

طراحی و شبیه‌سازی یک آنتن شکافی مایکرواستریپی جدید با خاصیت پلاریزاسیون دایروی پهن‌بند

الهه شیرازی^(۱) - محمد امین هنرور^(۲)

(۱) کارشناس ارشد - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران

(۲) استادیار - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱

خلاصه: در این مقاله یک آنتن شکافی مایکرواستریپی چاپی جدید با خاصیت پلاریزاسیون دایروی و تغذیه شده با خط CPW طراحی، تحلیل و شبیه‌سازی شده است. ساختار آنتن شکافی پیشنهادی از یک پیچ پله‌ای شکل اصلاح شده و صفحه زمین مربعی که درون آن یک شکاف پله‌ای واقع شده ترکیب‌بندی شده است. با استفاده از پیچ پله‌ای و صفحه زمین مربعی اصلاح شده، رزنانس‌های اضافی دیگری تحریک شده و پهنای باند امپدانس وسیعی مخصوصاً در باند بالاتر به دست می‌آید. همچنین استفاده از چنین ساختاری، خصوصاً اضافه کردن دو باریکه مستطیلی به صفحه زمین باعث ایجاد پهنای باند پلاریزاسیون دایروی بسیار وسیعی خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی پهنای باند امپدانس در حدود ۸۱/۷٪ و پهنای باند پلاریزاسیون دایروی (3dB AR) در حدود ۵۷/۶٪ را نشان می‌دهد. همچنین نتایج شبیه‌سازی در تطابق خوبی با ملزومات سیستم‌های WLAN می‌باشند.

کلمات کلیدی: آنتن شکافی مایکرواستریپی، پلاریزاسیون دایروی، خط تغذیه CPW.

Design and Simulation of a Novel Broadband Circularly Polarized Microstrip Slot Antenna

Elaheh Shirazi⁽¹⁾ - Mohammad Amin Honarvar⁽²⁾

(1) MSc - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Esfahan, Iran

elahehshirazi@live.com

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Esfahan, Iran

Amin.Honarvar@pel.iaun.ac.ir

In this paper, a novel broadband printed circularly polarized microstrip slot antenna fed by a coplanar waveguide (CPW) is designed, analyzed and simulated. The structure of the proposed antenna is made of a modified stair-shaped patch in conjunction with a square ground plane with a stair-shaped slot inside it. By using a modified stair-shaped patch and square ground plane, additional resonances are excited and, hence, much wider impedance bandwidth can be produced, especially at the higher band. Moreover, by using this structure, especially by adding two rectangular strip to the ground plane, very broadband axial-ratio bandwidth is obtained. Simulation results exhibits a 81.7% (2.78-6.62GHz) -10dB impedance bandwidth and a 57.6% (3.5-6.33GHz) 3dB axial-ratio bandwidth. Simulation results are in excellent agreement with WLAN systems.

Index Terms: Microstrip slot antenna, Circular polarization, Coplanar waveguide (CPW)-fed.

۱- مقدمه

در صنعت ارتباطات مدرن امروز، آنتن‌ها مهمترین اجزای مورد نیاز برای ایجاد یک لینک ارتباطی هستند و کار آن‌ها تبدیل سیگنال‌های الکتریکی به امواج الکترومغناطیسی در حالت فرستندگی و تبدیل امواج الکترومغناطیسی به سیگنال الکتریکی در حالت گیرندگی است. به عنوان یک اصل اساسی، آنتن‌های با ابعاد کوچک، پهنای باند فرکانسی وسیع، بهره بالا و تشعشعات مناسب در سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم فوق‌العاده مورد نیاز می‌باشند. همچنین آنتن‌ها نقش بسیار مهمی را در تلفات کم و نرخ انتقال بالای داده با توان مصرفی کم را بازی می‌کند. یکی از منابع اصلی تلفات، عدم تطبیق پلاریزاسیون در سیستم‌های فرستنده و گیرنده می‌باشد. در طی شش دهه اخیر، آنتن‌های با پلاریزاسیون دایروی برای غلبه بر این مشکل طراحی و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. همچنین از این آنتن‌ها می‌توان برای رفع مشکلات چند مسیری، حذف میدان‌های ناخواسته و حساسیت کمتر نسبت به عناصر متحرک استفاده نمود. برای تولید پلاریزاسیون دایروی به دو مؤلفه میدان الکتریکی متعامد در میدان دور مورد نیاز است. میدان الکتریکی تشعشعی توسط یک آنتن عبارت است از:

$$\vec{E}(\theta, \varphi) = \vec{\theta} E_{\theta}(\theta, \varphi) e^{j\phi_1} + \vec{\phi} E_{\phi}(\theta, \varphi) e^{j\phi_2} \quad (1)$$

که $E_{\theta}(\theta, \varphi)$ و $E_{\phi}(\theta, \varphi)$ اندازه مؤلفه‌های میدان الکتریکی در میدان دور آنتن و ϕ_1 و ϕ_2 اختلاف فاز هر یک از مؤلفه‌های میدان را مشخص می‌کند. از این رو پلاریزاسیون دایروی می‌تواند از تحریک دو مؤلفه متعامد با اندازه برابر و اختلاف فاز 90° بین دو مؤلفه به دست آید.

$$E_{\theta}(\theta, \varphi) = E_{\phi}(\theta, \varphi) \quad (2)$$

$$\phi_2 - \phi_1 = \pm \frac{\pi}{2}$$

تکنیک‌ها و ساختارهای مختلفی جهت تحریک پلاریزاسیون دایروی به کار گرفته شده [۶-۱] که در بین آن‌ها آنتن‌های شکافی میکرواستریپی به علت مزایایی از جمله پهنای باند وسیع، ابعاد کوچک، ساختار تک سطحی و قابلیت یکپارچه شدن با مدارات مجتمع میکروویوی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. از این رو طراحی آنتن‌های شکافی میکرواستریپی با پهنای باند پلاریزاسیون دایروی وسیع که قادر به پوشش اکثر سیستم‌های مخابراتی باشد، به عنوان یکی از چالش‌های طراحان آنتن مطرح می‌شود.

در این آنتن‌ها پلاریزاسیون دایروی از طریق وارد کردن یک سری انحرافات متقارن یا نامتقارن در ساختار تغذیه [۷]-[۴] و یا ساختار شکاف [۱۲]-[۸] حاصل می‌شود. برای به دست آوردن یک پهنای باند نسبت محوری وسیع در آنتن‌های شکافی با پلاریزاسیون دایروی طراحی‌های بسیاری ارائه شده است [۶-۴]، [۱۰-۸]، [۱۶-۱۲]. با تعبیه یک استریپ T شکل در ساختار تغذیه [۵] پهنای باند پلاریزاسیون دایروی وسیعی حاصل می‌شود، اما آنتن دارای ابعاد بسیار بزرگی می‌باشد. اتصال یک استریپ نیزه‌ای شکل به خط تغذیه

CPW [۷]، باعث کوچک شدن ابعاد آنتن می‌شود، در حالی که پهنای باند پلاریزاسیون دایروی آن بسیار کوچک و بهره پایینی نیز دارد. همچنین با تعبیه یک استریپ مستطیلی [۸] و یک استریپ L شکل [۹] در ساختار شکاف، پهنای باند پلاریزاسیون دایروی بسیار وسیعی حاصل می‌شود، اما ابعاد بزرگی دارند. با تعبیه یک جفت استریپ زمین شده [۱۰]، [۱۳] یا سه استریپ زمین شده L شکل وارونه [۱۴] پهنای باند پلاریزاسیون دایروی وسیعی به دست می‌آید. این آنتن‌ها دارای ساختار بسیار ساده‌ای هستند اما سایز بزرگی دارند. برای یک ساختار آرایه‌ای با چرخش متوالی تغذیه شده با یک خط CPW متقارن [۱۵]، نامتقارن [۴] و یا یک ساختار با شبکه تغذیه تشکیل شده از سه مقسم توان ویلکینسون [۱۶] پهنای باند پلاریزاسیون دایروی بسیار وسیعی حاصل می‌شود، در حالی که دارای سایز بزرگی هستند و به طراحی و ساخت بسیار پیچیده سوق می‌دهند. تاکنون آنتن‌های بسیاری طراحی شده که علاوه بر تکنیک‌ها و مزایای بسیار، دارای مشکلات و معایبی نیز هستند، که از جمله این معایب می‌توان به سایز بزرگ، پهنای باند فرکانسی باریک، بهره کم و تشعشعات نامناسب اشاره کرد. این مشکلات طراحان را ترغیب می‌کند که آنتنی با سایز کوچک طراحی کنند، البته با این شرط که با کوچک شدن سایز آنتن سایر عملکردهای مطلوب دیگر آنتن از جمله پهنای باند فرکانسی وسیع از بین نرود.

در این مقاله یک آنتن شکافی میکرواستریپی با ابعاد مناسب و پهنای باند پلاریزاسیون دایروی وسیع طراحی و شبیه‌سازی شده است. این آنتن توسط خط تغذیه CPW تحریک شده و به یک پیچ پله‌ای شکل با یک شکاف مستطیلی بر روی آن متصل شده است. همچنین این آنتن دارای صفحه زمین به شکل حلقه مربعی است که دو باریکه مستطیلی به دو گوشه مخالف آن اضافه شده است. تعبیه پیچ پله‌ای شکل و دو باریکه مستطیلی به صفحه زمین، پهنای باند امپدانس -10dB و پهنای باند پلاریزاسیون دایروی 3dB وسیعی را به ترتیب در حدود $11/7\%$ و $57/6\%$ ایجاد می‌کند. همچنین آنتن دارای ماکزیمم بهره $5/3\text{dBi}$ در فرکانس $5/9\text{GHz}$ می‌باشد و دارای تغییرات بهره کمتر از $1/1\text{dB}$ برای فرکانس‌های درون باند نسبت محوری 3dB است. طراحی، تحلیل و بهینه‌سازی ساختار پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار HFSS 15.0 'ANSYS' انجام شده است.

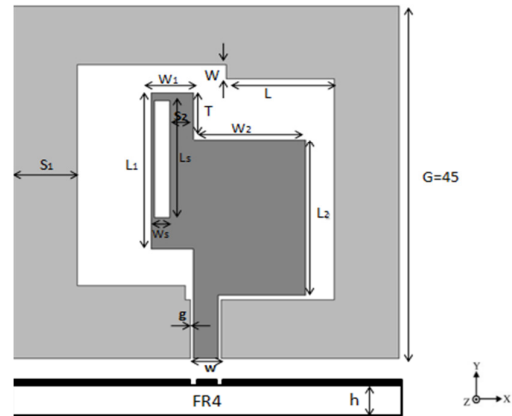
۲- آنتن شکافی میکرواستریپی با خاصیت پلاریزاسیون دایروی پیشنهادی

ترکیب‌بندی آنتن شکافی با خاصیت پلاریزاسیون دایروی تک‌لایه پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است. طراحی آنتن پیشنهادی بر روی زیرلایه FR4 با ثابت دی‌الکتریک $\epsilon_r = 4/4$ ، ضخامت $h = 0/8\text{mm}$ و $\tan\delta = 0/019$ انجام شده است. آنتن به جهت اینکه دارای ساختار تک‌سطحی و ساخت راحت‌تر باشد توسط یک خط تغذیه CPW تحریک شده است. به عبارت دیگر، آنتن فقط بر روی

دایروی وسیع استفاده شده است. این سه آنتن متفاوت که در شکل (۲) قابل مشاهده می‌باشد، شامل یک آنتن شکافی مربعی معمولی (شکل ۲-الف)، آنتن شکافی با یک پیچ پله‌ای شکل (شکل ۲-ب) و آنتن شکافی پیشنهادی (شکل ۲-ج) می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی تلفات بازگشتی 10dB (S11) و نسبت محوری 3dB (AR) برای این سه آنتن در شکل (۳) نشان داده شده است. آنتن شکافی در شکل (۲-الف)، تنها توسط یک پیچ مربعی در مرکز شکاف مربعی متقارن که درون صفحه زمین مربعی ایجاد شده ترکیب‌بندی شده است. مطابق با شکل (۳)، آنتن شکافی در شکل (۲-الف) دارای پهنای باند امیدانس از 4.07GHz تا 4.48GHz (9.59%) و همچنین پهنای باند پلاریزاسیون دایروی از 2.95GHz تا 3.15GHz (6.55%) می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، علاوه بر این که این آنتن دارای پهنای باند امیدانس و پلاریزاسیون دایروی کوچکی است، هیچ‌گونه تطبیق امیدانسی نیز صورت نگرفته است. در مرحله دوم، آنتن شکافی در شکل (۲-ب)، با همان صفحه زمین آنتن قبل و توسط یک پیچ پله‌ای شکل با یک شکاف مستطیلی بر روی آن تحریک می‌شود. مطابق شکل (۳) این آنتن دارای تلفات بازگشتی 10dB از 2.7GHz تا 4.75GHz (55.3%) و از 5.58GHz تا 6.94GHz (21.7%) و همچنین دارای نسبت محوری 3dB از 3.5GHz تا 5.03GHz (35.8%) می‌باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده، پهنای باند امیدانس و پلاریزاسیون دایروی وسیع‌تری در مقایسه با آنتن اول به دست می‌آید، اما پهنای باند امیدانس به دست آمده در دو باند ایجاد می‌شود و بخشی از پهنای باند پلاریزاسیون دایروی نیز توسط آن پوشیده نمی‌شود. در مرحله بعد، آنتن شکافی در شکل (۲-ج) همان آنتن قبل است که تنها دو باریکه مستطیلی شکل به دو گوشه مخالف صفحه زمین آن افزوده شده است. با افزودن این دو باریکه مستطیلی به صفحه زمین اثر تزویج مغناطیسی بین پیچ پله‌ای شکل و صفحه زمین ایجاد می‌شود و مسیر جریان سطحی دیگری را تولید خواهد کرد. از این رو پهنای باند پلاریزاسیون دایروی وسیعی ایجاد خواهد شد که به طور کامل توسط پهنای باند امیدانس پوشیده می‌شود. مطابق با شکل (۳)، پهنای باند امیدانس آنتن سوم از 2.78GHz تا 6.62GHz (81.7%) و پهنای باند پلاریزاسیون دایروی از 3.5GHz تا 6.33GHz (57.6%) می‌باشد.

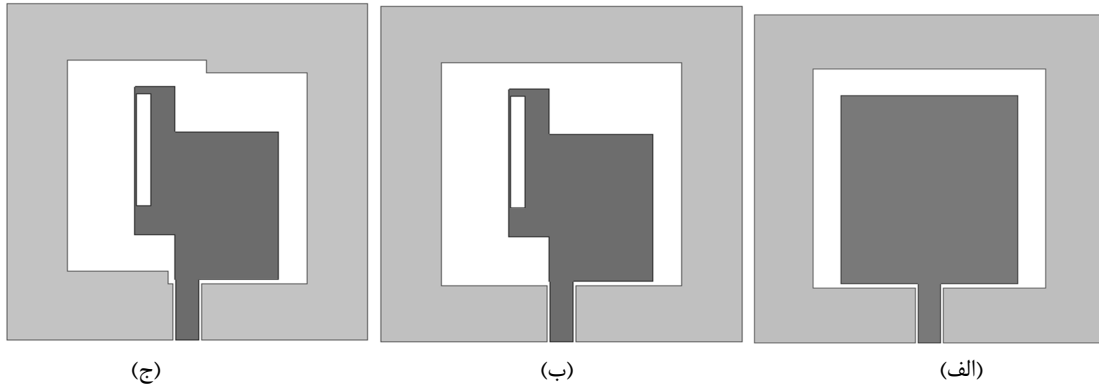
یک طرف زیرلایه FR4 طراحی شده است. خط تغذیه CPW، ۵۰ اهمی دارای یک باریکه مرکزی به عرض ۳/۱ mm می‌باشد و توسط دو شکاف کوچک مشابه به عرض ۰/۳ mm از صفحه زمین جدا شده و برای کنترل تطبیق امیدانس به یک پیچ پله‌ای شکل متصل شده است. همچنین حذف یک باریکه مستطیلی از پیچ پله‌ای شکل متصل شده به خط تغذیه CPW نقش بسیار مهمی را در خاصیت پلاریزاسیون دایروی این آنتن ایفا می‌کند. صفحه زمین آنتن نیز به شکل یک حلقه مربعی است که دو باریکه مستطیلی در دو گوشه مخالف به آن اضافه شده است.



شکل (۱): ترکیب‌بندی آنتن شکافی پیشنهادی

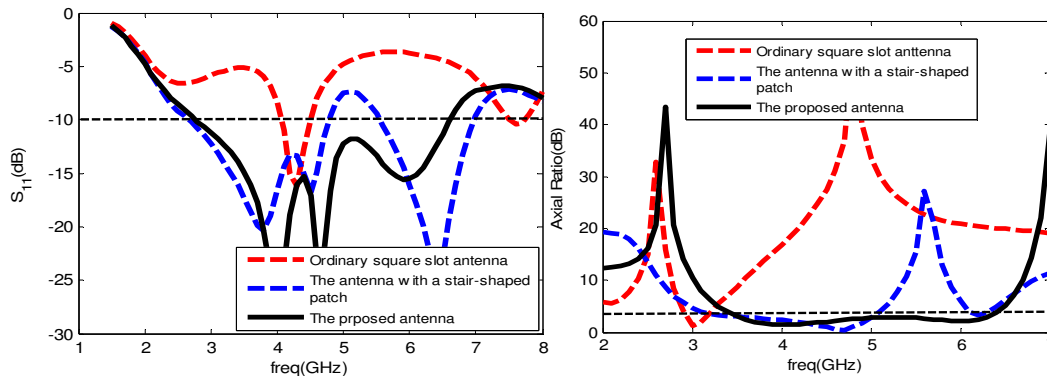
Fig. (1): Configuration of the proposed slot antenna

بر اساس تئوری تزویج الکترومغناطیسی [۱۷]، افزودن دو باریکه مستطیلی در صفحه زمین نقش بسیار مهمی را در ویژگی پهن‌بند شدن آنتن به علت ایجاد اثر تزویج مغناطیسی بین پیچ پله‌ای شکل و صفحه زمین بازی می‌کند. ابعاد نهایی پس از بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار HFSS به صورت زیر به دست آمده‌اند (همه ابعاد بر حسب mm): $G=45$, $S1=7.5$, $S2=3.05$, $W=1.8$, $L=12.6$, $W1=5$, $L1=19.9$, $W2=13$, $L2=20$, $Ws=1.8$, $Ls=15$, $T=5.9$, $w=3.1$, $g=0.3$. ابعاد آنتن شکافی پیشنهادی $45 \times 45 \text{ mm}^2$ می‌باشد و برابر با $0.705\lambda \times 0.705\lambda$ می‌شود که λ طول موج در فضای آزاد است. آنتن شکافی پیشنهادی جدید در این مقاله در مقایسه با آنتن‌های شکافی با پلاریزاسیون دایروی ارائه شده در [۱۶-۴] دارای ابعاد کوچک‌تری است. در این بخش، برای نشان دادن روند بهبود طراحی آنتن پیشنهادی از سه آنتن مختلف برای داشتن پهنای باند امیدانس و پلاریزاسیون



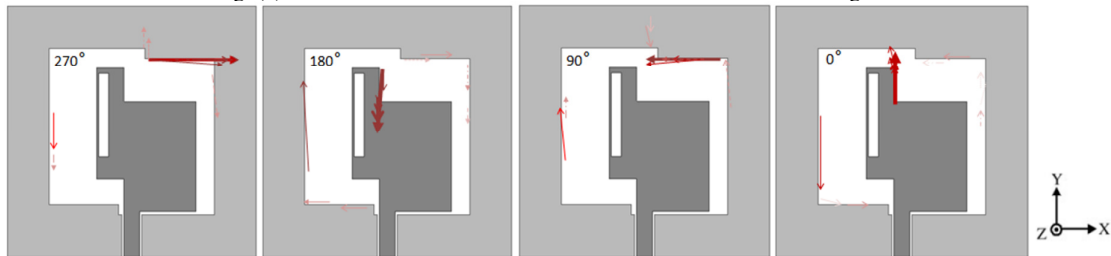
شکل (۲): (الف) آنتن شکافی مربعی معمولی، (ب) آنتن شکافی با پچ پله‌ای شکل، (ج) آنتن شکافی پیشنهادی

Fig. (2): (a) Ordinary square slot antenna. (b) slot antenna with stair-shaped patch, (c) proposed slot antenna.



شکل (۳): نتایج شبیه‌سازی تلفات بازگشتی و نسبت محوری برای آنتن‌ها در شکل (۲)

Fig. (3): Simulated return loss and axial ratio for antennas shown in Fig. (2).



شکل (۴): توزیع جریان آنتن پیشنهادی در فرکانس 4GHz

Fig. (4): Current distribution of the proposed antenna at 4GHz

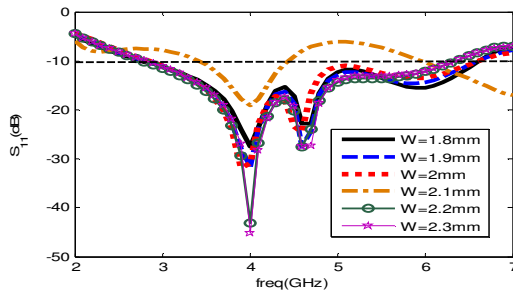
۳- بررسی پارامتری و نتایج شبیه‌سازی

برای ارزیابی تاثیر پارامترهای آنتن بر روی پهنای باند امپدانس و پهنای باند پلاریزاسیون دایروی، یک بررسی پارامتری انجام شده است. در هر مرحله از روند طراحی برای به دست آوردن پارامترهای بهینه آنتن، نرم‌افزار شبیه‌ساز HFSS به کار رفته است. در این بخش برخی از پارامترهای مهم آنتن جهت مشخص شدن تاثیرشان روی عملکرد آنتن مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پارامترهای W ، $W1$ ، $L2$ ، T از جمله پارامترهای مهم آنتن پیشنهادی می‌باشند. برای اینکه تاثیر پارامترهای آنتن به درستی مشخص شود، تمامی پارامترها به جزء پارامتری که می‌خواهیم تاثیر آن را ببینیم در مقادیر اولیه‌شان ثابت نگه می‌داریم.

برای مشخص شدن چگونگی عملکرد پلاریزاسیون دایروی آنتن پیشنهادی از توزیع جریان برداری متغیر با زمان این آنتن استفاده شده است. شکل (۴) توزیع جریان برداری شبیه‌سازی شده این آنتن را در فرکانس 4GHz برای چهار زاویه فازی 0° ، 90° ، 180° ، 270° نشان می‌دهد. همان طور که در شکل (۴) قابل مشاهده است در فاز 0° جریان بیشتر در امتداد پچ پله‌ای شکل می‌باشد و جهتی در راستای $+y$ دارد. در فاز 90° نیز جریان بیشتر در امتداد شکاف پله‌ای است و جهت آن در راستای $-x$ می‌باشد. در فازهای 180° و 270° نیز به ترتیب توزیع جریانی با دامنه برابر اما فاز مخالف با فازهای 0° و 90° وجود دارد. به همین جهت آنتن شکافی پیشنهادی قادر به تولید تشعشعات با پلاریزاسیون دایروی راست‌گرد در جهت $+z$ و پلاریزاسیون چپ‌گرد در جهت $-z$ می‌باشد.

پهنای باند امیدانس و پلاریزاسیون دایروی دارد. با افزایش پارامتر $W1$ از 4.9mm تا 5.4mm پلاریزاسیون دایروی از بین خواهد رفت. همچنین با کاهش پارامتر $W1$ پهنای باند امیدانس کاهش می‌یابد. در نتیجه مطابق نمودارهای $S11$ و AR مقدار نهایی $W1$ برای رسیدن به یک پهنای باند امیدانس و پلاریزاسیون دایروی مناسب 5mm انتخاب شده است.

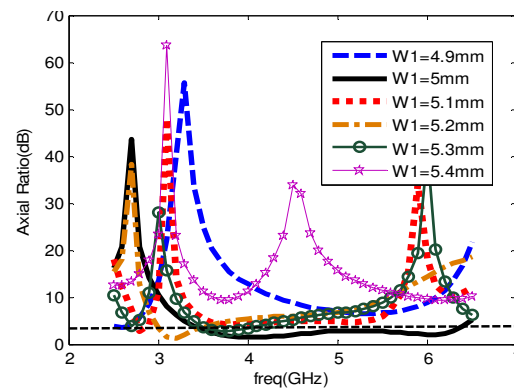
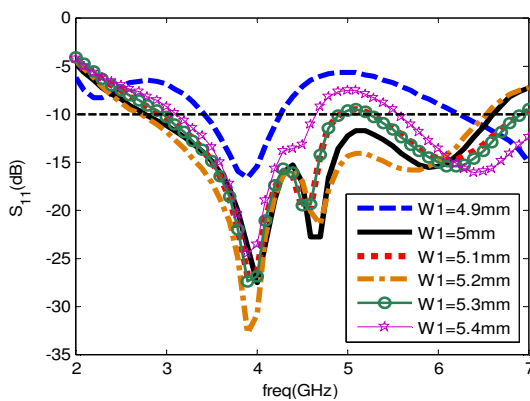
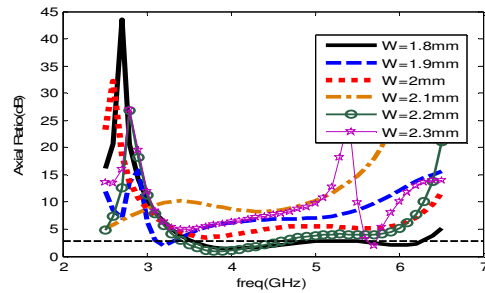
از دیگر پارامترهای مهم در آنتن پیشنهادی می‌توان به طول مستطیل بزرگ‌تر در پیچ پله‌ای شکل اشاره کرد. طول مستطیل بزرگ‌تر در پیچ پله‌ای شکل با نماد $L2$ مشخص شده است. $L2$ را برای مقادیر از 19mm تا 24mm با گام 1mm مورد بررسی قرار داده‌ایم. شکل (۷)، نمودارهای $S11$ و AR آنتن پیشنهادی را به ازای مقادیر مختلف $L2$ را نشان می‌دهد. نمودارها در شکل (۷) نشان می‌دهد که پهنای باند امیدانس و خصوصاً پهنای باند پلاریزاسیون دایروی شدیداً به پارامتر $L2$ وابسته است. با افزایش طول $L2$ ، پهنای باند امیدانس کوچک شده و در برخی از نواحی به بالای خط -10dB می‌آید، در حالی که با افزایش طول $L2$ ، پهنای باند پلاریزاسیون دایروی به طور کلی از بین خواهد رفت و پلاریزاسیون خطی خواهیم داشت. با توجه به نمودارهای $S11$ و AR در شکل (۷)، مقدار بهینه $L2$ برای رسیدن به یک پهنای باند امیدانس و پلاریزاسیون دایروی وسیع $L2=20\text{mm}$ انتخاب شده است.



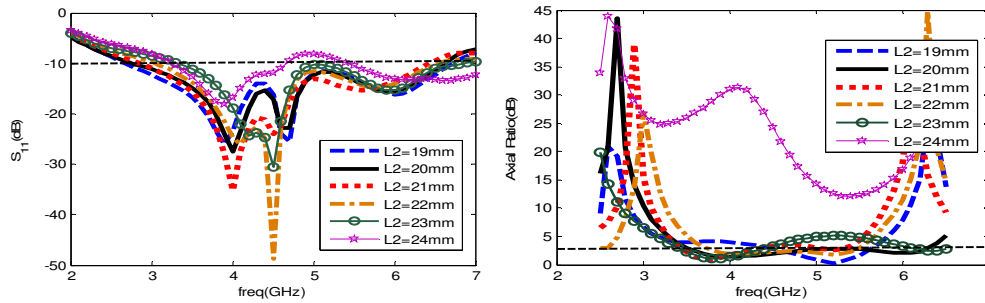
شکل (۵): تاثیر تغییرات پارامتر W بر روی عملکرد آنتن
Fig. (5): Effect of W on antenna performance

همچنین این پارامترها برای مقادیر بسیاری مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در این مقاله تنها برخی از آن‌ها در نمودارها نشان داده شده‌اند. یکی از پارامترهای بسیار مهم این آنتن W ، عرض باریکه مستطیلی اضافه شده به صفحه زمین می‌باشد. شکل (۵) تاثیر تغییرات پارامتر W بر روی پهنای باند امیدانس و پلاریزاسیون دایروی را نشان می‌دهد. مقادیر مختلفی از 1.8mm تا 2.3mm با گام 0.1mm به W اختصاص داده شده است. مطابق با نمودارها در شکل (۵)، با تغییرات W از 1.8mm تا 2.3mm ، پهنای باند امیدانس تغییرات آن‌چنانی ندارد، در حالی که با افزایش عرض این باریکه پهنای باند پلاریزاسیون دایروی بسیار کوچک می‌شود. با توجه به نمودارهای $S11$ و AR در شکل (۵) مقدار بهینه W برای رسیدن به یک پهنای باند امیدانس و پلاریزاسیون دایروی وسیع 1.8mm انتخاب شده است.

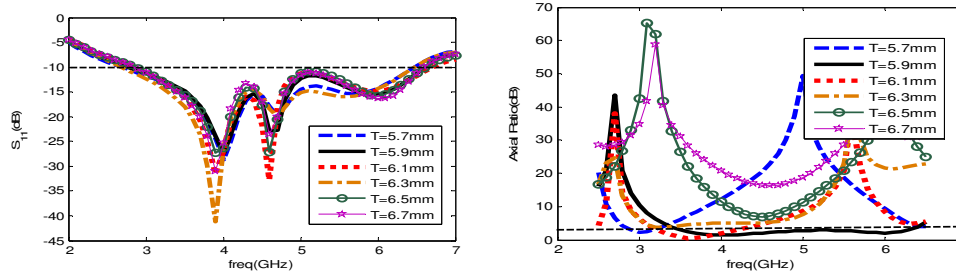
همان طور که قبلاً نیز اشاره شد یک پیچ پله‌ای شکل به جهت کنترل تطبیق امیدانس و ایجاد پلاریزاسیون دایروی به خط تغذیه CPW متصل شده است. از این رو پارامترهای این پیچ، از جمله پارامترهای مهم به شمار می‌روند. یکی از پارامترهای با اهمیت در پیچ پله‌ای شکل آنتن پیشنهادی عرض مستطیل کوچکتر که با نماد $W1$ مشخص شده می‌باشد. شکل (۶)، نمودارهای $S11$ و AR آنتن پیشنهادی را به ازای مقادیر مختلف $W1$ از 4.9mm تا 5.4mm را نشان می‌دهد. مطابق با نمودارها در شکل (۶)، تغییرات پارامتر $W1$ تاثیر به‌سزایی بر روی



شکل (۶): تاثیر تغییرات پارامتر $W1$ بر روی عملکرد آنتن
Fig. (6): Effect of $W1$ on antenna performance



شکل (۷): تاثیر تغییرات پارامتر L_2 بر روی عملکرد آنتن
Fig. (7): Effect of L_2 on antenna performance



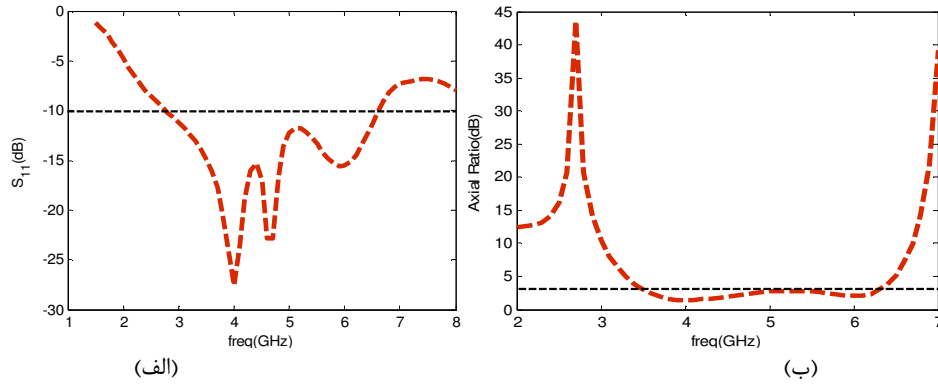
شکل (۸): تاثیر تغییرات پارامتر T بر روی عملکرد آنتن
Fig. (8): Effect of T on antenna performance

فرکانس مرکزی $f_0=4.915\text{GHz}$ می‌باشد. پهنای‌بند نسبی نیز برابر $\text{FBW}=57.6\%$ می‌شود. جدول (۱) مقایسه آنتن پیشنهادی و آنتن‌های شکافی ارائه شده در مقالات قبل را نشان می‌دهد، که آنتن پیشنهادی دارای پهنای باند امپدانس و پلاریزاسیون دایروی وسیع‌تر و ابعاد کوچک‌تر می‌باشد. مطابق با نتایج به‌دست آمده، پهنای باند امپدانس و پلاریزاسیون دایروی هر دو پهنای باندهای وسیعی هستند و مهم‌تر این که پهنای‌بند امپدانس، پهنای باند پلاریزاسیون دایروی را به طور کامل محصور می‌کند و به طور مناسبی ملزومات سیستم‌های WLAN را برابر می‌کند.

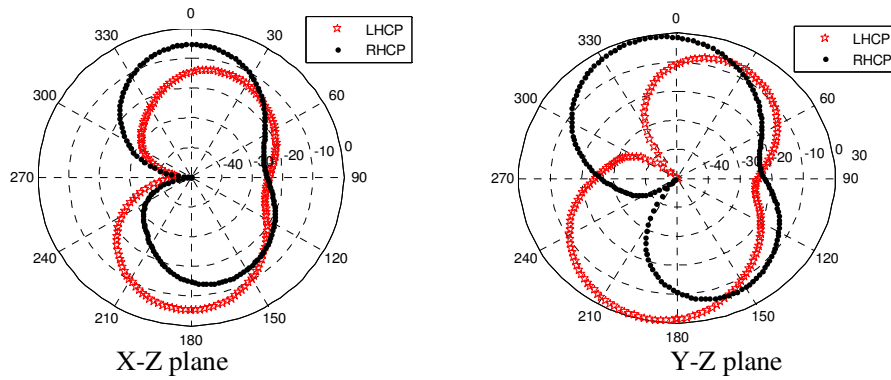
الگوی تشعشی میدان دور شبیه‌سازی شده آنتن شکافی پیشنهادی در دو صفحه XZ ($\phi=0$) و YZ ($\phi=90$) در فرکانس 4.915GHz (فرکانس مرکزی پهنای باند نسبت محوری 3dB) در شکل (۱۰) نشان داده شده است. مطابق با شکل (۱۰)، آنتن به صورت دو جهته با پلاریزاسیون دایروی مخالف تشعشع می‌کند. به عبارت دیگر، آنتن دارای تشعشعات با پلاریزاسیون دایروی راست‌گرد (RHCP) در جهت $+Z$ و تشعشعات با پلاریزاسیون دایروی چپ‌گرد (LHCP) در جهت $-Z$ می‌باشد.

آخرین پارامتر برای بررسی عملکرد و خصوصیات آنتن شکافی پیشنهادی، بهره می‌باشد. شبیه‌سازی بهره در شکل (۱۱) نشان داده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان دهنده این است که ماکزیمم بهره در فرکانس 5.9GHz در حدود 5.3dBi می‌باشد. همچنین تغییرات بهره درون باند نسبت محوری 3dB از 4.22dBi تا 5.3dBi می‌باشد. به عبارت دیگر، تغییرات بهره کمتر از 1.1dB برای فرکانس‌های درون باند نسبت محوری 3dB وجود دارد.

پارامتر مهم دیگر که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است، پارامتر T می‌باشد. پارامتر T ، میزان اختلاف طول دو مستطیل که باعث ایجاد حالت پله‌ای پیچ می‌شود را نشان می‌دهد. به پارامتر T مقادیر از 5.7mm تا 6.7mm با گام 0.2mm اختصاص داده شده است. شکل (۸) تاثیر تغییرات پارامتر T بر روی نمودارهای S_{11} و AR را نشان می‌دهد. مطابق با نمودارها در شکل (۸)، به ازای مقادیر مختلف پارامتر T پهنای باند امپدانس تغییر آن‌چنانی نداشته، در حالی که با افزایش پارامتر T از 5.7mm تا 6.7mm ، پهنای باند پلاریزاسیون دایروی کوچک‌تر شده و به ازای مقادیر $T=6.3, 6.5, 6.7$ دیگر پلاریزاسیون دایروی نداریم. با بررسی‌های انجام شده بر روی نمودارهای S_{11} و AR ، بهترین مقدار برای پارامتر T ، 5.9mm انتخاب شده است. پس از بررسی‌های انجام شده بر روی پارامترهای مهم آنتن کاملاً مشخص است که استفاده از پیچ پله‌ای شکل باعث ایجاد پلاریزاسیون دایروی و همچنین استفاده از دو باریکه مستطیلی اضافه شده به صفحه زمین به وسیع‌تر شدن این پهنای‌بند کمک می‌کند. نتایج شبیه‌سازی تلفات بازگشتی 10dB آنتن شکافی میکرواستریپی با خاصیت پلاریزاسیون دایروی پیشنهادی در شکل (۹-الف) نشان داده شده است. پهنای‌بند امپدانس در شبیه‌سازی تقریباً از 2.78GHz تا 6.62GHz در فرکانس مرکزی $f_0=4.7\text{GHz}$ می‌باشد. پهنای باند نسبی نیز برابر $\text{FBW}=81.7\%$ می‌شود. در نتیجه این آنتن توانسته پهنای باند وسیعی را پوشش دهد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نسبت محوری 3dB آنتن شکافی با پلاریزاسیون دایروی پیشنهادی در شکل (۹-ب) نشان داده شده است. پهنای باند پلاریزاسیون دایروی در شبیه‌سازی دایروی از 2.83GHz تا 6.33GHz برابر 3.5GHz در



شکل (۹): نتایج شبیه‌سازی آنتن شکافی پیشنهادی (الف) تلفات بازگشتی، (ب) نسبت محوری
 Fig. (9): Simulated results of the proposed slot antenna (a) S11, (b) AR.

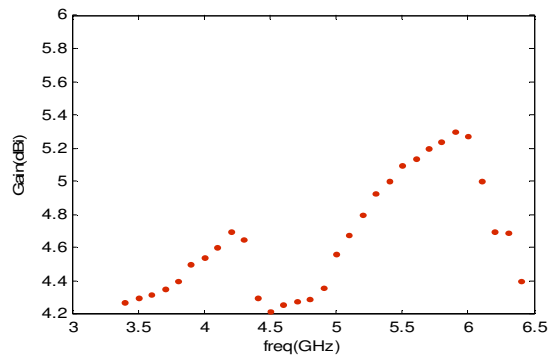


شکل (۱۰): الگوی تشعشعی شبیه‌سازی شده آنتن پیشنهادی در فرکانس 4.915GHz
 Fig. (10): Simulated radiation pattern of the proposed antenna at 4.915GHz

Table (1): Comparison of CP slot antenna results

جدول (۱): مقایسه نتایج آنتن‌های شکافی با پلاریزاسیون دایروی

Slot antenna Ref.	Size of the antenna in mm ³	-10-dB S11 bandwidth (%)	3-dB AR bandwidth (%)	Center fre. of CP operation (GHz)
[5]	80×85×1.6	73.9	48	2.5
[8]	140×140×1.6	76	34.4	1.39
[12]	150×150×0.8	45	21	0.8
[15]	92×92×0.8	52	31	6.06
[16]	70×70×1	92.1	54.5	6.05
proposed	45×45×0.8	81.7	57.6	4.915



شکل (۱۱): بهره شبیه‌سازی شده آنتن شکافی پیشنهادی
 Fig. (11): Simulated proposed slot antenna gain

۴- نتیجه‌گیری

وسیع به ترتیب در حدود 81.7% و 57.6% به دست آمد. ابعاد مناسب، بهره بالا به همراه تطابق خوب عملکرد آنتن با سیستم‌های WLAN از جمله مزایای آنتن پیشنهادی جدید در این مقاله می‌باشد.

در این مقاله یک آنتن شکافی میکرواستریپی جدید با خاصیت پلاریزاسیون دایروی طراحی، تحلیل و شبیه‌سازی شد. ساختار آنتن شکافی پیشنهادی شامل یک پیچ پله‌ای شکل اصلاح شده و یک صفحه زمین اصلاح شده که درون آن یک شکاف پله‌ای ایجاد شده می‌باشد. با استفاده از چنین ساختاری، پهنای‌بند امیدانس و پلاریزاسیون دایروی

پی‌نوشت:

۱- موجبر هم‌صفحه

References

- [1] C. Sun, H. Zheng, L. Zhang, Y. Liu, "Wideband compact circularly polarized patch antenna loaded with shorting probe for GNSS applications", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 28, No. 12, pp. 1512-1521, June 2014.
- [2] A.B. Kakade, M.S. Kumbhar, "Wideband circularly polarized conformal strip fed three layer hemispherical dielectric resonator antenna with parasitic patch", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 56, No. 1, pp. 72-77, May 2013.
- [3] C.N. Chiu, C.C. Yang, "A new board-integrated single microstripfed circularly polarized monopole antenna for global positioning satellite receivers", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 24, pp. 903-909, 2010.
- [4] S. Fu, S. Fang, Z. Wang, X. Li, "Broadband circularly polarized slot antenna array fed by asymmetric CPW for L-band application", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 8, pp. 1014-1016, Sep. 2009.
- [5] Y.W. Liu, P. Hsu, "Broadband circularly polarized square slot antenna fed by coplanar waveguide", *Electronics Letters*, Vol. 49, No. 16, pp. 976-977, Aug. 2013.
- [6] E. Shirazi, M.A. Honarvar, "Broadband circularly polarized stair-shaped slot antenna", *Electromagnetics*, Vol. 35, No 7, pp. 443-452, October 2015.
- [7] J.Y. Sze, S.P. Pan, "Design of cpw-fed circularly polarized slot antenna with a miniature configuration", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 10, pp. 1465-1468, Dec. 2011.
- [8] S.P. Pan, J.Y. Sze, P.J. Tu, "Circularly polarized square slot antenna with a largely enhanced axial-ratio bandwidth", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 11, pp. 969-972, Aug. 2012.
- [9] G. Li, H. Zhai, L. Li, C. Liang, "A nesting-L slot antenna with enhanced circularly polarized bandwidth and radiation", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 13, pp. 225-228, Jan. 2014.
- [10] J. Pourahmadazar, Ch. Ghobadi, J. Nourinia, N. Felegari, H. Shirzad, "Broadband cpw-fed circularly polarized square slot antenna with inverted-L strips for uwb applications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 10, pp. 369-372, Apr. 2011.
- [11] C.J. Wang, C.H. Chen, "CPW-fed stair-shaped slot antennas with circular polarization", *IEEE Trans. on Antennas Propagation*, Vol. 57, No. 8, pp. 2483-2486, Aug. 2009.
- [12] S.A. Rezaeieh, A. Abbosh, M.A. Antoniadis, "Broadband planar circularly polarised antenna for ultra-high frequency applications", *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, Vol. 8, No. 4, pp. 263-271, March 2014.
- [13] J.Y. Sze, C.C. Chang, "Circularly polarized square slot antenna with a pair of inverted-L grounded strips", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, Vol. 7, pp. 149-151, 2008.
- [14] N. Felegari, J. Nourinia, C. Ghobadi, J. Pourahmadazar, "Broadband cpw-fed circularly polarized square slot antenna with three inverted-L-shape grounded strips", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 10, pp. 274-277, Apr. 2011.
- [15] V. Rafii, J. Nourinia, C. Ghobadi, J. Pourahmadazar, B.S. Virdee, "Broadband circularly polarized slot antenna array using sequentially rotated technique for C-band applications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 12, pp. 128-131, Mar. 2013.
- [16] Y.J. Hu, W.P. Ding, W.M. Ni, W.Q. Cao, "Broadband circularly polarized cavity-backed slot antenna array with four linearly polarized disks located in a single circular slot", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 11, pp. 496-499, May 2012.
- [17] N. Malekpour, M.A. Honarvar, A. Dadgarpour, "Design and simulation of a compact UWB MIMO antenna with mutual coupling reduction", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, Vol. 7, No.25, pp. 249-259 Winter 2016.