

طراحی و شبیه‌سازی یک آنتن چند ورودی چند خروجی فوق پهن - باند با کاهش تزویج متقابل و ابعاد کوچک

نرگس ملک پور^(۱) - محمد امین هنرور^(۲) - عبدالمهدی دادگرپور^(۳)

(۱) کارشناسی 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

(۳) دانشجوی دکتری، دانشگاه کبک، مونترال، کانادا

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۱

خلاصه: در این مقاله یک آنتن چند ورودی چند خروجی با ابعاد کوچک $31 \times 26 \text{ mm}^2$ که دارای پهنای باند $1.0/6 \text{ GHz}$ - 3.1 می‌باشد و در وسایل قابل حمل نیز کاربرد دارد پیشنهاد شده است. آنتن پیشنهادی شامل دو آنتن منوپل مربعی شکل می‌باشد که هر کدام از آنها توسط یک خط تغذیه‌ی مایکرواستریپی 50Ω تغذیه شده است و دو صفحه‌ی منوپل به همراه خطوط تغذیه‌یشان در یک طرف زیرلایه قرار گرفته‌اند. برای افزایش ایزولاسیون و همچنین افزایش امپدانس پهنای باند دو خط تشدید کننده‌ی مدار باز به صفحه‌ی زمین اضافه کرده‌ایم که در طرف دیگر زیرلایه قرار دارند. در این مقاله با استفاده از شبیه‌سازی تمام موج مقادیر ضریب انعکاس، همبستگی متقابل، بهره، بازده، تزویج متقابل و الگوهای تشعشی را نشان داده‌ایم و نتایج نشان می‌دهند که آنتن پیشنهادی دارای امپدانس پهنای باند بزرگتر از $1.0/6 \text{ GHz}$ - 3.1 برای $(S_{11} < -10 \text{ dB})$ است و تزویج متقابل بین دو دهانه نیز برای $S_{21} < 3 \text{ dB}$ ، کمتر از -16 dB می‌باشد و دارای همبستگی کمتر از 0.003 می‌باشد. با توجه به پارامترهای گفته شده این آنتن یک کاندید خوب برای استفاده در وسایل قابل حمل در محدوده‌ی UWB می‌باشد.

کلمات کلیدی: آنتن چند ورودی چند خروجی (MIMO)، فوق پهن-باند (UWB)، کاهش تزویج متقابل، ابعاد کوچک.

Design and Simulation of a Compact UWB MIMO Antenna with Mutual Coupling Reduction

Narges Malekpour⁽¹⁾ - Mohammad Amin Honarvar⁽²⁾ - Abdolmehdi Dadgarpour⁽³⁾

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

n.malekpour20012@gmail.com

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

Amin.Honarvar@pel.iaun.ac.ir

(3) PhD Student, Institute de la Recherche Scientific, Energie, Materiaux et Telecommunications (INRS-EMT), Montreal, Canda

In this paper, A compact multiple-input-multiple-output (MIMO) antenna with a small size of $26 \times 31 \text{ mm}^2$ is proposed for portable ultrawideband (UWB) applications. The antenna consists of two square-monopole antenna with microstrip-fed by a 50Ω printed on one side of the substrate. To enhance isolation and increase impedance bandwidth, two long ground stubs are added to the ground plane on the other side. Simulation is used to study the antenna performance in terms of reflection coefficients at the two input ports, coupling between the two input ports, radiation pattern, realized peak gain, efficiency and envelope correlation coefficient. Results show that the MIMO antenna has an impedance bandwidth (for $S_{22} < -10 \text{ dB}$) of larger than $3.1-10.6 \text{ GHz}$, low mutual coupling (for $S_{21} < 3 \text{ dB}$) of less than -16 dB , and a low envelope correlation coefficient of less than 0.003 across the frequency band, making it a good candidate for portable UWB applications.

Index Terms: Multiple-input-multiple-output (MIMO) antenna, ultrawideband (UWB), mutual coupling reduction.

نویسنده مسئول: محمدمین هنرور، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، amin.honarvar@gmail.com

۱- مقدمه

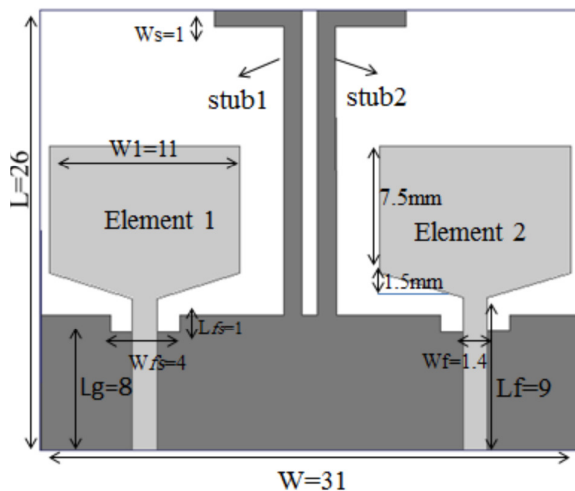
در سال‌های اخیر آنتن‌های فوق پهن-باند^۱ (UWB) برای کاربرد در سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم با نرخ انتقال داده‌ی بسیار بالا، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. بنابراین طراحی آنتن‌های UWB که محدوده‌ی فرکانسی آن توسط FCC^۲ در سال ۲۰۰۲ معرفی شد، یکی از چالش‌های بزرگ طراحی این سیستم‌ها می‌باشد [۱]. به عنوان یک روش امید بخش و موفق، آنتن‌های UWB به طور گسترده در سیستم‌های چند ورودی چند خروجی MIMO^۳ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به گونه‌ای که با استفاده از سیستم‌های MIMO می‌توان ظرفیت کانال را بدون نیاز به توان یا طیف فرکانسی اضافی افزایش داد [۲-۴]. با استفاده از سیستم‌های MIMO می‌توان چند آنتن را در فرستنده و یا گیرنده نصب کرد به طوری که سیگنال دریافتی و یا ارسال‌ی دارای کاراکترهای محو سازی متفاوتی باشند و از آن جایی که غیر محتمل است که همه‌ی سیگنال‌های دریافتی تجزیه یا محو شوند در یک زمان مشابه، می‌توان گفت که این سیستم قابلیت اطمینان ارتباط دارد و می‌توان انتخاب مناسبی از سیگنال دریافتی داشته باشیم. اگرچه نصب المان‌های آنتن روی یک فضای کوچک باعث تزویج متقابل بین المان‌های آنتن می‌شود، طراحی یک آنتن با ابعاد کوچک که تزویج متقابل بین المان‌های آن کم باشد رقابت بزرگی را بین طراحان آنتن ایجاد کرده است. در [۵-۱۰] ساختارهای غیر تزویجی گوناگونی بین دو المان متقارن آنتن برای افزایش ایزولاسیون به کار رفته است. تکنیک‌های بسیاری برای افزایش ایزولاسیون وجود دارد. در [۵] نویسندگان با استفاده از یک ساختار CSRR^۴ بر روی صفحه‌ی زمین توانسته تزویج متقابل را به طور چشمگیری کاهش دهند. در [۶] با استفاده از یک ساختار EBG^۵ به ایزولاسیون خوبی دست یافته به گونه‌ای که با ایجاد باند ممنوعه باعث حذف جریان سطحی بر روی آنتن شده و تزویج متقابل کاهش پیدا کرده است. آنتن پیشنهادی در [۷، ۸] برای افزایش ایزولاسیون از تغذیه‌های عمود بر هم استفاده کرده است. در [۹-۱۰] المان‌های آنتن برای دست یافتن به الگوهای گوناگون به کار رفته است و المان‌های به کار رفته به منظور الگوهای تشعشی و پلاریزاسیون متفاوت و همچنین قادر به دریافت سیگنال با همبستگی کم می‌باشد.

در میان طراحی‌های ذکر شده بسیاری از آن‌ها نمی‌توانند تمام پهنای باند استاندارد UWB را که FCC تعیین کرده است پوشش دهند، [۱۰، ۵، ۶، ۸] و همچنین تعدادی از آن‌ها نمی‌توانند به اندازه‌ی کافی کوچک باشند [۸، ۵] که در وسایل قابل حمل کاربرد ندارند. برای مثال در [۸] شبکه تغذیه به کار رفته در آن چون سه‌بعدی است آن را پیچیده کرده و به فضای بزرگی نیاز دارد. آنتنی که در [۱۱] پیشنهاد شده با قرار دادن یک ساختار مارپیچ در میان دو المان آنتن به ایزولاسیون خوبی دست یافته است اما از پهنای باند خوبی برخوردار نیست. بنابراین طراحی یک آنتن UWB که باند استاندارد FCC را تحت پوشش قرار دهد و دارای ابعاد کوچک باشد همچنان مورد توجه می‌باشد.

در این مقاله یک آنتن MIMO با پهنای باند ۱۰/۶GHz - ۳/۱ طراحی و شبیه‌سازی شده است. ساختار پیشنهادی دارای ابعاد $31 \times 26 \text{ mm}^2$ می‌باشد. این ساختار شامل دو آنتن منوپل است که هر کدام دارای یک خط تغذیه‌ی میکرواستریپ می‌باشند و برای افزایش ایزولاسیون دو خط تشدیدکننده‌ی مدار باز L-شکل بلند در صفحه‌ی زمین به کار رفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که آنتن پیشنهادی کاندید خوبی برای استفاده در وسایل قابل حمل می‌باشد.

۲- طراحی آنتن

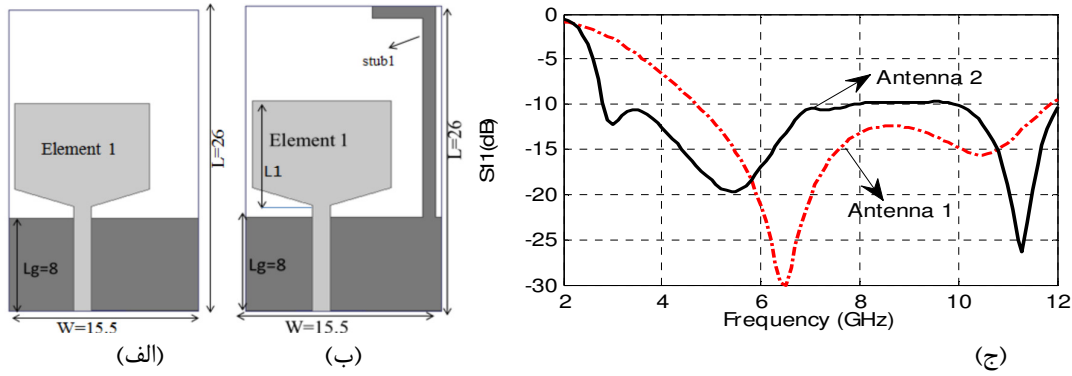
آنتن چند ورودی چند خروجی (MIMO) که در محدوده‌ی UWB کار می‌کند روی هم رفته دارای ابعاد $26 \times 31 \text{ mm}^2$ می‌باشد که در شکل (۱) نشان داده شده است. این طراحی روی یک صفحه از جنس Rogers-4003 با ضخامت 0.8 mm و ضریب گذرده‌ی $2/55$ و تانژانت تلفات 0.0027 ساخته شده است. این آنتن شامل دو صفحه منوپل است که آن‌ها را با Element 1 و Element 2 در شکل (۱) علامت‌گذاری کرده‌ایم. این دو تشعشع‌کننده که به شکل مربع هستند دارای اندازه‌ی یکسانی می‌باشند که بر روی یک طرف زیر لایه قرار گرفته‌اند.



شکل (۱): شکل کلی آنتن پیشنهادی (لایه‌ی بالایی، لایه‌ی پایینی)

Fig. (1): Geometry of the proposed antenna (top layer and bottom layer).

هر تشعشع‌کننده با یک خط میکرواستریپ $50 \mu\text{m}$ به ابعاد $W_F \times L_F$ تغذیه می‌شود. صفحه‌ی زمین که در طرف دیگر زیر لایه قرار گرفته دارای ابعاد $W \times L_g$ می‌باشد. برای افزایش ایزولاسیون و همچنین افزایش امیدانس پهنای باند می‌توان دو خط تشدیدکننده‌ی مدار باز بلند به نام‌های stub1 و stub2 که در شکل (۱) نشان داده شده‌اند را به صفحه‌ی زمین آنتن پیشنهادی اضافه کرد. stub1 به صورت موازی با Element1 قرار گرفته است و خمیدگی بالای خط تشدیدکننده‌ی مدار باز برای کم کردن فضای اشغالی آنتن است. شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار HFSS v.15 صورت گرفته است.



شکل (۲): (الف) شکل آنتن (۱)، (ب) شکل آنتن UWB مورد استفاده در آنتن MIMO، (ج) نتایج شبیه‌سازی آنتن با stub1 و بدون stub1
 Fig. (2): (a) Geometry of monopole element, (b) Geometry of UWB monopole element used in MIMO antenna, (c) Simulated S11 of monopole antenna with and without stub

آنتن پیشنهاد شده در شکل (۲-الف) نمی‌تواند تمام پهنای باند استاندارد UWB را پوشش دهد زیرا سایز تشعشع کننده‌ها کوچک است و تطبیق امپدانس ورودی به خوبی صورت نگرفته است به همین دلیل برای کاهش فرکانس رزونانس پایین و بهتر کردن امپدانس تطبیق ورودی، یک خط تشدید کننده‌ی مدار باز به صفحه‌ی زمین اضافه کرده‌ایم که در شکل (۲-ب) به تصویر کشیده شده است. با مشاهده‌ی نتایج در شکل (۲-ج)، می‌توان دید که آنتن با خط تشدید کننده‌ی مدار باز پهنای باند استاندارد UWB را پوشش می‌دهد.

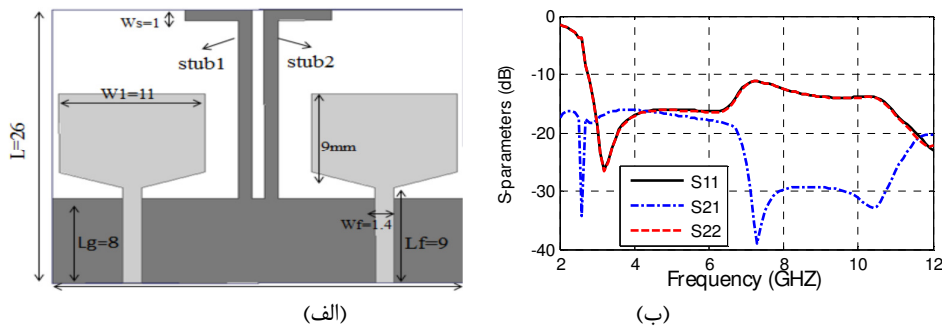
با انتخاب آنتن کوچکی که در شکل (۲-ب) نشان داده شده است و به کارگیری آن به عنوان المان‌های یک آنتن MIMO خواهیم دید که هنگامی که دو آنتن را در صفحه‌ی H-plane کنار هم قرار می‌دهیم شکل (۳-الف)، می‌توان به یک آنتن MIMO دست یافت که سرتاسر پهنای باند استاندارد UWB را پوشش دهد و با توجه به نتایج شبیه‌سازی در شکل (۳-ب) آنتن دارای فرکانس قطع بیشتر از ۱۲GHz می‌باشد که به همین منظور برای کاهش فرکانس قطع بالای آن دو شکاف مستطیلی کوچک در بالای صفحه‌ی زمین و دقیقاً زیر هر تشعشع کننده جدا کرده‌ایم (شکل ۴-الف). نتایج شبیه‌سازی در شکل (۴) ب نشان می‌دهد که فرکانس قطع بالا تا ۱۱/۷ GHz کاهش یافته و همچنین آنتن دارای $S_{21} < -16\text{dB}$ می‌باشد که بیانگر کاهش ترویج متقابل بین المان‌های آنتن در صفحه‌ی H-plane می‌باشد.

۳- تحلیل پارامترهای ساختار آنتن پیشنهادی

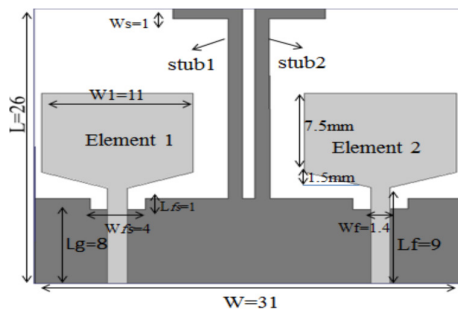
ساختار آنتن UWB پیشنهاد شده در این مقاله شبیه به آنتن ارائه شده در [۱۲] می‌باشد. اما آنتن ارائه شده در [۱۲] به دلیل ابعاد بزرگی که دارد برای کاربرد در سیستم‌های MIMO مناسب نمی‌باشد. به همین دلیل برای طراحی یک آنتن UWB با ابعاد کوچک که قابل استفاده در سیستم‌های MIMO باشد می‌توان مطابق با رابطه ارائه شده در [۱۳] فرکانس رزونانس پایین را برای یک منوپل مربعی شکل به دست آورد.

$$F_{rl} = \frac{144}{Lg+L1+g+\frac{A1}{2nlg\sqrt{1+\epsilon_r}}+\frac{A2}{2nL1\sqrt{1+\epsilon_r}}} \text{ GHz} \quad (1)$$

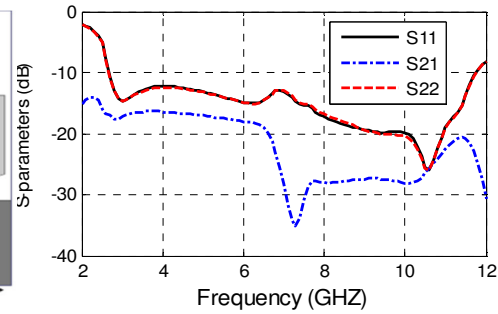
در شکل (۲-الف) با استفاده از رابطه (۱)، یک آنتن منوپل مربعی شکل طراحی شده، به طوری که اگر $L1$ و Lg به ترتیب طول صفحه‌ی زمین و صفحه‌ی تشعشع کننده باشند و g نیز فاصله‌ی بین آن دو و $A1$ و $A2$ نیز به ترتیب مساحت صفحه‌ی زمین و صفحه‌ی تشعشع کننده باشد، مقدار F_{rl} با استفاده از رابطه (۱) تقریباً ۶/۸ GHz می‌باشد که با توجه به نتایج شبیه‌سازی که در شکل (۲-ج) نشان داده شده است فرکانس رزونانس پایین در اینجا نیز تقریباً ۶/۸GHz است که نشان‌دهنده‌ی این است که مقدار F_{rl} محاسبه شده در تطابق خوبی با F_{rl} شبیه‌سازی شده است.



شکل (۳): ترکیب بندی آنتن MIMO
 Fig. (3): Geometry of MIMO antenna



(الف)



(ب)

شکل (۴): شبیه‌سازی پارامترهای S آنتن MIMO با شکاف مستطیلی بر روی صفحه‌ی زمین

Fig. (4): Simulated S-parameters of MIMO antenna with slot

صفحات X-Z, Y-Z در شکل (۶) نشان داده شده‌اند. در صفحه‌ی X-Z مقدار H-plan و در صفحه‌ی Y-Z مقدار E-plan آنتن را برای هنگامی که پورت (۱) تحریک و پورت (۲) به بار ۵۰ اهم متصل باشد نشان داده‌ایم. آنتن پیشنهادی دارای یک الگوی تشعشعی هم جهت در صفحه‌ی H-plan می‌باشد. اگر چه در فرکانس 10GHz که در شکل (۶) نشان داده شده است الگوی تشعشعی در صفحه‌ی H-plan کمتر همه جهت است.

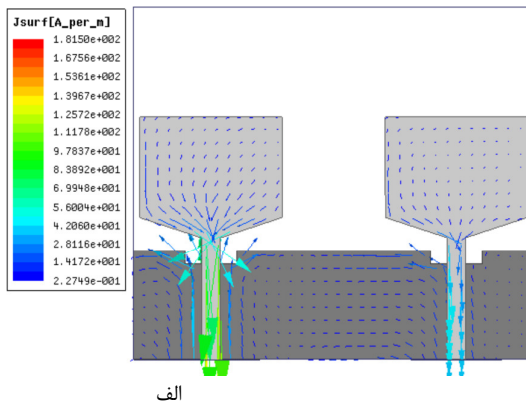
ماکزیمم گین: ماکزیمم گین آنتن هنگامی که پورت (۱) تحریک باشد و پورت (۲) نیز به بار ۵۰ اهم متصل باشد در شکل (۷) نشان داده شده است و می‌توان دید که دارای رنج تغییراتی ۶-۰/۱ dBi در سرتاسر باند فرکانسی می‌باشد.

ضریب همبستگی: یک معیار مهم برای سنجیدن میزان کارایی آنتن در سیستم‌های MIMO به دست آوردن ضریب همبستگی ρ_e می‌باشد. دو روش برای به دست آوردن ρ_e وجود دارد. روش اول استفاده از الگوی تشعشعی آنتن و روش دوم استفاده از پارامترهای S آنتن می‌باشد که به دلیل پیچیدگی روش اول از روش دوم استفاده می‌کنیم. مطابق با [۱۵،۱۴] داریم:

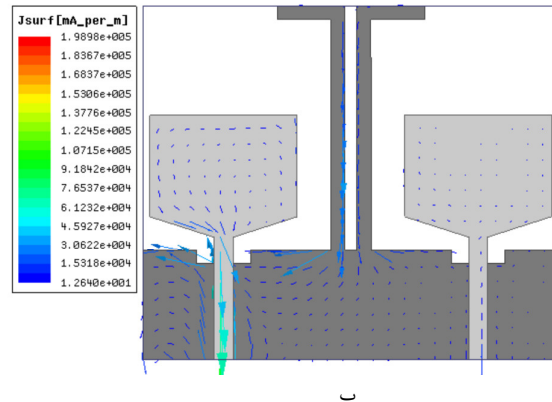
$$\rho_e = \frac{|S_{12} S_{11}^* + S_{22} S_{21}^*|^2}{[1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2)][1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2)]} \quad (2)$$

با استفاده از رابطه (۲) می‌توان مقدار همبستگی را به دست آورد. در شکل (۸) نتایج نشان می‌دهند که آنتن دارای ρ_e کمتر از ۰/۰۰۳ می‌باشد و از آنجایی که مقدار ρ_e نزدیک به صفر می‌باشد می‌توان گفت که آنتن پیشنهادی یک کاندید مناسب برای سیستم‌های MIMO می‌باشد.

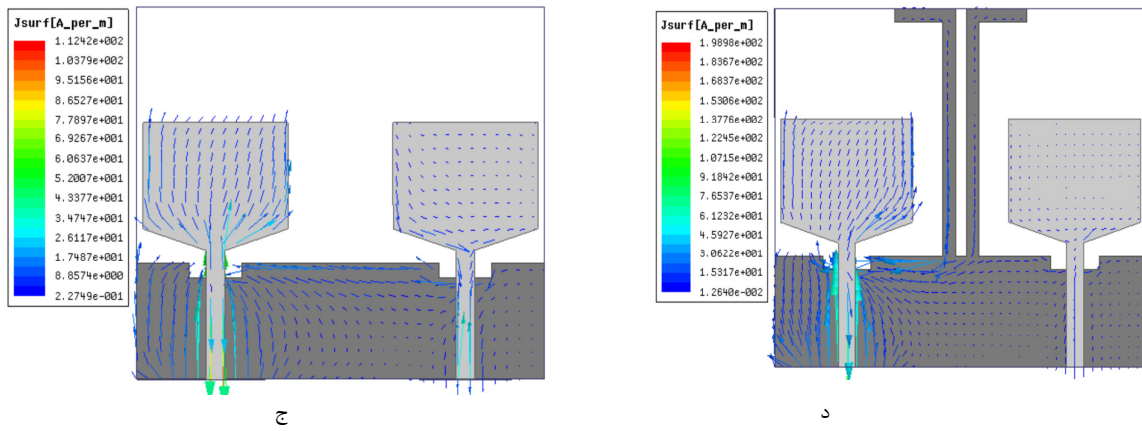
برای بررسی بیشتر چگونگی عملکرد آنتن‌های MIMO می‌توان از توزیع جریان سطحی بر روی آنتن استفاده کرد. در شکل (۵) نتایج شبیه‌سازی توزیع جریان سطحی بر روی المان‌های آنتن با وجود دو خط تشدید کننده‌ی مدار باز L-شکل و بدون آن‌ها در فرکانس‌های ۳/۵ GHz و ۶/۱ GHz مشاهده می‌شود. بدون استفاده از دو خط تشدید کننده‌ی مدار باز برای هنگامی که پورت (۱) تحریک و پورت (۲) به بار ۵۰ اهم متصل است در شکل ۵-الف جریان در حال کوپل شدن به تشعشع کننده‌ی Element2 و پورت (۲) است. با اضافه کردن دو خط تشدید کننده مدار باز به مدار هنگامی که پورت (۱) تحریک می‌شود در شکل ۶-ب دیده می‌شود که در فرکانس ۳/۵ GHz مقدار قابل توجهی از جریان به دو خط تشدید کننده‌ی مدار باز که برای حذف پارازیت‌های منوپل‌ها قرار داده بودیم، کوپل می‌شود. ولی مقداری از جریان کوپل می‌شود به تشعشع کننده‌ی Element2 و حرکت می‌کند به سمت صفحه‌ی زمین که در مقایسه با هنگامی که خط تشدید کننده‌ی مدار باز وجود نداشت خیلی کمتر است و همین امر منجر می‌شود که تزویج متقابل بین دو پورت کاهش پیدا کند. همانند همین پدیده هنگامی که در فرکانس ۶/۱ GHz در شکل ۵-ج با وجود دو خط تشدید کننده مدار باز مقدار جریانی که کوپل می‌شود به تشعشع کننده‌ی Element2 و جریانی که روی صفحه‌ی زمین از Element1 است در مقایسه با هنگامی که خط تشدید کننده مدار بازی وجود نداشته باشد کمتر است که منجر به کاهش تزویج متقابل گشته است. **الگوهای تشعشعی:** شبیه‌سازی الگوهای تشعشعی آنتن در فرکانس ۳ و ۷ و ۱۰ GHz



الف

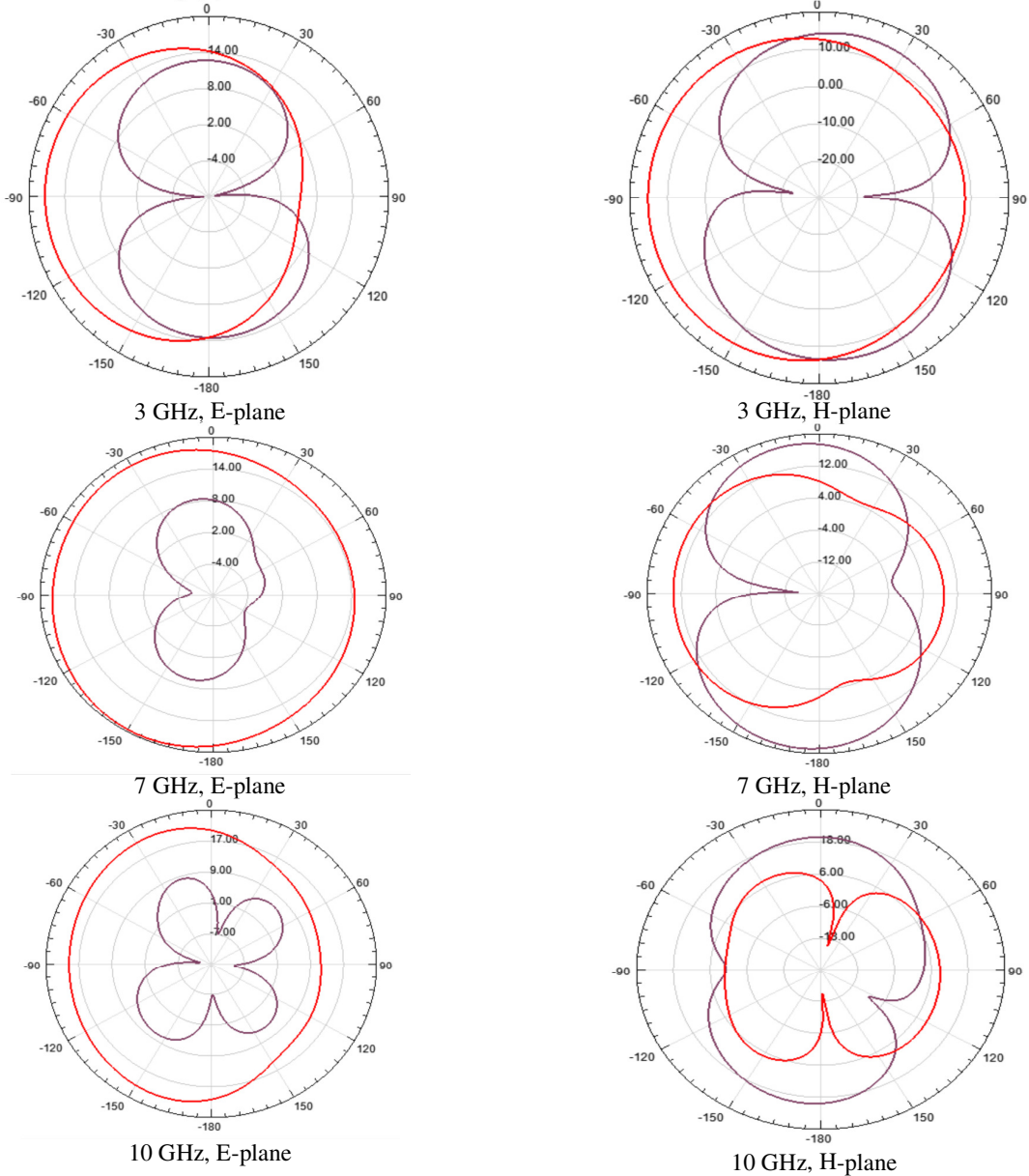


ب



شکل (۵): توزیع جریان بر روی آنتن فوق پهن‌بند چندرودی چند خروجی با اضافه کردن دو خط تشدید کننده‌ی مدار باز و بدون آن‌ها.

Fig. (5): Current distribution of the UWB MIMO antenna with and without stubs.



شکل (۶): شبیه‌سازی الگوی تشعشعی آنتن چندرودی چند خروجی در فرکانس‌های ۳ و ۷ و ۱۰ گیگاهرتز

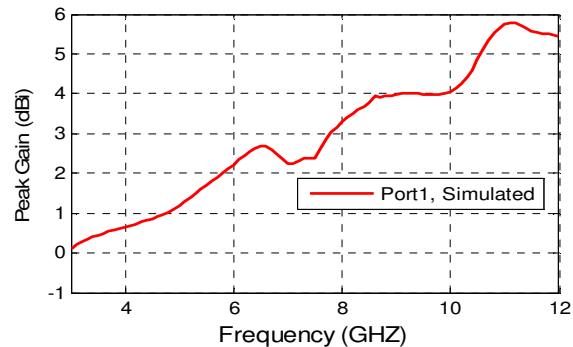
Fig. (6): Simulated radiation patterns of the proposed MIMO antenna: (a) 3, (b) 7, and (c) 9 GHz (—co-polar, —cross-polar).

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک آنتن با ابعاد کوچک $۳۱ \times ۲۶ \text{ mm}^2$ برای استفاده در وسایل قابل حمل پیشنهاد شده است. این آنتن شامل دو صفحه‌ی PM می‌باشد که برای دست یافتن به ایزولاسیون خوب بین پورت‌ها از دو stub بلند بر روی صفحه‌ی زمین استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که آنتن می‌تواند تمام پهنای باند UWB را پوشش دهد و تزویج متقابل نیز کمتر از ۱۶ dB است. نتایج نشان می‌دهد که این آنتن MIMO می‌تواند به ضریب همبستگی کمتر از $۰/۰۰۳$ دست پیدا کند و همگی نتایج نشان می‌دهد که این آنتن کاندید مناسبی است برای استفاده در وسایل قابل حمل که در سیستم‌های UWB کار می‌کنند.

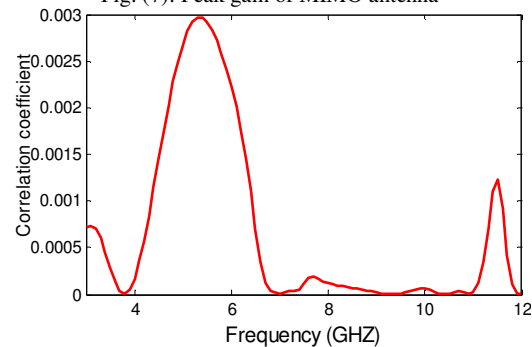
پی نوشت:

- 1- Ultra Wide-Band (UWB)
- 2-Federal Communications Commission (FCC)
- 3-Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)
- 4-Electromagnetic Band-Gap (EBG)
- 5-Complementary Split Ring Resonators (CSRR)



شکل (۷): گین آنتن چند ورودی چند خروجی

Fig. (7): Peak gain of MIMO antenna



شکل (۸): ضریب همبستگی آنتن چند ورودی چند خروجی

Fig. (8): Correlation coefficient for the MIMO antenna

References

- [1] Federal Communications Commission, "First note and order-revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems", ET-Docket, Vol. 14, pp. 98-153, Feb. 2002.
- [2] A. Rajagopalan, G. Gupta, A.S. Konanur, B. Hughes, G. Lazzi, "Increasing channel capacity of an ultrawide band MIMO system using vector antennas", IEEE Trans. on Antennas Propag., Vol. 55, No. 10, pp. 2880-2887, Oct. 2007.
- [3] C. Sturm, M. Porebska, J. Timmermann, W. Wiesbeck, "Investigations on the applicability of diversity techniques in ultra wideband radio", Proceeding of the IEEE/ICEAA, pp. 899-902, Torino, Sep. 2007.
- [4] I.M. Ben, L. Talbi, M. Nedil, K. Hettak, "MIMO-UWB channel characterization within an underground mine gallery," IEEE Trans. on Antennas Propag., Vol. 60, No. 10, pp. 4866-4874, Oct. 2012.
- [5] D.G. Yang, D.O. Kim, C.Y. Kim, "Design of dual-band MIMO monopole antenna with high isolation using slotted CSSRR for WLAN," Microwave Optical Technology Letter, Vol. 56, No. 10, pp. 2252-2257, Oct. 2014,
- [6] N. Malekpour, M.A. Honarvar, "Design of high-isolation compact MIMO antenna for UWB application", Progress In Electromagnetic Research C, Vol. 62, pp. 119-129, Feb. 2016.
- [7] L. Liu, S.W. Cheung, T.I. Yuk, "Compact MIMO antenna for portable devices in UWB applications", IEEE Trans. Antennas Propag, Vol. 61, No. 8, pp. 4257-4264, Aug. 2013.
- [8] G. Adamiuk, S. Beer, W. Wiesbeck, T. Zwick, "Dual-orthogonal polarized antenna for UWB-IR technology", IEEE on Antennas Wireless Propag. Lett., Vol. 8, pp. 981-984, 2009.
- [9] S. Zhang, Z. Ying, J. Xiong, S. He, "Ultrawideband MIMO/diversity antennas with a tree-like structure to enhance wideband isolation," IEEE Trans. on Antennas Wireless Propag. Lett., Vol. 8, pp. 1279-1282, 2009.
- [10] T.S.P. See, Z.N. Chen, "An Ultrawideband diversity antenna", IEEE Trans. on Antennas Propag., Vol. 57, No. 6, pp. 1597-1605, 2009.
- [11] H. Arun, A.K. Sarma, M. Kanagasabai, S. Velan, C. Raviteja, M.G.N. Alsath, "Deployment of modified serpentine structure for mutual coupling reduction in MIMO antennas", IEEE Antennas Wirel Propag Lettr, Vol. 13, pp. 277-280, Feb. 2014.
- [12] M. Saeed khan, M. Farhan, A.D. Capobianco, "Compact UWB-MIMO antenna array with a novel decoupling structure, international", Proceeding of the IEEE/IBCAST, pp. 347-350, Islamabad, Jan. 2013.
- [13] K.G. Thomas, M. Sreenivasan, "A simple ultrawideband planar rectangular printed antenna with band dispensation," IEEE Trans Antenna Propag, Vol. 58, No.1, pp. 27-34, Jan,2010.
- [14]. S. Blanch, J. Romeu, I. Corbella, "Exact Representation of antenna system diversity performance from input parameter description", Electron Lett 39, pp. 705-707, Jan. 2010.
- [15]. C.B. Dietrich, K. Dietze, R.J. Nealy, W.L. Stutzman, "Spatial, polarization and pattern diversity for wireless handheld terminals," IEEE Trans on Antenna Propag., Vol. 49, pp. 1271-1281, 2001.