of Mobile Applications & IoT

Tohid Aribi, Assistant Professor ^{1,4}  | Tohid Sedghi, Assistant Professor ^{2,4}  | Reza Khaje-Mohammadlou, Assistant Professor ^{3,4} 

¹Department of Electrical Engineering, Miandoab Branch, Islamic Azad University, Miandoab, Iran, tohidaribi@gmail.com & MT.Aribi@iau.ac.ir

²Department of Electrical Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran, t.sedghi@iaurmia.ac.ir & Tohid.sedghi@iau.ac.ir

³Department of Electrical Engineering, Miandoab Branch, Islamic Azad University, Miandoab, Iran, reza.mohammadlou63@gmail.com

⁴Microwave and antenna research center, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

Correspondence

Tohid Sedghi, Assistant Professor of Electrical Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran, t.sedghi@iaurmia.ac.ir & Tohid.sedghi@iau.ac.ir

Received: 17 February 2022

Revised: 27 February 2022

Accepted: 30 April 2022

Abstract

In this paper, the aim is to cover LTE, band by presenting a new design of multi-input/multi-output radiators an acceptable radiation pattern and gain. The design process in this research is a bipolar radiator with a physical size of $1.6 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$, when the port number one is excited, the frequency bands are 0.78-1.07, 2.01-2.67, 3.74-4.7.0.77-7.14, 9.38-10.10 GHz for the second port. Based on the results, the structure has good isolation between the two ports. By applying a spiral slit in the span of one and one inverted slit and creating a diagonal state in the corners of the element in the second span of circular polarization in the bands of 0.59-1.01, GHz in the first port in the left direction and 0.58-1.45 GHz is obtained in the second port in a right-handed. This scheme with its characteristics is good candidate for mobile applications & IoT.

Keywords: Antenna, Circular polarization, MIMO, IoT

Highlights

- Multi-input, multi-output Compact antenna
- Ability to achieve circular polarization
- Access to IoT standard

Citation: T. aribi, T. Sedghi, and R. Khajeh Mohammad Lou, "Multi-band compact MIMO Antenna for new generations of mobile applications & IoT," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol. 12, no. 45, pp. 19–30, 2022, [doi:10.30495/jce.2022.690858](https://doi.org/10.30495/jce.2022.690858), (in Persian).

مقاله پژوهشی

آنتن فشرده چند بانده چند ورودی چند خروجی برای کاربردهای نسل های جدید مخابرات بی سیم و اینترنت اشیا

میرتوحید اریبی^{۱*} | توحید صدقی^{۲*} | رضا خواجه محمدلو^{۳*} ^{id}

چکیده:

در این مقاله هدف بر این است که با ارائه طرحی نوینی از تشعشع کننده-های چندورودی/چند خروجی باند LTE را پوشش داده و الگوی تشعشعی و بهره قابل قبولی را بدست آوریم. فرایند طراحی در این پژوهش یک تشعشع کننده دوقطبی با سائز فیزیکی $۱/۶ \times ۴ \times ۴$ میلیمتر مکعب بوده که موقع تغذیه دهانه شماره یک، باند های فرکانسی $۰/۷۸-۱/۰۷$ ، $۲/۶۷-۲/۰۱$ ، $۳/۴-۷۴/۷۰$ ، $۵۳/۱۴-۶/۱۰$ گیگاهرتز را پوشش داده و برای دهانه شماره دو باندهای فرکانسی $۰/۷۷-۷/۱۴$ و $۹/۳۸-۱۰/۱۰$ گیگاهرتز را بدست آوریم. بر مبنای نتایج بدست آمده ساختار موردنظر از تمییز مناسبی بین دو دهانه برخوردار است. با اعمال یک شکاف مارپیچی در دهانه یک و یک شکاف معکوس و ایجاد حالت مورب در گوشه های المان در دهانه دوم قطبش دایروی در باندهای $۰/۵۹-۱/۰۱$ گیگاهرتز در دهانه اول به صورت چپگرد و $۰/۵۸-۱/۴۵$ گیگاهرتز در دهانه دوم به صورت راستگرد به دست می آید.

کلید واژه ها: آنتن، قطبی شدگی دایروی، چند ورودی چند خروجی، اینترنت اشیا

^۱ گروه برق، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران
tohidaribi@gmail.com & MT.Aribi@iau.ac.ir

^۲ گروه برق، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
Tohid.Sedghi@iau.ac.ir & Sedghi.tohid@gmail.com

^۳ گروه برق، واحد میاندوآب، دانشگاه آزاد اسلامی، میاندوآب، ایران
reza.mohammadlou63@gmail.com

^۴ مرکز تحقیقات میکروویو و آنتن، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

نویسنده مسئول

* توحید صدقی، استادیار، گروه مهندسی برق، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
مرکز تحقیقات میکروویو و آنتن، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
Tohid.Sedghi@iau.ac.ir & Sedghi.tohid@gmail.com

تاریخ دریافت: ۲۸ بهمن ۱۴۰۰

تاریخ بازنگری: ۸ اسفند ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱

<https://doi.org/10.30495/jce.2022.690858>

۱- مقدمه

با توسعه تکنولوژی بی سیم، سیستم های ناوبری ماهواره ای، شبکه های بی سیم محلی، و سیستم های فراپهن باند و اینترنت اشیا ترکیبات متعددی از آنها بوجود آمده است [۱-۳]. بنابراین یک تشعشع کننده ریزنوار شکاف دار مفروض است که با خواص تشعشعی ثابت و پایدار که دارای پهنای باند وسیع مورد نظر باشد می تواند سیستم های مخابراتی بی سیم چندگانه را تحت پوشش قرار دهد. از سوی دیگر با پیشرفت تکنولوژی اینترنت اشیا و نیاز به ساختار تشعشعی مناسب برای کاربردهای صنعتی بیشتر مورد توجه و نیاز است. سیستم های تشعشعی معرفی شده برای این کاربردها علاوه بر داشتن سائز فیزیکی کوچک، باید توانایی عملکرد مناسب در استانداردهای معرفی شده توسط انجمن IEEE را از بابت پهنای باند فرکانسی و بهره را نیز داشته باشند. امروزه قطبش دایروی به دلیل توانایی حذف محو شوندهای چند مسیری و به تبع آن افزایش چشمگیر کیفیت اتصال به عنوان یک گزینه مناسب در اتصالات بیسیم شناخته می شود [۳-۷]. ویژگی های دیگری که این نوع قطبش را محبوب می کند عبارتند از: تحمل بالای آن در شرایط بد آب و هوایی و نداشتن حساسیت به جهت گیری سیگنال بین فرستنده و گیرنده. در این میان نیز، طراحی تشعشع کننده هایی با این مشخصات و همچنین با ابعادی کوچکتر و ساختاری مسطح که قابلیت مجتمع

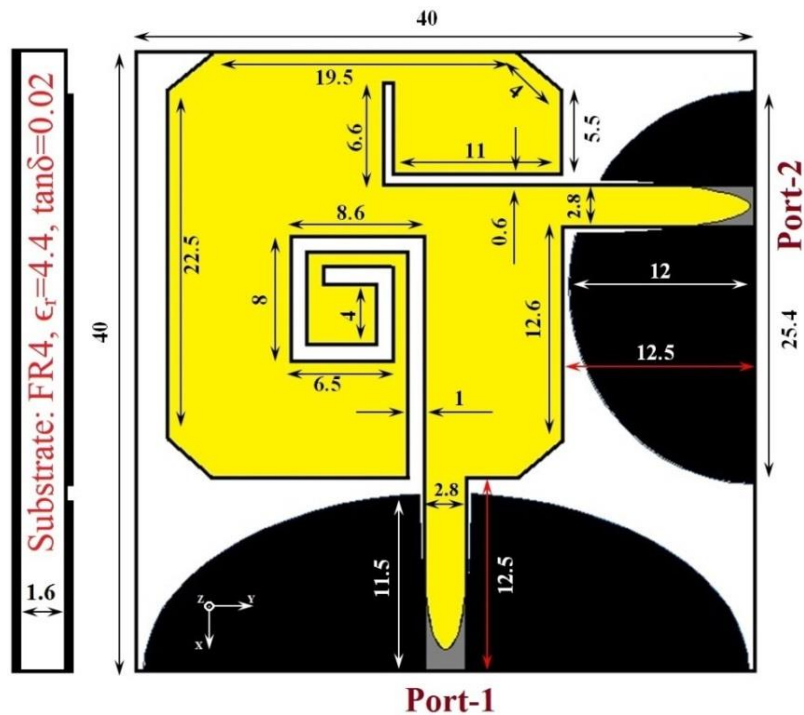
سازی با عناصر اکتیو را داشته باشند، بسیار مورد نیاز قرار گرفته است [۸-۱۱]. آنتن‌های چاپی با انواع روشهای تغذیه با ساختارهای متنوع و کارکردهای متفاوت بهترین انتخاب برای رفع نیازهای سیستم‌های فرایه‌پهن باند هستند. به این ترتیب طراحی یک آنتن چندورودی/چند خروجی که بتواند چندین باند فرکانسی را با تشعشع قابل قبول پوشش دهد به عنوان یک چالش مهم به شمار می‌رود [۱۵-۱۷]. در این مقاله سعی شده است که با طراحی آنتن چند ورودی و چند خروجی، باند‌های کاربردی را پوشش دهیم. این آنتن دو ورودی/دو خروجی بوده و قسمتی از پوشش باند فرکانسی آنتن به صورت قطبش دایروی می‌باشد. در این پژوهش، باند‌های فرکانسی کاربردی به‌طور همزمان و قابل قبولی توسط آنتن اشاره شده تحت پوشش قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از WLAN(2400 تا ۲۴۸۴ مگا هرتز) 2500 WiMAX (IEEE 802.16e) تا ۲۶۰۰ مگاهرتز، اینترنت اشیا (IOT) 2400 مگاهرتز، WLAN(5150 تا ۵۸۲۵ مگا هرتز) که استاندارد IEEE802.11ac نامگذاری می‌گردد. برای گسترش ارتباطات بین یک فرستنده و گیرنده بدون مشکل عدم تطابق قطبش بین آن‌ها، پلاریزاسیون دایروی به دلیل فراهم ساختن تحرک بهتر و عدم تضعیف در برابر تغییرات آب و هوایی [۱۸]، بهترین و محبوب‌ترین انتخاب در مخابرات بی‌سیم برای افزایش کارایی سیستم می‌باشند. از جهت دیگر با توجه به اینکه توسعه و رشد فناوری اینترنت مبتنی بر اشیا در کاربردهای امروزی و صنعت ارتباطات بی‌سیم، شبیه‌سازی، طراحی و ساخت مازول‌های با ابعاد کم و تشعشعی پایین و جذب کم در بافت توده‌های انسان و حیوان، به‌منظور عملکرد در این حوزه مورد توجه طراحان قرار گرفته است. هدف اصلی در مورد طراحی و توسعه و ساخت سیستم چند باند داشتن ابعاد کوچک و هزینه ساخت بسیار پایین است. بنابراین کوچک‌سازی، مهمترین چالش طراح برای دسترسی به سیستم-های مخابرات بی‌سیم و نسل چهارم است. در آنتن‌های چند باند چندورودی چندخروجی انتظار می‌رود که پهنای باند امیدانسی و نسبت محوری موثر بهره مطلوب و الگوی تشعشعی مناسب رادر باند‌های فرکانسی کاربردی داشته باشد. در ادامه به بررسی چند نمونه از روشهای تولید قطبش دایروی اشاره می‌شود: (۱) آنتن شکاری مربعی با تغذیه موجبر همصفحه، (۲) آنتن اسلات مربعی وسیع با تغذیه موجبر همصفحه نامتقارن. (۳) آنتن قطبش دایروی شکافدار به فرم حلزونی و در المان تغذیه، اشاره کرد. از سوی دیگر آنتن‌های چندورودی/چندخروجی به دلیل ویژگیهایی مانند، خاصیت چند باندی در محیط‌هایی با کاربردهای باند‌های مختلف بیشتر مورد توجه مهندسی طراحی آنتن قرار گرفته اند [۱۹]. طرح‌های مختلفی برای تحقق آنتن‌های چندورودی/چند خروجی ارائه شده‌اند که عبارتند از:

- (۱) آنتن چند ورودی/چند خروجی کوچک چاپی برای کاربردهای پهن باند
- (۲) بهبود ایزولاسیون با استفاده از ساختار زمین ناقص [۲۰]
- (۳) آنتن چند ورودی/چند خروجی با تنوع نوع پترن و قطبش [۲۱-۲۲].

۲- ساختار فیزیکی تشعشع کننده

تشعشع کننده پیشنهادی در این مقاله یک تشعشع کننده تک قطبی دو دهانه است که با استفاده از تکنولوژی چاپ روی فیبر مدار چاپی محقق شده است. در این تشعشع کننده از یک فیبر مدار چاپی از جنس FR4 با ضریب گذردهی ۴/۴ و تانژانت تلفات ۰/۰۲ به عنوان زیر لایه استفاده شده است. ضخامت این زیر لایه ۱/۶ میلی‌متر بوده و کل سائز زیر لایه ۴۰×۴۰ میلی‌متر مربع است. شکل ۱ آرایش تشعشع کننده پیشنهادی در این مقاله را نشان می‌دهد. همچنین یک مبدل جهت اتصال تشعشع کننده با موجبر به انتهای آن وصل شده است. این تشعشع کننده از یک المان مستطیلی شکل که گوشه‌های آن جهت چرخش بهتر جریان‌های سطحی پخکاری شده است، دو زمین نیم بیضوی با یک برش نیم بیضوی جهت تطابق امیدانسی بهتر برای هر دهانه تشکیل شده است. هر دو دهانه توسط یک خط ریزنوار با عرض ۲/۸ میلی‌متر جهت به دست آوردن تطابق امیدانسی ۵۰ اهمی تغذیه می‌شوند. همچنین یک برش مارپیچی برای دهانه اول و یک شکاف به شکل L معکوس برای دهانه دوم وظیفه ایجاد قطبش دایروی را به عهده دارند. در این طراحی سعی شده است که با مجزا کردن صفحه زمین برای هر دهانه و قراردادن خطوط تغذیه به صورت عمود بر هم ایزولاسیون بین دهانه‌ها مهیا شود. برای به دست آوردن مقادیر بهینه و ابعاد مناسب پارامترهای تشعشع کننده، توسط نرم افزار HFSS شبیه‌سازی‌های لازم به عمل آمده و پس از انجام تحلیل پارامتری برای تشعشع کننده،

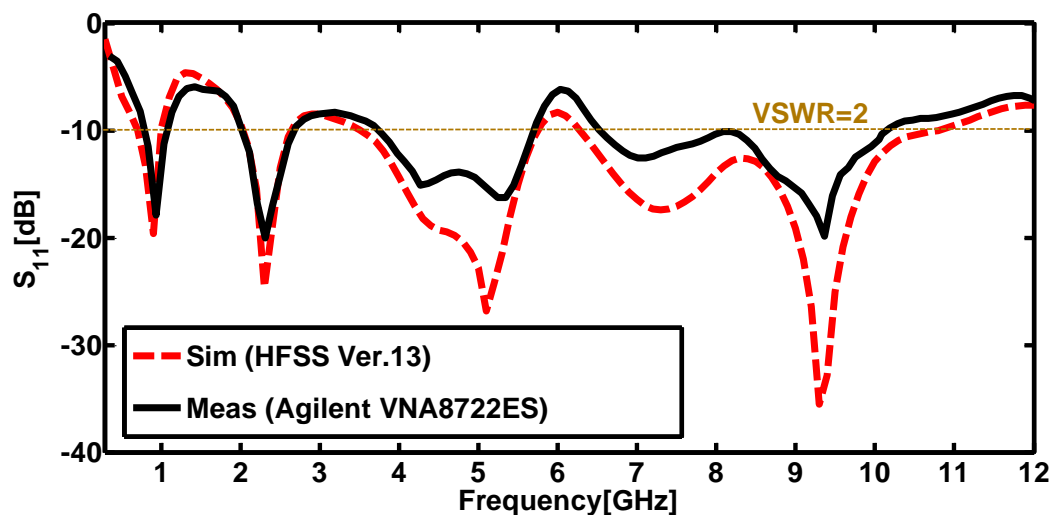
مقادیر نهایی به دست آمده اند. شکل ۱ آرایش تشعشع کننده پیشنهادی را نشان می‌دهد. تمام سایزها و ابعاد در این شکل مشخص شده و مقادیر در واحد میلی‌متر هستند.



شکل ۱: آرایش تشعشع کننده پیشنهادی (ابعاد به میلی‌متر)

۳- نتایج پارامترهای S تشعشع کننده پیشنهادی

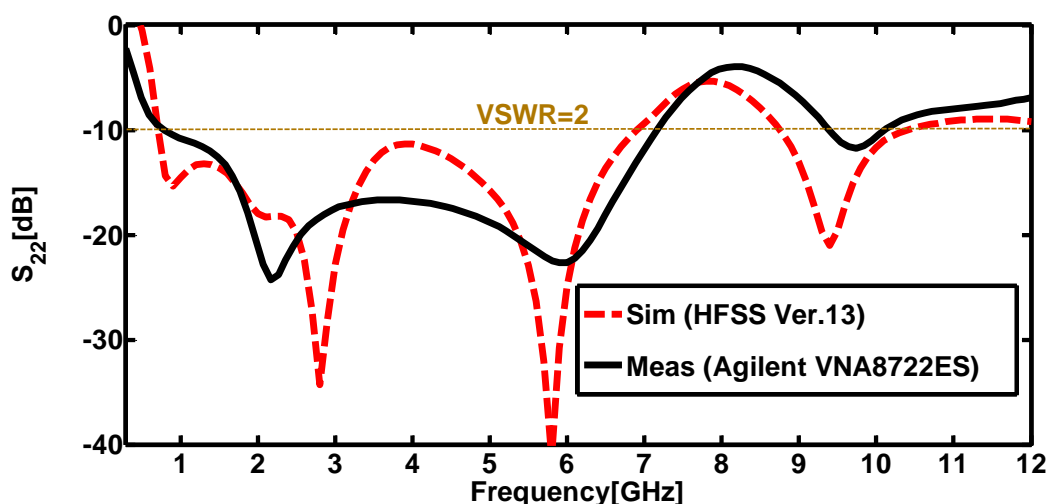
شکل ۲ منحنی افت برگشتی برای دهانه شماره یک را نشان می‌دهد.



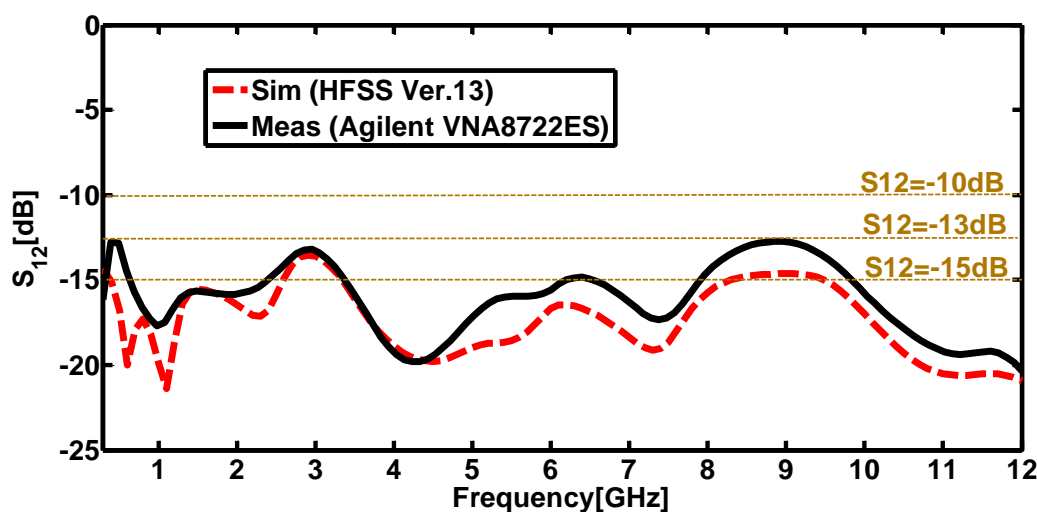
شکل ۲: منحنی شبیه‌سازی شده و سائزگیری شده افت برگشتی برای دهانه یک (S11)

طبق نتایج اندازه‌گیری شده در مرکز تحقیقات مخابرات ایران توسط دستگاه تحلیل گر شبکه (Agilent VNA8722ES)، تشعشع کننده پیشنهادی با تحریک دهانه یک می‌تواند باندهای فرکانسی ۰/۷۸-۱/۰۷، ۲/۰۱-۲/۶۷، ۳/۷۴-۴/۷۰، ۶/۵۳-۱۰/۱۴ گیگاهرتز را با معیار $S_{11} \leq -10\text{dB}$ پوشش دهد. به این ترتیب تشعشع کننده پیشنهادی با تحریک دهانه یک خود می‌تواند باندهای فرکانسی LTE (800, 850, 900, 2100, 2300, 2600), Bluetooth, WiMAX ... را پوشش دهد. شکل ۳ منحنی افت

برگشتی برای دهانه شماره دو را نشان می‌دهد. طبق نتایج اندازه‌گیری شده، تشعشع کننده پیشنهادی با تحریک دهانه دو می‌تواند باند های فرکانسی ۰/۷۷-۷/۱۴ و ۹/۳۸-۱۰/۱۰ گیگاهرتز را با معیار $S_{22} \leq -10\text{dB}$ پوشش دهد. به این ترتیب تشعشع کننده پیشنهادی با تحریک دهانه دو خود می‌تواند باندهای فرکانسی LTE (800, 850, 900, 1700, 1800, 2100, 2300, 2600), Bluetooth, WiMAX, WLAN، مقدار از X-Band و ... را پوشش دهد.



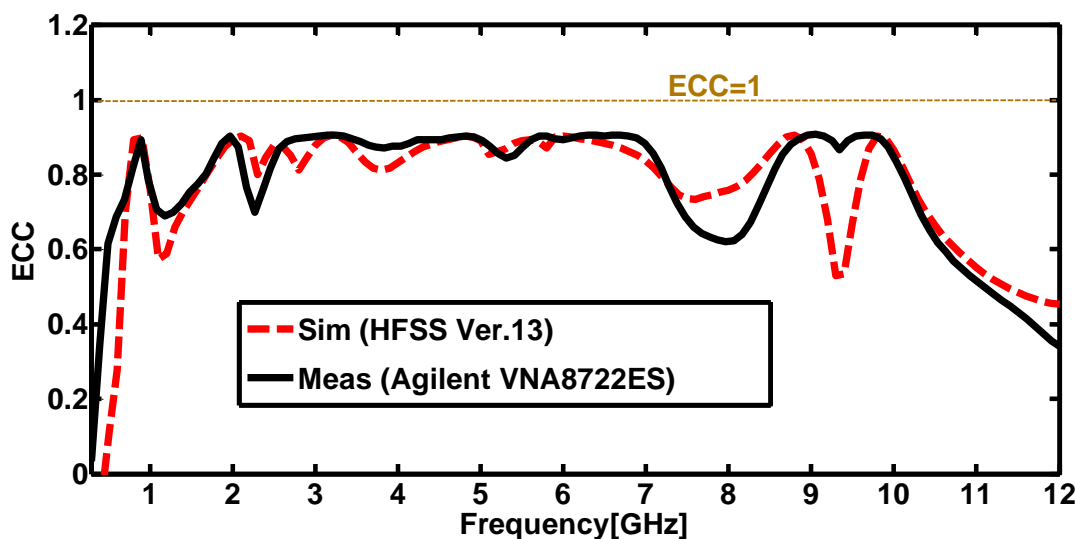
شکل ۳: منحنی شبیه‌سازی شده و سایزگیری شده افت برگشتی برای دهانه دو (S_{22})



شکل ۴: منحنی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده تزویج متقابل بین دو دهانه

شکل ۴ تزویج متقابل بین دو دهانه یک و دو (S_{12}) را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار S_{12} ، ایزولاسیون بین دو دهانه در کل باند فرکانسی زیر ۱۳- دسی بل بوده و در باند فرکانسی LTE ایزولاسیون بین دهانه‌ها به مقدار زیر ۱۴- دسیبل می‌رسد، که برای تشعشع کننده‌های ریزنوار در این باند فرکانسی مناسب بوده و احتیاجات تشعشع کننده MIMO را فراهم می‌کند [۱۹]. امروزه برای نشان داده مقدار ایزولاسیون بین دهانه‌های یک تشعشع کننده چند ورودی/چند خروجی از پارامتری به نام ECC استفاده میشود. پارامتر ECC یک پارامتر مهم در ارزیابی همبستگی سیگنال‌های یک تشعشع کننده چند ورودی/چند خروجی به شمار می‌رود. بر اساس تعریف استاندارد ECC، این پارامتر با توجه به اطلاعات به دست آمده از دامنه، فاز و قطبش پترن تشعشعی سه بعدی تشعشع کننده چند ورودی/چند خروجی و یک سری محاسبات پیچیده به دست می‌آید. با این حال، به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز، زمانبر بوده و با توجه به استفاده از تجهیزات تخصصی، که ممکن است در دسترس هر محقق نباشد بسیار گران قیمت است. برای حل این مشکل، بر اساس رابطه بین پترن تشعشعی تشعشع کننده و پارامترهای پراکندگی،

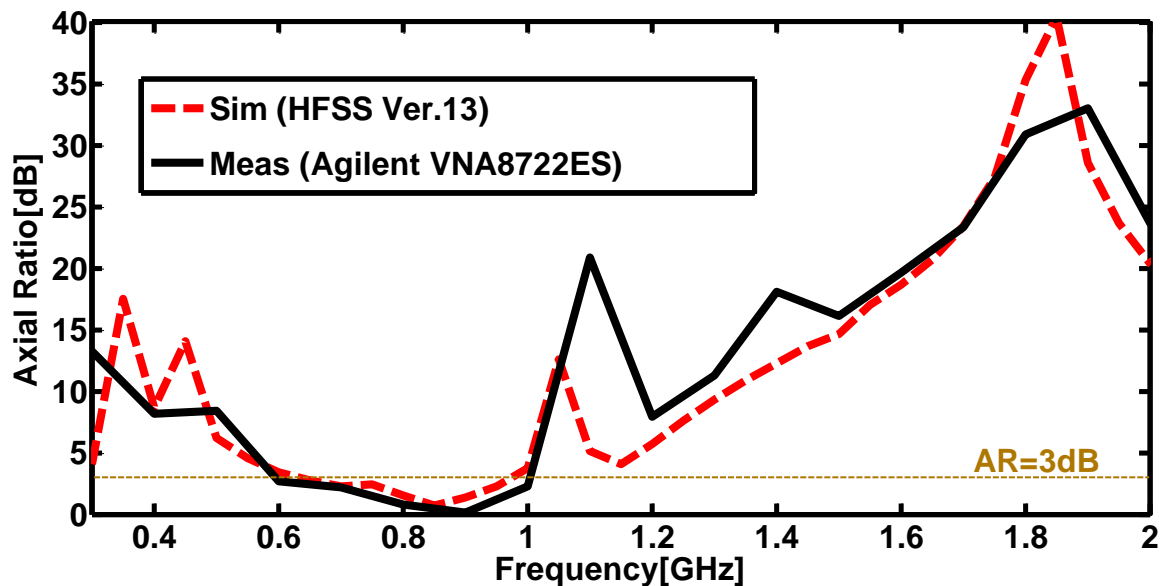
محققین زیادی سعی در ساده کردن فرآیند محاسبه ECC با استفاده از پارامترهای پراکندگی، به جای پترن تشعشی سه بعدی کرده اند. با در دست داشتن اطلاعات پارامترهای پراکندگی تشعشع کننده، در دو حالت شبیه سازی و تست در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، $ECC=0$ نشان دهنده ایزولاسیون کامل بین دهانه‌ها بوده و $ECC=1$ همبستگی کامل بین این دو دهانه را نشان می‌دهد. لذا مقادیر زیر یک برای این منحنی در باند فرکانسی تشعشع کننده مطلوب است.



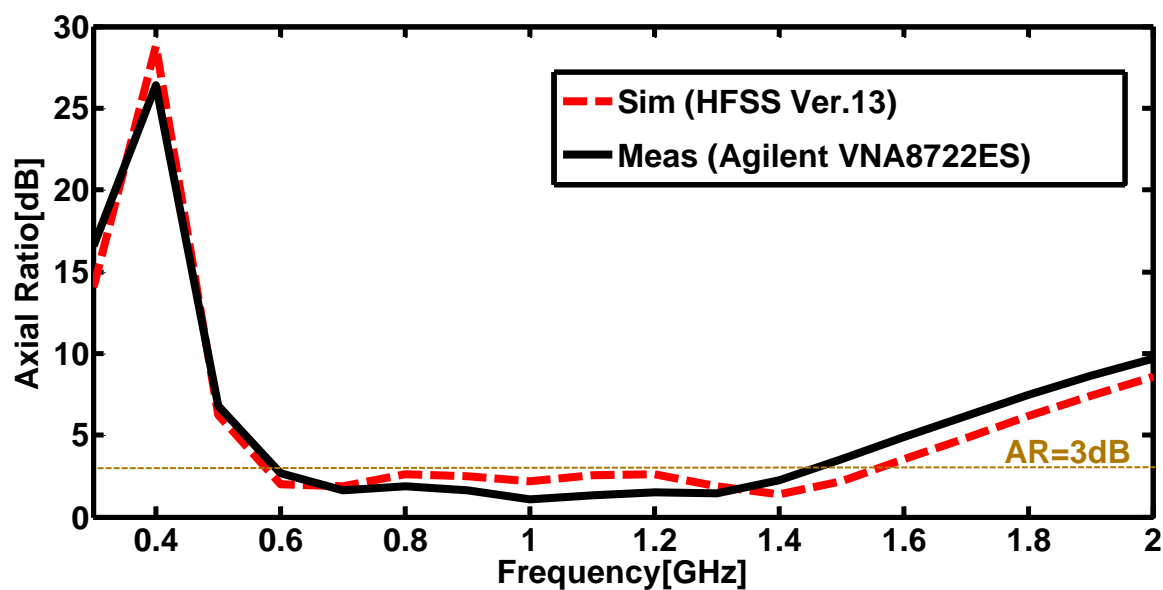
شکل ۵: منحنی شبیه‌سازی شده و سائز گیری شده ECC

تشعشع کننده ارائه شده در این مقاله دارای ساختاری تک لایه بوده و متشکل از دو دهانه مجزا از هم، یک المان مشترک و یک شکاف مارپیچی و یک شکاف L شکل (معکوس) که توانایی تولید مدهای مشدد برای تحریک دو جریان E متعامد را دارا می‌باشند، تشکیل شده است. با به وجود آمدن این دو مولفه جریان E متعامد، شرایط لازم جهت شکل‌گیری قطبش دایروی به وجود می‌آید. همانطور که اشاره شد، در دهانه یک تشعشع کننده پیشنهادی، با اعمال یک شکاف مارپیچی در انتهای خط تغذیه این دهانه امکان چرخش جریانهای سطحی در لبه‌های کناری این شکاف به وجود آمده و قطبش دایروی در قسمتی از باند فرکانسی دهانه یک شکل می‌گیرد. شکل ۶ منحنی‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده پهنای باند قطبش دایروی تشعشع کننده پیشنهادی را با مقادیر بهینه برای دهانه شماره یک نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آزمایشگاهی، پهنای باند قطبش دایروی تشعشع کننده پیشنهادی از ۰/۵۹ گیگاهرتز تا ۱/۰۱ گیگاهرتز است، که این قطبش دایروی با قسمتی از باند فرکانسی دهانه یک (۱/۰۱-۰/۷۸ گیگاهرتز) هم پوشانی داشته و می‌توان گفت که دهانه یک تشعشع کننده پیشنهادی باند فرکانسی LTE (800, 850, 900) را به صورت قطبش دایروی پوشش می‌دهد. همچنین در دهانه دو تشعشع کننده پیشنهادی با اعمال یک شکاف به شکل L معکوس در انتهای خط تغذیه و موربکاری در گوشه‌های المان تشعشی، قطبش دایروی در این دهانه نیز به دست آمده است. با توجه به نتایج آزمایشگاهی، پهنای باند قطبش دایروی تشعشع کننده پیشنهادی در دهانه دو از ۰/۵۸ گیگاهرتز تا ۱/۴۵ گیگاهرتز است، که این قطبش دایروی با قسمتی از باند فرکانسی دهانه دو (۱/۴۵-۰/۷۷ گیگاهرتز) هم پوشانی داشته و در دهانه دو نیز می‌توان گفت که تشعشع کننده پیشنهادی باند فرکانسی LTE (800, 850, 900) را به صورت قطبش دایروی پوشش می‌دهد. شکل ۷ منحنی شبیه‌سازی و تست مربوط به پهنای باند قطبش دایروی تشعشع کننده پیشنهادی در دهانه دو را نشان می‌دهد. البته باید در نظر داشته باشیم که پارامتر مهم نسبت محوری در راستای عمود بر سطح تشعشع کننده (پهن باند) مد نظر قرار گرفته است به دلیل اینکه امتداد اصلی در ارسال یا دریافت سیگنال برای این نوع از تشعشع کننده‌ها است. برای درک بهتری از نحوه تولید قطبش دایروی، توزیع جریانهای سطحی تشعشع کننده را در دو فرکانس ۸۵۰ مگاهرتز و ۱/۴ گیگاهرتز در شکل ۸ نمایش داده شده است. با توجه به شکل تمرکز جریان‌های سطحی در دهانه اول بر روی شکاف مارپیچی و در دهانه دوم بر روی شکاف L شکل است. با توجه به شکل تولید جریان‌های سطحی عمود بر هم عامل اصلی تولید قطبش دایروی است. با توجه به اینکه تشعشع کننده‌های ریزنوار دو جهته هستند، تشعشع کننده فوق برای دهانه یک در جهت

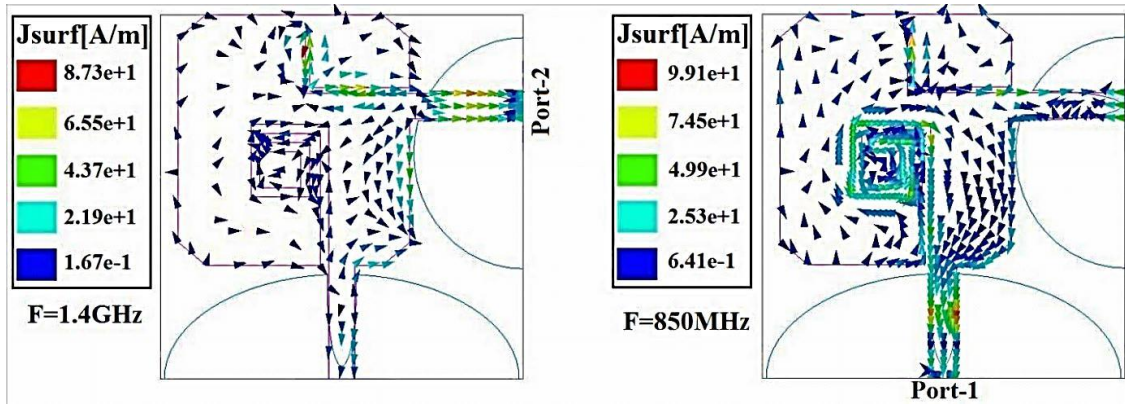
مثبت محور Z قطبش راستگرد و برای جهت منفی محور Z دارای قطبش چپگرد خواهد بود ولی از آنجا که دهانه شماره دو عمود بر دهانه شماره یک قرار دارد لذا جهت قطبش در این دهانه بر عکس دهانه شماره یک خواهد بود، به این ترتیب که قطبش در جهت مثبت محور Z چپگرد و در جهت منفی محور Z راستگرد می‌شود.



شکل ۶: منحنی شبیه‌سازی و تست مربوط به پهنای باند قطبش دایروی تشعشع کننده پیشنهادی در دهانه یک

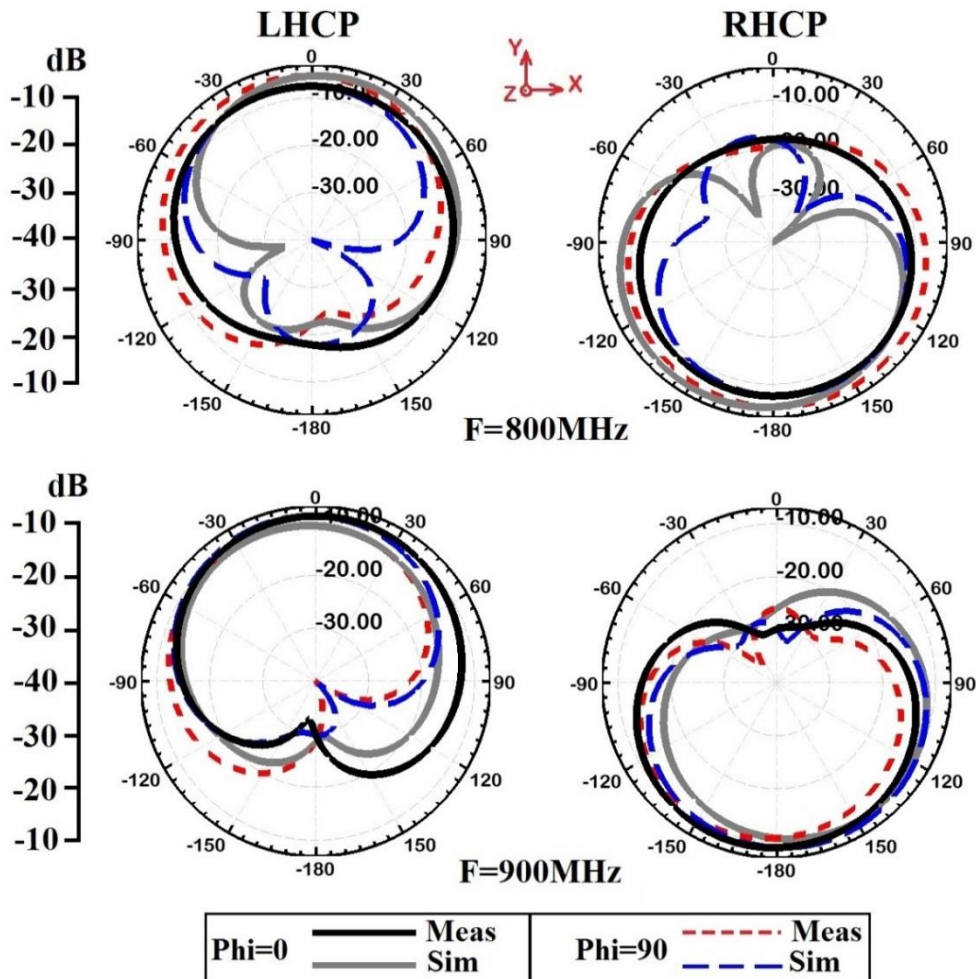


شکل ۷: منحنی شبیه‌سازی و تست مربوط به پهنای باند قطبش دایروی تشعشع کننده پیشنهادی در دهانه دو

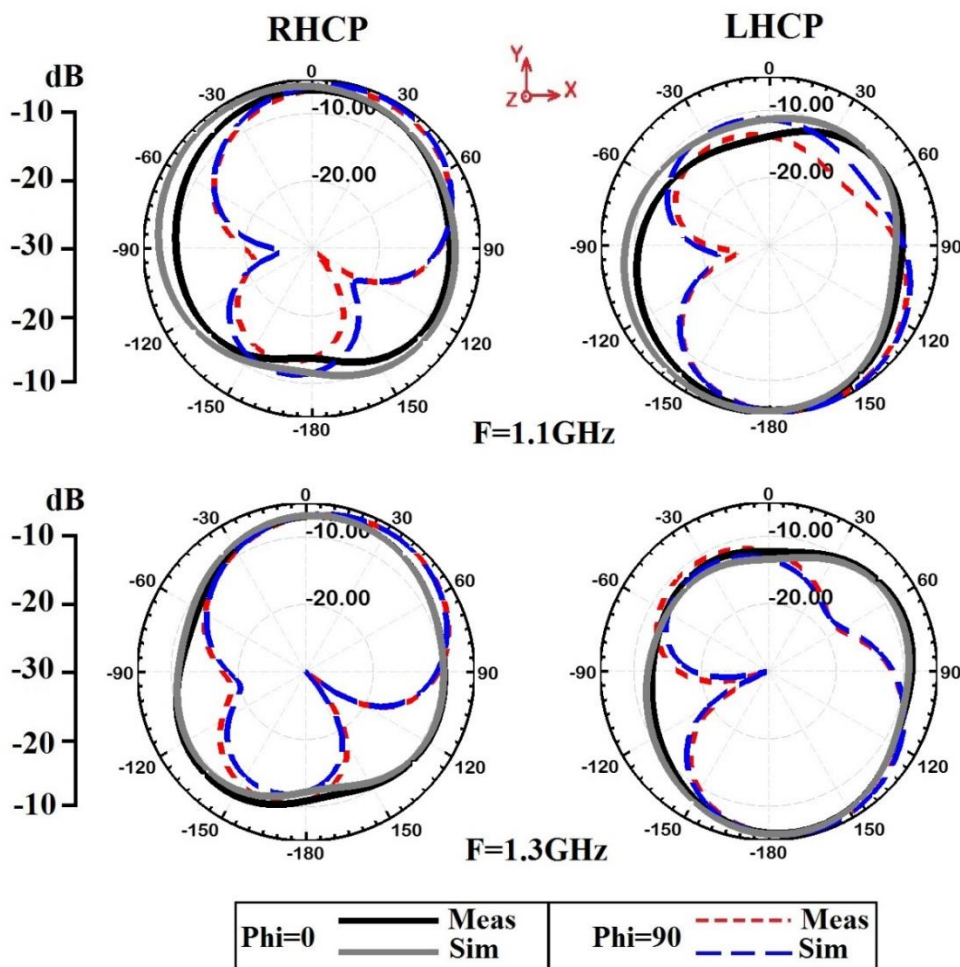


شکل ۸: توزیع جریان‌های سطحی تشعشع کننده پیشنهادی در فرکانس های ۸۵۰ مگاهرتز و ۱/۴ گیگاهرتز

شکل ۹ نتایج شبیه‌سازی شده و آزمایشگاهی پترن تشعشعی را برای تشعشع کننده موردنظر با تحریک دهانه یک در دو فرکانس ۸۰۰ و ۹۰۰ مگاهرتز و شکل ۱۰ نتایج شبیه‌سازی شده و آزمایشگاهی پترن تشعشعی را برای تشعشع کننده موردنظر با تحریک دهانه دو در دو فرکانس ۱/۱ و ۱/۳ گیگاهرتز نشان می‌دهد که حاکی از دو جهتت بودن پترن تشعشع کننده مورد نظر است.



شکل ۹: پترن تشعشعی تشعشع کننده پیشنهادی برای دهانه شماره یک در فرکانس های ۸۰۰ و ۹۰۰ مگاهرتز



شکل ۱۰: پترن تشعشی تشعشع کننده پیشنهادی برای دهانه شماره دو در فرکانس های ۱/۱ و ۱/۳ گیگاهرتز

از آنجا که تشعشع کننده پیشنهادی، یک تشعشع کننده چند بانده بوده و تعدادی از این باندهای فرکانسی پهنای باند کمی دارند، لذا بهره تشعشع کننده در هر دهانه به ازای چند فرکانس رزونانس اندازه گیری و شبیه سازی شده و در جدول ۱ نشان داده شده است. با تغذیه دهانه یک تشعشع کننده پیشنهادی، بیشینه بهره ای معادل ۳/۵ دسیبل در فرکانس ۶/۹ گیگاهرتز و با تغذیه دهانه دو، بیشینه بهره ای معادل ۳/۴۵ دسیبل در فرکانس ۴ گیگاهرتز به دست می آید. با توجه به این جدول، بهره تشعشع کننده در باند های فرکانسی خود مثبت بوده و نوسان بهره در عرض باند فرکانسی قابل قبول است.

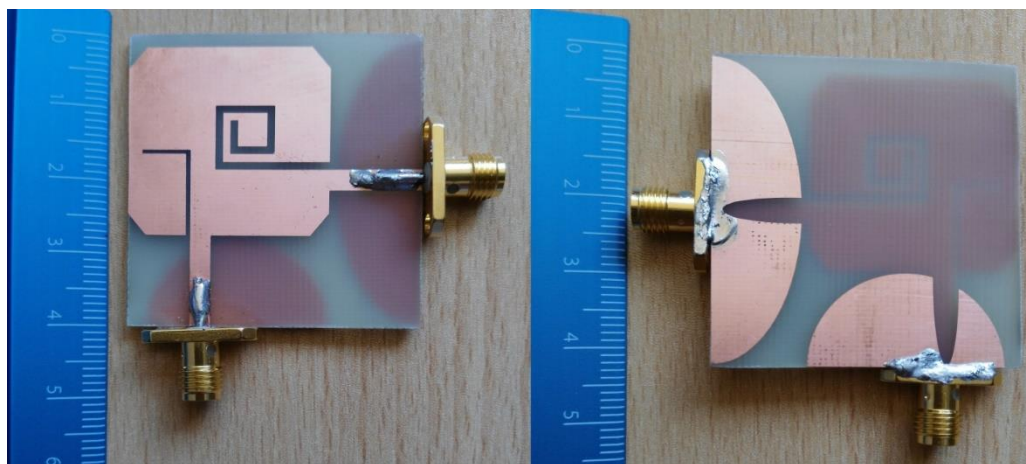
جدول ۱: بهره تشعشع کننده پیشنهادی در دهانه یک و دو

دهانه ۱			دهانه ۲		
فرکانس گیگاهرتز	اندازه گیری دسیبل	شبیه سازی دسیبل	فرکانس گیگاهرتز	اندازه گیری دسیبل	شبیه سازی دسیبل
۰/۸۵	۱/۱۰	۱/۵۲	۰/۹	۱/۲۲	۱/۸۲
۲/۲	۱/۶۵	۱/۸۵	۲/۱	۲/۸۵	۳/۲۱
۴/۲	۲/۰۲	۲/۵۵	۴	۳/۴۵	۲/۷۵
۶/۹	۳/۵	۳/۸۵	۶	۲/۸۵	۳/۲۵
۹/۳	۲/۳۲	۱/۹۵	۹/۷	۲/۳۲	۲/۱۲

جدول ۲: مقایسه کار پیشنهادی با مراجع قبلی

ابعاد بر حسب میلیمتر مکعب	زیرلایه	پهنای باند امیدانسی درگاه یک (گیگاهرتز)	پهنای باند امیدانسی درگاه دو (گیگاهرتز)	خاصیت قطبی شدگی دایروی	بیشینه بهره دسیبل
۰/۸×۳۳×۳۳	FR4	۲/۵-۱۲	۲/۵-۱۲	×	۴
۰/۸×۵۶×۵۶	FR4	۳/۱-۱۱	۳/۱-۱۱	×	گزارش نشده
۱/۶×۲۱×۳۴	FR4	۳/۵۲-۹/۸۹	۳/۵۲-۹/۸۹	×	۵
۱/۶×۸۱×۸۷	FR4	۳/۰۱-۱۲/۵	۳/۰۱-۱۲/۶	×	۵
۱/۶×۴۰×۴۰	FR4	۰/۷۸-۱/۰۷، ۲/۰۱-۲/۶۷، ۴/۷۰-۶/۵۳	۹/۳۸-۱۰/۱	✓	۳/۵

پس از تحلیل و شبیه‌سازی تشعشع کننده پیشنهادی در نرم افزار HFSS، و به دست آوردن مقادیر پارامترها و ابعاد بهینه، تشعشع کننده به روش چاپ روی فیبر مدار چاپی ساخته شد. برای ساخت این تشعشع کننده از فیبر مدار چاپی FR4 به دلیل کم هزینه بودن و در دسترس بودن آن استفاده شده است. سپس جهت اتصال تشعشع کننده با کابل و دیگر تجهیزات میکروویوی یک عدد SMA از نوع DOSIN-805-0015 به هر دهانه تشعشع کننده لحیم کاری گردید. عکس تشعشع کننده محقق شده را در شکل ۵-۱۱ مشاهده می‌کنید. در جدول ۲ مقایسه کار پیشنهادی با مراجع قبلی نشان داده شده است.



شکل ۱۱: عکس نمونه تشعشع کننده محقق شده نتیجه‌گیری

این مقاله، یک الگوی جدیدی از ساختار تک قطبی ریزنوار را که هم‌زمان باندهای فرکانسی کاربردی را پوشش می‌دهد را معرفی می‌کند. ساختار کلی آنتن شامل رزوناتور شانه‌ای زانده‌های L شکل وارونه و حلقه‌های تشدید است. تأثیر هر کدام از این قسمت‌ها به صورت انفرادی در عملکرد کلی آنتن مورد بررسی قرار گرفت. آنتن از لحاظ سایز فیزیکی دارای ابعاد نسبتاً فشرده‌ای بوده و گزینه مناسبی برای کاربردهای موبایل و اینترنت اشیا است. تطابق قابل قبولی میان نتایج اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله تشعشع کننده ریزنوار شکاف دار پیشنهاد شده مورد بررسی قرار گرفت. سایز تشعشع کننده‌ها امروزه یک مسئله بسیار حساس و با اهمیت برای طراحان تشعشع کننده است که در این مقاله تا حدودی به آن دست پیدا کرده‌ایم. تشعشع کننده مورد نظر دارای ابعاد کوچک و فشرده است که در مقایسه با تشعشع کننده‌های مورد استفاده در مراجع این مقاله مقدار بسیار

کوچک و قابل قبول است. میزان پهنای باند امیدانسی مناسب و ابعاد بسیار کوچک این تشعشع کننده، آن را به گزینه مناسبی برای سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم و سیستم‌های نسل چهارم تبدیل کرده است. سپس تشعشع کننده مورد نظر به صورت تشعشع کننده چندورودی/چندخروجی به منظور محقق شدن بر تغییر دایورسیتی قطبش و فرکانسی ارائه گردید.

مراجع

- [1] T. Sedghi, "Compact Unit-cell based Semi-Fractal Antenna with filtering properties of interference Bands Embedded with CBP Strips," *IETE Journal of Research*, vol. 65, no. 6, pp. 790-795, Nov.2019, doi.org/10.1080/03772063.2018.1464973.
- [2] T. Sedghichongaralouye-Yekan, M. Naser-Moghadasi, and R. A. Sadeghzadeh, "Broadband Circularly Polarized 2×2 Antenna Array with Sequentially Rotated Feed Network for C-Band Application," *Wireless Personal Communications*, vol. 91, no. 2, pp. 653-660, Nov. 2016, doi.org/10.1007/s11277-016-3485-4.
- [3] Y. Zehforoosh, and T. Sedghi, "An Improved CPW-Fed Printed UWB Antenna With Controllable Band-notched Functions," *Journal of Communication Engineering (J. Comm. Eng.)*, vol. 5, no. 1, pp. 38-49, June 2016, doi:10.22070/JCE.2016.386.
- [4] T. Sedghi, T. Aribi and A. Kalami, "WiMAX and C bands semi-fractal circularly polarized antenna with satellite bands filtering properties," *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, vol. 10, no. 8, Nov. 2018, doi.org/10.1017/S1759078718000673.
- [5] T. Aribi, M. Naser-Moghadasi and R.A. Sadeghzadeh, "Circularly polarized beam-steering antenna array with enhanced characteristics using UCEBG structure," *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, vol 8, no.6 , Sept. 2016, doi:10.1017/S1759078715000318.
- [6] M. Maleki, T. Aribi and A. Shadmand, "Implementation of a Miniaturized Planar 4-Port Microstrip Butler Matrix for Broadband Applications," *Journal of Communication Engineering*, vol 9, no.1, Jan. 2020,doi:10.22070/jce.2020.5295.1154.
- [7] T. Sedghi, "Compact fractal antenna for WiMAX 1.4 GHz and IEEE 802.11a using double branch line," *Journal of Instrumentation*, vol. 13, no. 9, pp. 1-10, Sept. 2018, doi:10.1088/1748-0221/13/09/P09021.
- [8] T. Sedghichongaraluye-Yekan, M. Naser-Moghadasi and R.A. Sadeghzadeh, "Reconfigurable wide band circularly polarized antenna array for WiMAX, C-Band, a and ITU-R applications with enhanced sequentially rotated feed network," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 25, no. 9, pp. 825-833, Nov. 2015, doi:10.1002/mmce.20922.
- [9] T. Sedghi, S. Shafei, A. Kalami, and T. Aribi, "Small Monopole Antenna for IEEE 802.11 a and X-Bands Applications Using Modified CBP Structure," *Wireless Personal communications*, vol. 80, no. 2, pp. 859–865, Jan. 2015, doi:10.1007/s11277-014-2045-z.
- [10] T. Sedghichongaraluye-Yekan, R. A. Sadeghzadeh, and M. Naser-Moghadasi, "Microstrip-fed circularly polarized antenna array using semi-fractal cells for implicational band," *IETE Journal of Research*, vol. 60, no. 6, pp. 383-388, Nov.2014. doi:10.1080/03772063.2014.901484.
- [11] R. Khajeh- Mohammad- Lou, M. Naser-Moghadasi, R.A. Sadeghzadeh, "Broadband Planar Aperture-coupled Antenna Array for WLAN and ITS Beam-steering Applications," *Radio science*, vol. 53, no. 2, pp. 200-209, Feb. 2018,doi:10.1002/2016RS006155.
- [12] M. Naser-Moghadasi, and T. Sedghichongaraluye-Yekan, "Semifractal antenna with dual-bands filtering and circular polarization properties using SCBP and MDGS structures," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 57, no. 11, pp. 2483-2487, Nov. 2015, doi:10.1002/mop.29372.

- [13] Gh. Sharifi, Y. Zehforoosh, T. Sedghi, M. Takrimi, "A high gain pattern stabilized array antenna fed by modified Butler matrix for 5G applications," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, Volume 122, July 2020, doi:10.1016/j.aeue.2020.153237.
- [14] J. Ren, Hu. Wei, Y. Yin and R. Fan, "Compact Printed MIMO Antenna for UWB Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.13, pp.1517-1520,2014, doi:10.1109/LAWP.2014.2343454.
- [15] M. Lin and Z.Li, "A compact 4 ×4 dual band-notched UWB MIMO antenna with high isolation", *IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies (MAPE)*, 2015, pp. 126-128, doi: 10.1109/MAPE.2015.7510281.
- [16] R. Tiwari, P. Singh, and B. Kanaujia, "A compact UWB MIMO antenna with neutralization line for WLAN/ISM/mobile applications," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol.29, no.11,2019, doi:10.1002/mmce.21907.
- [17] K. Srivastava, A. Kumar, B. Kanaujia, S. Dwari, and S. Kumar, "A CPW-fed UWB MIMO antenna with integrated GSM band and dual band notches," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol.29,no.1,2018, doi:10.1002/mmce.21433.
- [18] Y. Zehforoosh and M.Zavvari, "M. A novel MIMO antenna with an improved isolation for UWB and multiband applications," *Analog Integr Circ Sig Process*, vol.107,2021, pp.171-179 ,doi:10.1007/s10470-020-01772-0.
- [19] R. Ullah, S. Ullah, R. Ullah, F. Faisal, I. B. Mabrouk and M. J. A. Hasan, "A 10-Ports MIMO Antenna System for 5G Smart-Phone Applications," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 218477-218488, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3042750.
- [20] S. Rezaee and Y. Zehforoosh, "Design of a Planar Multiband Antenna Using Metamaterials," *Journal of Southern Communication Engineering*, vol.11, no. 43, pp. 15-26, 2022(in Persian).
- [21] Z. A. Darabi and S.Sh. Tehrani, "Design and Simulation a New Dual Band Dipole Antenna for RFID Tags," *Journal of Communication Engineering*, vol.9, no. 35, pp. 69-76, 2021(in Persian).
- [22] F. Heidari, Z.Adelpoure and N. Parhizgar, "Simulation of Leaky Wave Antenna with Cosecant Squared Pattern Using Genetic Algorithm," *Journal of Communication Engineering*, vol.11, no. 42, pp. 69-76, 2022(in Persian).