

طراحی و ساخت آنتن تک قطبی فراپهن باند با سه باند قطع کنترل پذیر

سید احمد میرمنافی^۱، حمید خدابخشی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، ۲- استادیار، دانشگاه آزاد، واحد یادگار امام (ره)

(دریافت: ۹۵/۰۷/۱۸، پذیرش: ۹۵/۰۸/۱۸)

چکیده: در این مقاله یک آنتن فراپهن باند تک قطبی با باندهای قطع کنترل پذیر و ساختار ساده ارائه شده است. آنتن ارائه شده از نوع آنتن پیچ بیضوی با تغذیه خط میکرواستریپ می باشد. برای ایجاد باندهای قطع، از شکافهایی بر روی سطح پیچ استفاده شده است که هر یک از این شکافها به منظور ایجاد باند قطع در باندهای WLAN (۲/۴ GHz - ۲/۴۸ GHz، ۵/۱۵ - ۵/۳۵ GHz) و WiMAX (۳/۳ - ۳/۶ GHz) مورد استفاده قرار می گیرد. با تغییر وضعیت هر یک از شکافها تعبیه شده بر روی آنتن توسط سوئیچهای فرکانس بالا، باندهای قطع به صورت مستقل می توانند کنترل گردند. نتایج شبیه سازی و اندازه گیری تطبیق امپدانس مناسب در طول بازه فرکانسی ۱۱-۲/۲ GHz جهت کاربرد در سامانه های فراپهن باند و ایجاد باندهای قطع فرکانسی مستقل از یکدیگر را نشان می دهد. ابعاد آنتن پیشنهادی ۴۰×۳۰×۱/۶ mm و زیرلایه آنتن از جنس FR4 می باشد. در این مقاله، آنتن پیشنهادی با آنتنهای UWB مقالات پیشین مقایسه شده است. مزایای ساختار پیشنهادی ابعاد کوچک و کنترل باندهای قطع به طور مستقل و محدوده فرکانسی وسیع تر می باشد.

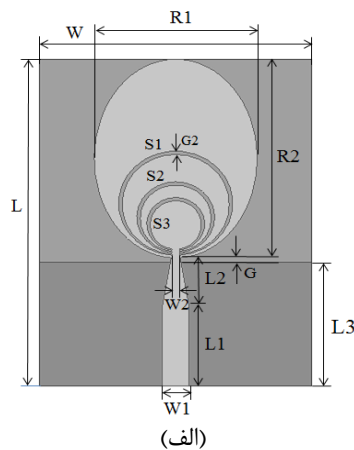
کلیدواژه‌ها: آنتن تک قطبی، آنتن فراپهن باند، باند قطع کنترل پذیر

۱- مقدمه

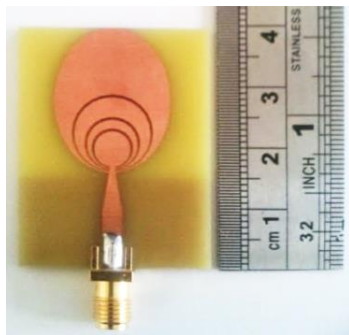
با وجود این که چند سالی است که فناوری فراپهن باند به عنوان یک پیشرفت چشمگیر در ارتباطات بیسیم باند وسیع مورد توجه قرار گرفته است، ولی قدمت این فناوری به حدود ۴۰ سال پیش برمی گردد. روش مورد استفاده در سامانه های مخابراتی فراپهن باند، از سایر روشهای مخابراتی متمایز می باشد، چرا که برای تبادل اطلاعات بین فرستنده و گیرنده از پالس های رادیویی خیلی باریک استفاده می کنند. استفاده از پالس های کوتاه برای ارسال داده ها در سیستم های فراپهن باند، موجب ایجاد پهنای باندی وسیع به همراه مزایایی از قبیل ظرفیت انتقال اطلاعات بالا، مخفی بودن از دید افراد غیر مجاز، مقاومت در برابر تداخل عمدی و استفاده مشترک از پهنای باند با سایر سیستمها می شود. در عمل، به خاطر استفاده از پالسهای کوتاه در حد چند نانو ثانیه، طیف سیگنالهای ارسالی در حوزه فرکانس، محدوده وسیعی را می پوشاند. لذا آنچه که در این فناوری اهمیت دارد آن است که همه عناصر به کار گرفته شده در آن، بتوانند این پالسها را بدون اعوجاج عبور دهند. به عبارت دیگر می توان عناصر به کار رفته در این سامانه ها را مانند فیلترهایی در نظر گرفت که باید همه مولفه های فرکانسی این پالس ها را از خود

عبور دهند.

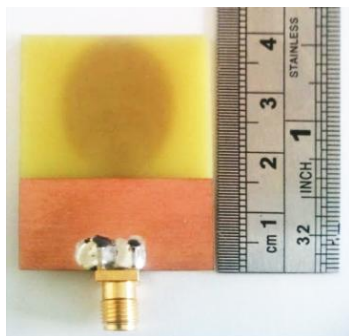
فناوری فراپهن باند از زمانی که US-FCC محدوده ۳/۱ GHz تا ۱۰/۶ را برای کاربردهای رادیویی پذیرفته است، پرکاربردترین فناوری در سیستمهای مخابراتی بیسیم می باشد. مزیت اصلی این فناوری هزینه کمتر، پیچیدگی کمتر، مصرف برق کمتر، میزان انتقال داده و عمر بالا و غیره است [۱]. آنتنهای فراپهن باند متعددی با کاربردهای گوناگون طراحی شده است [۲-۴]. یکی از کاربردهای مهم آنتنهای فراپهن باند ارسال داده با نرخ بسیار بالا و در فواصل کوتاه (کمتر از ۱۰ متر) می باشد، لذا باید الگوی تابشی همه جهته در صفحه افقی داشته باشد. یک آنتن فراپهن باند باید بتواند کلیه مولفه های پالس مورد نظر را تشعشع نماید، یا به عبارت دیگر باید بتواند پالس رسیده را با کمترین اعوجاج در فضا منتشر سازد (البته در حالت گیرنده عکس این فرایند باید صورت گیرد). این آنتنها باید VSWR کوچکی در کل محدوده فرکانسی مولفه های پالس داشته باشند و الگوی تشعشعی همه جهته داشته باشد [۵-۶]. یکی از چالشهای مهم وجود تداخل بین سیستمهای فراپهن باند و برخی باندهای فرکانسی خاص می باشد. برای جلوگیری از تداخل بایستی باندهای فرکانسی دارای همپوشانی حذف گردند. برای حذف تداخل در آنتنهای فراپهن باند روشهای گوناگونی ارائه شده اند [۷-۱۰]. آنتنهای مختلفی بر پایه یک باند قطع [۱۱]، دو باند قطع [۱۲] و یا سه



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۱): ساختار آنتن فراپهن باند. الف) ساختار مقیاس بندی شده، ب) نمونه ساخته شده از روبرو، ج) نمونه ساخته شده از پشت.

بر اساس پارامترهای آنتن بهینه‌سازی شده در جدول ۱، شکل اولیه آنتن تک قطبی با سه باند قطع برای کاربردهای باند فراپهن در این مطالعه طراحی و ساخته شد.

جدول (۱): پارامترهای بهینه آنتن در این مطالعه

پارامتر	مقادیر (mm)	پارامتر	مقادیر (mm)
L	۴۰	W	۳۰
L _۱	۹/۵	W _۱	۳
L _۲	۶	W _۲	۱
L _۳	۱۵	S _۱	۱۲/۶
R _۱	۹	S _۲	۸/۶
R _۲	۱۲	S _۳	۶/۴
G _۲	۰/۴	G	۱/۶

باند قطع ارائه شده است [۲۱-۱۳]. سیگنال‌های باندهای باریک ناخواسته در مکان‌ها و زمان‌های مختلف، متفاوت می‌باشند، بنابراین آنتن‌های با باند قطع کنترل‌پذیر برای حذف تداخل با سیستم‌هایی مانند وایمکس که توان زیادی ارسال می‌کنند، مناسب‌تر می‌باشند. آنتن‌های فراپهن باند با باند قطع کنترل‌پذیر را می‌توان به روش‌های مختلف پیاده‌سازی نمود. استفاده از کلیدهای دو وضعیتی، MEMS، دیودهای پین و دیودهای ورتکتر از جمله روش‌های مناسب جهت ایجاد باند قطع است [۲۲]. اکثر ساختارهای ارائه شده تنها دارای یک باند قطع کنترل‌پذیر در باند WLAN هستند.

در این مقاله آنتن با سه باند قطع کنترل‌پذیر ارائه، ساخته شده است که توسط یک آنتن به همراه ساختارهای رزونانسی غیر تشعشعی حاصل شده است. در این مقاله، کنترل‌پذیری فرکانسی به دلیل عدم دسترسی به دیود پین با ایجاد اتصال کوتاه در محل شکاف‌ها در حالت وصل سوئیچ و مدار باز (عدم اتصال) در حالت قطع سوئیچ، به دست آمده است. در بخش ۲ نحوه طراحی و تحلیل ساختار توضیح داده شده است و نتایج به همراه تحلیل آن در بخش ۳ آورده شده است. در بخش ۴ نیز نتیجه‌گیری آورده شده است.

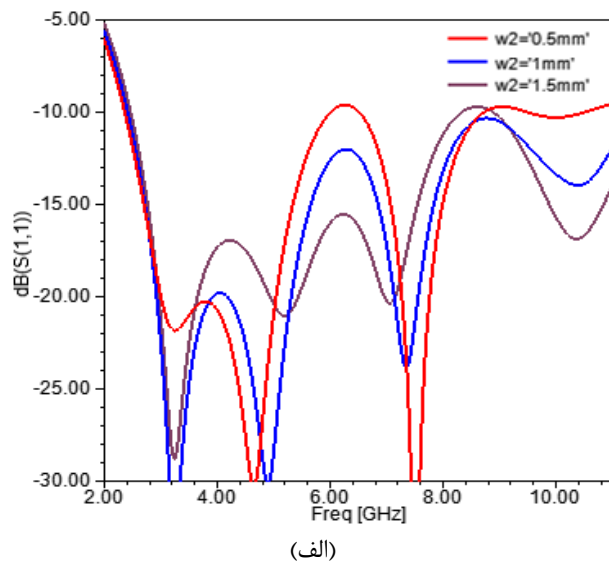
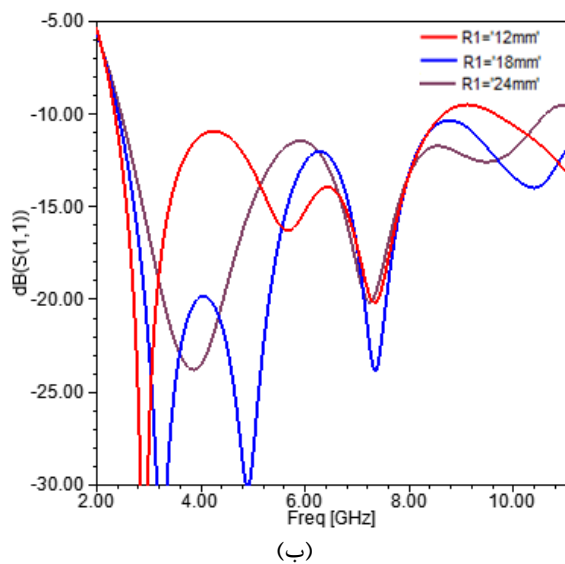
۲- طراحی و تحلیل آنتن

۲-۱- طراحی آنتن

در شکل (۱) آنتن شبیه‌سازی شده، به همراه مشخصات بهینه شده نهایی نشان داده شده است. این آنتن بر روی زیرلایه ارزان قیمت FR4 در ابعاد $40 \times 30 \times 1/6$ mm با ثابت گذردهی $4/2$ و تانژانت تلفات $0/02$ پیاده‌سازی شده است. زمین ساختار از محل تغذیه به طول $L_3=15$ mm امتداد یافته است. تغذیه میکرواستریپ دارای عرض اولیه $W_1=3$ mm و طول اولیه $L_1=9.5$ mm می‌باشد که به واسطه یک خط باریک شونده به عرض ثانویه $W_2=1$ mm و طول $L_2=6$ mm به آنتن متصل شده است. بخش تشعشگر از یک پچ بیضی شکل برای دستیابی به مشخصه فراپهن باند با قطرهای $R_1=9$ mm و $R_2=12$ mm تشکیل شده است. شکاف‌های کمافی S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب دارای قطرهای خارجی $12/6$ ، $8/6$ و $6/4$ میلی‌متر می‌باشند و در محل تغذیه قرار گرفته‌اند و دارای عرض $G_2=0/4$ mm می‌باشند. با ایجاد شکاف‌های کمافی بر روی پچ تشعشعی، باندهای قطع مورد نظر یعنی WLAN ($2/4$ - $2/48$ GHz، $5/15$ - $5/35$ GHz) و WiMAX ($3/3$ - $3/6$ GHz) به دست می‌آید.

نحوه بهینه‌سازی به این ترتیب هست که ابتدا طراحی اولیه به وسیله روابط ریاضی [۲۳] انجام شده و سپس مقدار دقیق ابعاد کمان‌ها و محل سوئیچ‌های آنتن پیشنهادی با بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار تمام موج HFSS به دست می‌آید.

می‌تواند با عریض نمودن تشعشگر افزایش یابد، برای مثال شکل (۲- الف) پهنای باند امپدانس را برای مقادیر مختلف R_1 نشان می‌دهد. می‌توان دریافت که به ازای مقادیر کوچک R_1 ، یک باند قطع در بازه کاری آن به وجود می‌آید و با افزایش R_1 بهبود می‌یابد گرچه با افزایش زیاد R_1 ، تلفات بازگشتی در فرکانس‌های بالا افزایش می‌یابد. با توجه به مشخصات زیرلایه، عرض خط میکرواستریپ برای دستیابی به امپدانس مشخص ۵۰ اهم برابر با ۳ mm می‌باشد با این وجود در صورت استفاده از خط میکرواستریپ یکنواخت برای تغذیه تشعشگر پهنای باند امپدانس محدود خواهد شد. برای دستیابی به تطبیق امپدانس مناسب از خط باریک شونده استفاده شده است در شکل (۲- ب) به ازای مقادیر مختلف W_2 منحنی تلفات بازگشتی شبیه‌سازی شده است.



شکل (۲): بررسی نمودار شبیه‌سازی تلفات بازگشتی آنتن فراپهن باند بدون شکاف با تغییرات (الف) قطر کوچک تشعشگر R_1 ، (ب) عرض باریک‌شونده W_2 .

بنابراین، می‌توان فرکانس قطع مطلوب را با تنظیم اندازه شکاف کمافی ایجاد نمود. آنتن فراپهن باند پیشنهادی شامل سه شکاف کمافی S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب دارای قطر خارجی ۱۲/۶، ۸/۶ و ۶/۴ میلی‌متر برای ایجاد باندهای قطع سه گانه است. آنتن ارائه شده در باند ۱۱ GHz - ۲/۲ دارای $S_{11} < -10$ dB می‌باشد و در فرکانس‌های ۲/۴ GHz، ۳/۵ GHz و ۵/۲ GHz باندهای قطع را ایجاد می‌نماید.

۴-۲- تحلیل کنترل‌پذیری فرکانسی آنتن

با تغییر وضعیت هر یک از شکاف‌ها تعبیه شده بر روی آنتن توسط سوئیچ‌های فرکانس بالا، باندهای قطع به صورت مستقل می‌توانند کنترل گردند. در این مقاله، به دلیل محدودیت‌های

۲-۲- تحلیل پارامترهای مقیاسی آنتن پیشنهادی

در این مقاله برای آنتن با کاربرد فراپهن باند، آنتن مسطح تک قطبی با تغذیه میکرواستریپ برای رسیدن به حجمی فشرده مناسب برای کاربردهای بی‌سیم و قابل حمل، پیشنهاد شده است. این آنتن شامل یک تشعشگر بیضوی تغذیه شده توسط خط میکرواستریپ ۵۰ اهم، می‌باشد و یک زمین مستطیلی در سمت دیگر زیرلایه چاپ شده است.

کلیه پارامترهای مقیاسی در این آنتن نقش قابل توجهی در پهنای باند امپدانس آنتن ایفا می‌سازند، برای این منظور آنتن توسط نرم افزار تمام موج HFSS شبیه سازی و بهینه سازی شده است. در شکل (۲) نمودار تلفات بازگشتی بر حسب تغییرات R_1 و W_2 بررسی شده است. پهنای باند امپدانس آنتن

۳-۲- بررسی و تحلیل شکاف‌های کمافی در ایجاد

باند قطع

شکاف‌های کمافی به عنوان تشدیدگرهای نصف طول موج عمل می‌نمایند. فرکانس تشدید یک شکاف کمافی، در مد تشدید TM_{11} برای پچ بیضوی به صورت زیر محاسبه می‌گردد [۲۳-۲۴]:

$$f_r = K_{11} \times \frac{c}{2\pi r \sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (1)$$

که در آن، $K_{11} = 1/841$ ریشه اول مشتق تابع بسل مرتبه اول و r شعاع کمافی، f_r فرکانس مرکزی باند قطع، ϵ_{re} ضریب دی‌الکتریک موثر و c سرعت نور می‌باشد.

UWB کمتر از ۱۰ dB می‌باشد.

در شکل (۳-ب) همه سوئیچ‌ها قطع بوده و سه باند قطع در محدوده‌های فرکانسی سرویس WLAN (۲/۴-۲/۴۸ GHz)، WiMAX (۳/۳-۳/۶ GHz) ایجاد می‌شود. در بقیه باند UWB تلف برگشتی در این حالت کمتر از ۱۰ dB می‌باشد.

در شکل (۳-ج) سوئیچ‌های ۲ و ۳ وصل و سوئیچ ۱ قطع بوده و فقط یک باند قطع در محدوده فرکانسی WLAN (۲/۴-۲/۴۸ GHz) ایجاد می‌شود.

در شکل (۳-د) سوئیچ‌های ۲ و ۳ قطع و سوئیچ ۱ وصل بوده و دو باند قطع در محدوده‌های فرکانسی WLAN (۲/۴-۲/۴۸ GHz) و (۵/۱۵-۵/۳۵ GHz) ایجاد می‌شود.

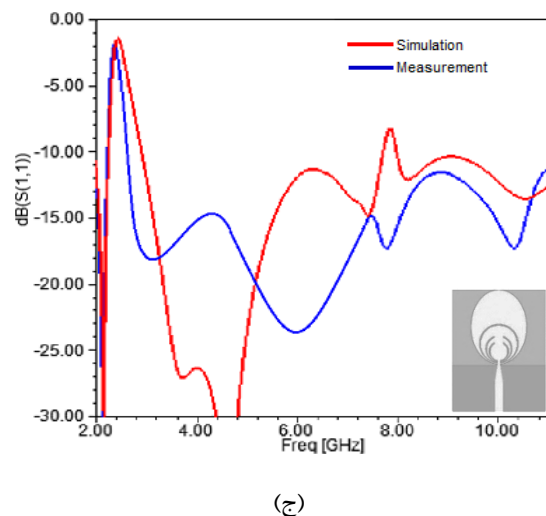
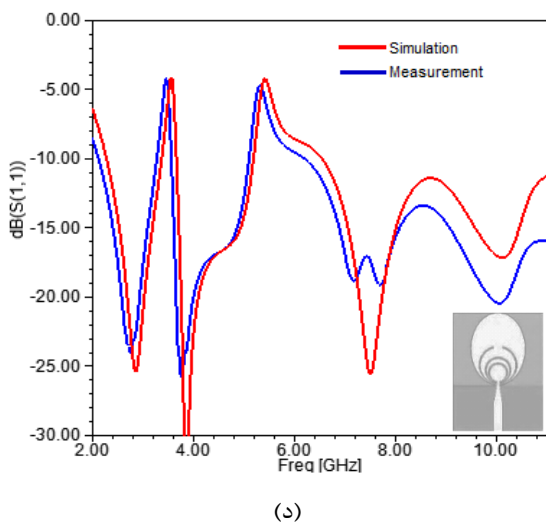
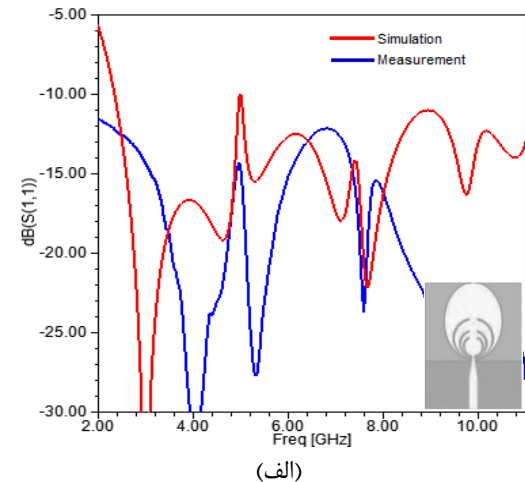
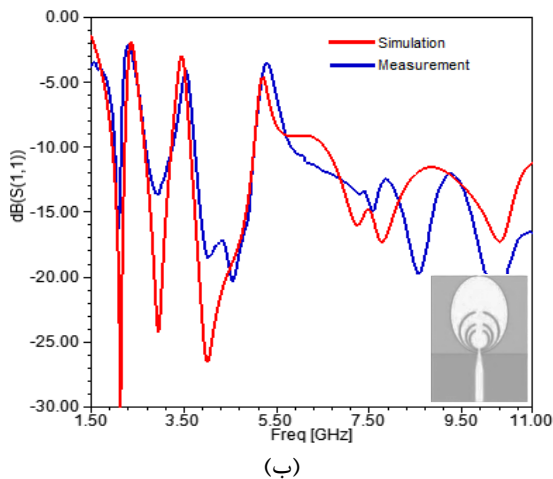
علت اختلاف نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی یکسان نبودن پارامترهای زیر لایه FR-4 در ساخت آنتن و در شبیه‌سازی (دقت ساخت زیر لایه و خطا در مقدار ثابت دی الکتریک و تانژانت تلفات زیر لایه) و شرایط محیطی در اندازه‌گیری $|S_{11}|$ می‌باشد.

ساخت سوئیچ‌ها، کنترل‌پذیری فرکانسی به وسیله اتصال کوتاه کردن شکاف‌های کمافی محقق شده است. با استفاده از اتصال کوتاه نمودن شکاف‌های کمافی، می‌توان از حذف باند قطع متناظر آن شکاف، صرف نظر نمود و حالات مختلفی به وسیله اتصال کوتاه نمودن هر یک از کمان‌ها به صورت مستقل ایجاد نمود. این اتصال کوتاه به عرض ۲ mm در بالای شکاف صورت می‌گیرد.

آنتن پیشنهادی از توانایی عمل کردن در هشت حالت مختلف برخوردار است که آن را به یک گزینه عالی برای کاربردهای UWB تبدیل می‌سازد.

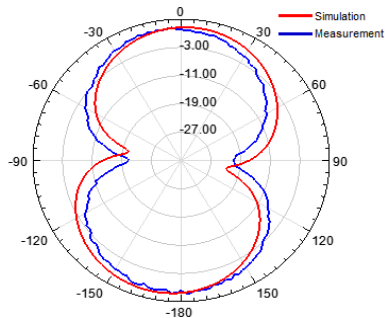
در شکل (۳) نمودار تلفات بازگشتی حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری آنتن در حالت‌های مختلف، نشان داده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری تطابق خوبی را نشان می‌دهد.

در شکل (۳-الف) همه سوئیچ‌ها وصل بوده و باند قطع وجود ندارد. تلف برگشتی در این حالت در محدوده باند فرکانسی

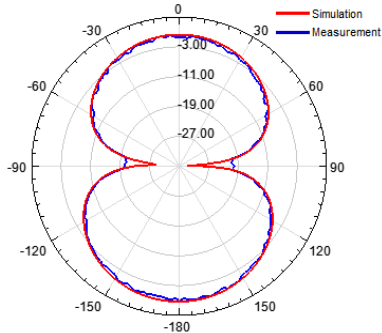


شکل (۳): نمودار تلفات بازگشتی حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، (الف) $S_{1,2,3} = \text{on}$ ، (ب) $S_{1,2,3} = \text{off}$ (ج) $S_{1,2,3} = \text{on}$ ، $S_1 = \text{off}$ ، $S_2,3 = \text{off}$ ، (د) $S_1 = \text{on}$

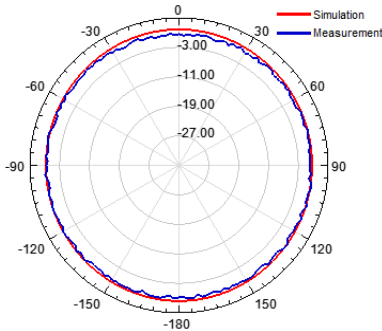
و آنتن‌های ارائه شده در مراجع [۲۶-۲۵] مشخص می‌شود که آنتن پیشنهادی در این مقاله نسبت به آنتن‌های ارائه شده در مراجع [۲۶-۲۵]، از ساختاری ساده برخوردار بوده و محدوده فرکانسی بیشتری را نسبت به آنتن‌های ذکر شده پوشش می‌دهد که این خود مزیت مهمی در آنتن‌های کنترل پذیر می‌باشد.



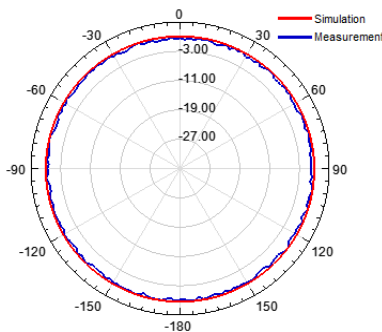
(الف)



(ب)



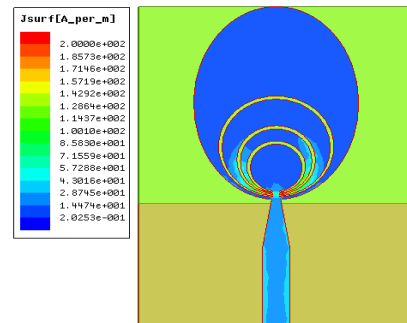
(ج)



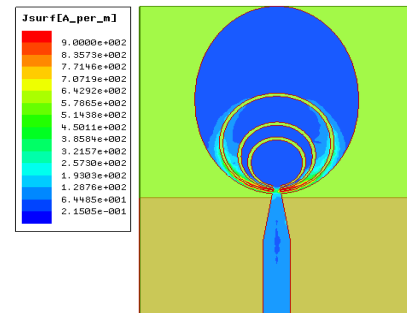
(د)

شکل (۵): الگوی تشعشعی E-plane آنتن فرایپهن باند در فرکانس‌های (الف) ۳ GHz، (ب) ۶ GHz، و الگوی تشعشعی H-plane در فرکانس‌های (ج) ۳ GHz، (د) ۶ GHz

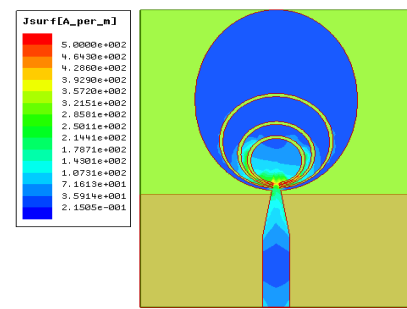
توزیع جریان سطحی در هریک از فرکانس‌های قطع در شکل (۴) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که توزیع جریان در فرکانس متناظر قطع هر شکاف، چگالی جریان سطحی بالایی در اطراف همان شکاف را داراست و تزویج ناچیزی بین شکاف‌ها رخ می‌دهد که نشان دهنده عدم تشعشع آنتن در آن فرکانس می‌باشد.



(الف)



(ب)



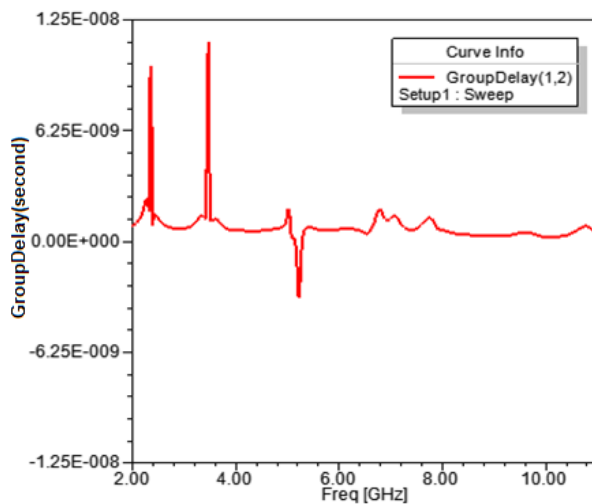
(ج)

شکل (۴): چگالی توزیع جریان در فرکانس‌های الف) ۲/۴ GHz، ب) ۳/۵ GHz، ج) ۵/۲ GHz

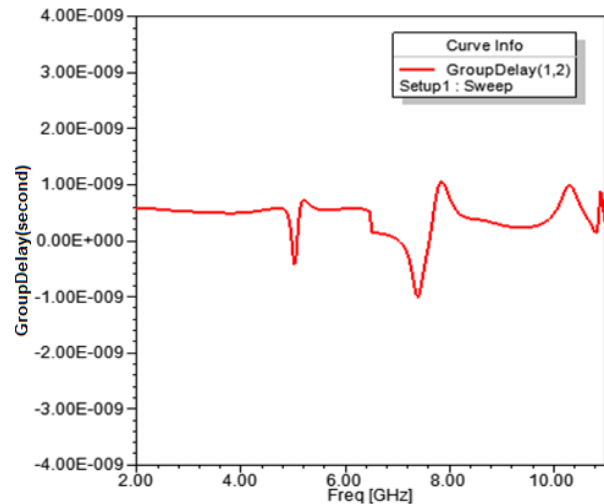
۳ - نتایج و مقایسه

الگوهای تشعشعی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده آنتن فرایپهن باند با باندهای قطع پیشنهادی در فرکانس‌های ۳ GHz و ۶ GHz بررسی شده و در شکل (۵) نشان داده شده است، که تطابق مناسبی را نشان می‌دهند. آنتن ارائه شده مشخصات نزدیک به الگوی تشعشعی تمام جهتی در صفحه H-plane و الگوی تک قطبی را در E-plane داراست. آنتن پیشنهادی با طراحی‌های انجام شده پیشین مقایسه شده است که در جدول (۲) ارائه شده است. همان طور که از جدول پیداست از مقایسه آنتن پیشنهادی

وصل و قطع قرار دارند را نشان می‌دهد. در شکل (۶-الف) مشاهده می‌شود هنگامی که تمام سوئیچ‌ها وصل هستند و هیچ باند قطع در محدوده فرکانسی UWB وجود ندارد، تاخیر گروه کمتر از دو نانو ثانیه بوده و مقدار تاخیر گروه در محدوده فرکانسی UWB تقریباً ثابت می‌باشد که نشان می‌دهد تمام مولفه‌های فرکانسی پالس‌های زمانی باریک UWB تقریباً با یک تاخیر یکسان در فضا انتشار می‌یابند. همانطور که در شکل (۶-ب) ملاحظه می‌شود در باندهای فرکانسی قطع به دلیل تشدید قوی در کمان‌ها، مقدار تاخیر گروه زیاد بوده که نشان دهنده عدم انتشار موج و اعوجاج شکل پالس‌ها در این باندهای فرکانس می‌باشد. ضمناً در بقیه باند فرکانسی تاخیر گروه کم بوده و اعوجاج شکل پالس‌ها ناچیز می‌باشد.



(ب)



(الف)

شکل (۶): تاخیر گروه شبیه‌سازی شده (الف) آنتن UWB (سوئیچ‌ها وصل) (ب) آنتن با باند توقف (سوئیچ‌ها قطع)

جدول (۲): مقایسه آنتن پیشنهادی با کارهای انجام شده گذشته

مرجع	ابعاد آنتن ارائه شده (mm)	قابلیت کنترل باند فرکانسی حذف شده	تعداد باندهای فرکانسی حذف شده	محدوده پوشش فرکانسی (GHz)
آنتن پیشنهادی	۳۰×۴۰	دارد	۳ باند	۲/۲ - ۱۱
آنتن [۲۵]	۳۱×۳۱	ندارد	۲ باند	۳/۱-۱۰/۶
آنتن [۲۶]	۴۰×۴۰	ندارد	۱ باند	۳/۱-۱۰/۶

پارامتر مهم دیگر برای آنتن UWB، تاخیر گروه آنتن است که اعوجاج پالس‌های زمانی را نشان می‌دهد. شکل (۶) نمودار تاخیر گروه آنتن پیشنهادی برای زمانی که تمام سوئیچ‌ها در حالت

- [3] M. Ojaroudi and N. Ojaroudi, "Ultra-wideband small rectangular slot antenna with variable band-stop function," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 62, no. 1, pp. 490-494, 2014.
- [4] B. Andres-Garcia, L. E. Garcia-Munoz, D. Segovia-Vargas, I. Camara-Mayorga, and R. Gusten, "Ultrawideband antenna excited by a photomixer for terahertz band," Progress In Electromagnetics Research, vol. 114, pp. 1-15, 2011.
- [5] J. Wang, Z. Wang, Y. Yin, and X. Liu, "UWB Monopole Antenna with Triple Band-Notched Characteristic Based on a Pair of Novel Resonators," Progress In Electromagnetics Research C, vol. 49, pp. 1-10, 2014.
- [6] S.-T. Fan, Y.-Z. Yin, H. Li, and L. Kang, "A novel self-similar antenna for UWB applications with band-notched characteristics," Progress In Electromagnetics Research Letters, vol. 22, pp. 1-8, 2011.
- [7] K. P. Ray and S. Tiwari, "Ultra wideband printed hexagonal monopole antennas," IET Microwave and Antennas Propag., vol. 4, Issue 4, pp. 437-445, 2010.
- [8] W.-S. Lee, K.-S. Oh, and J.-W. Yu, "A wideband planar monopole antenna array with circular polarized and band-notched characteristics," Progress In Electromagnetics

۴ - نتیجه‌گیری

در این مقاله یک آنتن فراپهن باند با سه باند قطع کنترل‌پذیر پیشنهاد شد که با تغییر وضعیت هر یک از شکاف‌ها تعبیه شده بر روی آنتن باندهای قطع به صورت مستقل کنترل می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری صحت تطابق مناسبی را نشان می‌دهد. آنتن دارای ساختاری فشرده و همچنین ارزان قیمت بوده و با توجه به الگوی تشعشعی همه جهته آن برای بسیار از کاربردهای بی‌سیم و قابل حمل مناسب است.

۵ - مراجع

- [1] Y. Tawk and C. G. Christodoulou, "A New Reconfigurable Antenna Design for Cognitive Radio," IEEE antennas and wireless propagation letters, vol. 8, 2009.
- [2] R. Saleem and A. K. Brown, "Empirical miniaturization analysis of inverse parabolic step sequence based UWB antennas," Progress In Electromagnetics Research, vol. 114, pp. 369-381, 2011.

- [18] H. A. Atallah¹, A. B. Abdel-Rahman, K. Yoshitomi, and R. K. Pokharel, "Tunable Band-Notched CPW-Fed UWB Monopole Antenna Using Capacitively Loaded Microstrip Resonator for Cognitive Radio Applications," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 62, pp. 109–117, 2016.
- [19] S. K. Venkata, M. Rana, P. S. Bakariya, S. Dwari, and M. Sarkar, "Planar Ultrawideband Monopole Antenna with Tri-Notch Band Characteristics," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 46, pp. 163–170, 2014.
- [20] S. Tomar and A. Kumar, "Design of a Triple Band-notched UWB Planar Monopole Antenna," *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, vol. 14, no. 2, 2015.
- [21] N. Rojhani, M. Akbari, and A. Sebak, "Controllable triple band-notched monopole antenna for ultra-wideband applications," *IET Microw. Antennas Propag.*, vol. 9, no. 4, pp. 336–342, 2015.
- [22] C.-Y.-D. Sim, W.-T. Chung, and C.-H. Lee, "Planar UWB antenna with 5GHz band rejection switching function at ground plane," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 106, pp. 321–333, 2009.
- [23] J. R. James and P. S. Hall, "Handbook of Microstrip Antennas," London, Peter Peregrinus Ltd., vol. 1, 1989.
- [24] K. P. Ray and G. Kumar, "Determination of the Resonant Frequency of Microstrip Antennas," *Microwave Optical Tech. Letters*, vol. 23, no. 2, pp. 114–117, 1999.
- [25] W.-M. Li, T. Ni, S.-M. Zhang, J. Huang, and Y.-C. Jiao, "UWB Printed Slot Antenna with Dual Band-Notched Characteristic," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, vol. 25, pp. 143–151, 2011.
- [26] W.-M. Li, T. Ni, S.-M. Zhang, J. Huang, and Y.-C. Jiao, "Two Novel Band-Notched UWB Slot Antennas Fed by Microstrip line," *Progress In Electromagnetics Research, PIER 78*, pp. 209–218, 2008.
- [9] R. Azim and M. T. Islam, "Compact planar UWB antenna with band notch characteristics for WLAN and DSRC," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 133, pp. 391–406, 2013.
- [10] J. Y. Deng, Y. Z. Yin, S. G. Zhou, and Q. Z. Liu, "Compact ultra-wideband antenna with tri-band notched characteristic," *Electron Lett.*, vol. 44, no. 21, pp. 1231–1233, Oct. 2008.
- [11] K. G. Thomas and M. Sreenivasan, "A simple ultrawideband planar rectangular printed antenna with band dispensation," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 58, no. 1, pp. 27–34, 2010.
- [12] C. M. Li and L. H. Ye, "Improved dual band-notched UWB slot antenna with reconfigurable notched bandwidths," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 115, pp. 477–493, 2011.
- [13] N. Mohammadian, M. N. Azarmanesh, and S. Soltani, "Compact ultra-wideband slot antenna fed by coplanar waveguide and microstrip line with triple-band-notched frequency function," *IET Microw. Antennas Propag.*, vol. 4, Issue 11, pp. 1811–1817, 2010.
- [14] H. A. Mohamed and A. S. Mohra, "Controllable Band-Notched UWB Printed Monopole Antenna," *International Journal of Engineering Research*, vol. 5, no. 2, pp. 110–114, 2016.
- [15] B. Mojavernajafi and Y. Zehforoosh, "CPW FED UWB Monopole with Double Band Notch Antenna with Compact Size," *International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronics Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 693–700, 2014.
- [16] X. Gong, L. Tong, Y. Tian, and B. Gao, "Design of a Microstrip-Fed Hexagonal Shape UWB Antenna with Triple Notched Bands," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 62, pp. 77–87, 2016.
- [17] M. T. Islam, R. Azim, and A. T. Mobashsher, "Triple Band-notched Planar UWB Antenna Using Parasitic Strips," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 129, pp. 161–179, 2012.

Design and Construction of Frequency Reconfigurable Micro-Strip UWB Antenna with Triple Controllable Notched Bands

S. A. Mirmanafi, H. Khodabakhshi*

Islamic Azad University of Shahr Rey

(Received: 09/10/2016, Accepted: 08/11/2016)

Abstract

In this article a simple and compact frequency reconfigurable microstrip UWB Antenna with triple band notched is presented. The proposed antenna consists of an elliptic patch, and a micro-strip feed line. Three slots are used on the surface of patch to achieve notched bands. Each one of these slots is used in order to achieve notched band in WLAN (2.4-2.48GHz, 5.15-5.35GHz) and WiMAX (3.3-3.6GHz) bands. By changing the status of each slots Embedded on antenna by the high-frequency switches, notch bands can be controlled independently. The results of simulations and measurements show a proper impedance matching in the frequency range 2.2-11 GHz and achieving independent frequency notched bands. So, the antenna is capable of operating in one of the multiple modes which makes it an excellent candidate for UWB applications.

Keywords: Frequency Reconfigurable Antenna, Ultra-Wide Band Antenna, Controllable Notched Band

* Corresponding author E-mail: khodabakhshi@iausr.ac.ir