

آنتن پوشیدنی فشرده برای کاربردهای فرایه‌ن‌باند و بلوتوث

علیرضا زرخشک^۱، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ پژمان رضائی^۲، دانشیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه سمنان- سمنان- ایران - alireza.zarkhoshk@semnan.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه سمنان - سمنان - ایران - prezaei@semnan.ac.ir

چکیده: در این مقاله یک آنتن تک‌قطبی مسطح فشرده برای کاربردهای بلوتوث و فرایه‌ن‌باند با قابلیت حذف یک باند فرکانسی ارائه شده است. آنتن پیشنهادی دارای یک صفحه تشعشی با دو قسمت داخلی و بیرونی، همراه با یک صفحه زمین ناقص تشکیل شده است. این ساختار با ابعاد و حجم کوچک به‌منظور استفاده در دستگاه‌های قابل حمل و همچنین سیستم‌های پوشیدنی طراحی شده است. این آنتن جهت استفاده در باند بلوتوث و فرایه‌ن‌باند بر روی لباس اساتید و کارکنان دانشگاه سمنان، به فرم آرم دانشگاه سمنان طراحی شده است. ابعاد کلی ساختار پیشنهادی 12×16 میلی‌متر مربع است و با یک خط ریز نواری پیچ‌دار تغذیه می‌شود. مقایسه نتایج نرم‌افزاری و اندازه‌گیری بیانگر تطابق مناسب منحنی افت‌برگشتی و خصوصیات الگوی تشعشی آنتن ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: آنتن تک‌قطبی، دوباندی، حذف باند فرکانسی، فرایه‌ن‌باند، بلوتوث، آنتن پوشیدنی.

A Compact Wearable Antenna for UWB and Bluetooth Applications

A. Zarkhoshk¹, MSc Student; P. Rezaei², Associate Professor

1- Electrical and Computer Engineering Faculty, Semnan University, Semnan, Iran, Email: alireza.zarkhoshk@semnan.ac.ir

2- Electrical and Computer Engineering Faculty, Semnan University, Semnan, Iran, Email: prezaei@semnan.ac.ir

Abstract: In this article, a compact planar monopole antenna for Bluetooth and ultra-wideband applications with frequency band notch is presented. The proposed antenna is comprised of a radiating patch with two internal and external sections and defected ground. Due to the low profile structure, this antenna is designed for use in handheld and wearable devices in UWB and Bluetooth bands. Since this antenna is marked with Semnan University's logo, it can be used as a sign on staff's clothes. Dimension of this antenna is 12×16 mm² which is fed by a meandered micro-strip line. The return loss and radiation pattern measured results corroborate well with the simulated results.

Keywords: Monopole antenna, dual band, frequency band notch, ultra-wideband, Bluetooth, wearable antenna.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۱

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۵ و ۱۳۹۶/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۷

نام نویسنده مسئول: پژمان رضائی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - سمنان - دانشگاه سمنان - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

در چند دهه اخیر پیشرفت‌های شگرفی در زمینه تکنولوژی مخابرات فیبر مدار چاپی به همراه رشد روزافزون صنعت کامپیوتر و الکترونیک، فناوری نوینی را با عنوان قطعات الکترونیکی پوشیدنی معرفی نموده است. طراحان و سازندگان با اضافه کردن سیم‌ها، مدارها و الیاف نوری به پوشاک متداول، لباس‌هایی را خلق کرده‌اند که در برابر عوامل محیطی از خود عکس‌العمل نشان می‌دهند. این ویژگی سبب شده تا پوشش علاوه بر محافظت در برابر شرایط محیطی و آب‌وهوایی متفاوت برای دریافت، پردازش، ذخیره و انتقال اطلاعات نیز مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین تلفیق تجهیزات الکترونیکی در پوشاک که در زندگی روزمره انسان حضور دارند، می‌تواند پاسخگوی بسیاری از نیازهای ارتباطی شوند و زندگی سالم، ایمن و راحتی را فراهم آورند [۵-۱].

شبکه نزدیک بدن انسان^۱ سیستم ارتباطی بی‌سیم است که ارتباط میان دستگاه‌های الکترونیکی پوشیدنی^۲ و یا کاشته شده^۳ در بدن انسان را قادر می‌سازد. به‌طور معمول در این شبکه برای قطعات پوشیدنی از لایه دی‌الکتریک منعطف مانند پارچه [۹-۶] و یا در برخی موارد از دی‌الکتریک‌هایی با جنس سخت برای جایگذاری به‌عنوان دگمه [۱۰]، کلاه کاسکت [۱۱]، هدفون [۱۲]، عینک [۱۳] و ساعت هوشمند [۱۴] استفاده می‌شود.

این شبکه به دلیل تعدد مزایا برای کاربردهای مختلفی از جمله ورزشی، چندرسانه‌ای، مراقبت‌های بهداشتی و کاربردهای صنعتی و نظامی بسیار مناسب هستند [۱۷-۱۵].

در سال ۲۰۰۲ با صدور مجوز کمیته مخابرات^۴ جهت استفاده از باند فرکانس ۷/۵ گیگاهرتز، سیستم‌های فرایه‌بند به‌طرز قابل ملاحظه‌ای گسترش یافتند و توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کردند. آنتن فرایه‌بند به دلیل برقراری ارتباط با سرعت بالا و توان کم در محدوده‌های کوچک برای برنامه‌ها و سیستم‌های کاربردی متعدد بسیار مناسب است. به‌عنوان نمونه از این آنتن‌ها می‌توان برای کاربردهایی از قبیل تصویربرداری پزشکی، ارسال پالس‌های باریک با توان بالا در رادارهای فرایه‌بند، سیستم‌های داخل ساختمانی^۵، ارتباطات حمل و نقل^۶، موقعیت‌یابی و شبکه‌های بی‌سیم نزدیک بدن انسان که معمولاً بر روی لباس قرار می‌گیرند، بهره گرفت. این سیستم‌ها با داشتن ویژگی‌هایی بارز چون هزینه پایین، چگالی طیفی توان کم، اشغال فضایی بسیار محدود، انتقال نرخ داده بالا و الگوی تابش متداول قابل استفاده در دستگاه‌های سیار هستند. به همین جهت، در ارتباط‌های بی‌سیم با برد کوتاه و سرعت بالا به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند [۲۲-۱۸].

بلوتوث به‌عنوان پروتکلی استاندارد در ارتباطات بی‌سیم برد کوتاه با بهره‌انرژی پایین و به‌خصوص به دلیل پشتیبانی از هر دو نوع داده و صوت نیز به یک تکنولوژی ایده‌آل برای استفاده در دستگاه‌های فرستنده و گیرنده چون سیستم پخش، موبایل، لپ‌تاپ، شناسایی فرکانس رادیویی، ابزارهای پوشیدنی و لوازم پزشکی کاربرد دارند.

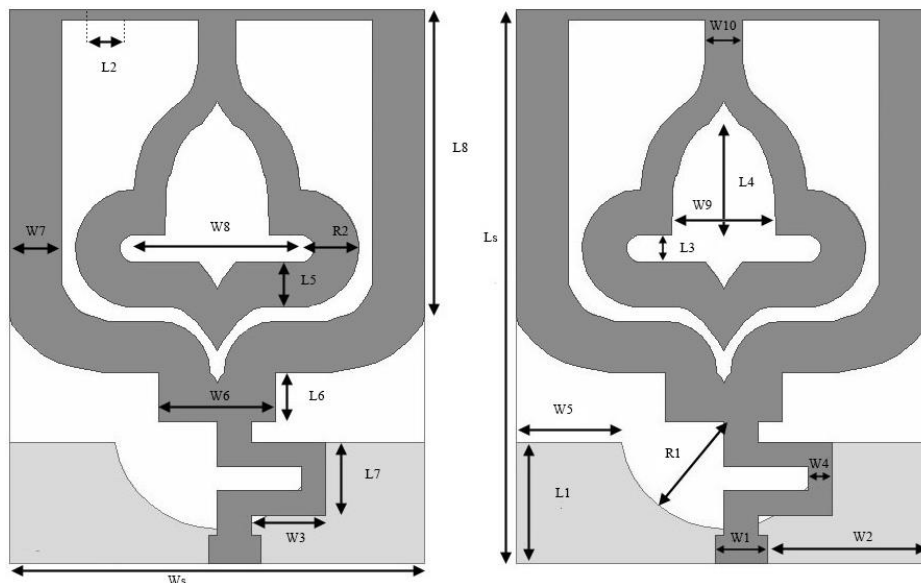
بازه فرکانسی که بلوتوث در آن عمل می‌کند ۲/۴ تا ۲/۴۸ گیگاهرتز است که خارج از محدوده فرایه‌بند قرار دارد. از دیگر نقاط قوت بلوتوث، می‌توان به سهولت در برقراری ارتباط بین سایر دستگاه‌های موجود در مجاورت خود اشاره کرد. بلوتوث برخلاف استاندارد شبکه بی‌سیم IEEE802.11b که اغلب باید به‌طور دستی یک سیگنال را پیدا و سپس هویت آن را مشخص کند، مسئولیتی بر عهده کاربر نمی‌گذارد. به‌همین دلیل برای ارتباط میان اشخاص و یا گجت‌های گوناگون مانند هدفون، موبیل و بلندگو نیز بسیار مناسب است. علاوه بر این، در سیستم‌های RFID و ارسال اطلاعات لازم بین کاربران و سازمان می‌تواند مفید باشد. در نتیجه سرعت و دقت در سیستم اتوماسیون را افزایش می‌دهد [۲۵-۲۳].

به‌همین علت، حجم وسیعی از تقاضا برای استفاده شبکه‌های بلوتوث و فرایه‌بند در کاربردهای گوناگون سیستم‌های بی‌سیم را به وجود آورده است. به‌طور معمول در دستگاه‌های مختلف از آنتن‌های مجزا برای دستیابی به این شبکه‌ها استفاده می‌شود که فضای قابل ملاحظه‌ای را اشغال می‌کند. استفاده از یک آنتن که بتواند شبکه بلوتوث و فرایه‌بند را هم‌زمان پوشش دهد فضای کمتری نیاز دارد. از این‌رو، طراحی یک آنتن با قابلیت دو باندی برای عملکرد در فرکانس‌های بلوتوث و فرایه‌بند با ابعاد فشرده و خصوصیات تشعشعی لازم، چالشی برای طراحان آنتن ایجاد کرده است [۲۶، ۲۷].

در این مقاله یک آنتن تک‌قطبی مسطح دوبانده با قابلیت حذف باند فرکانسی برای کاربردهای بلوتوث و فرایه‌بند ارائه شده است. صفحه تشعشعی آنتن پیشنهادی به نزدیک‌ترین شکل به لوگوی دانشگاه سمنان طراحی شده است. آنتن پیشنهادی برای استفاده روی لباس کارکنان و نیز تجهیزات سیار مناسب است. انگیزه طراحی این آنتن با قابلیت تشعشع در دو باند پرکاربرد ارتباطات بی‌سیم جهت کنترل تردد کارکنان دانشگاه سمنان به‌صورت خودکار و حذف ثبت ورود و خروج دستی است. ایده موجود برای استفاده از سرویس‌های سیستم‌های اتوماسیون دانشگاه، نظیر کتابخانه و سلف سرویس و یا پایش سلامتی و ایمنی در مجموعه نیز قابل توسعه است. برای افزایش جذابیت طرح، حداکثر فشرده‌سازی ابعاد ساختار آنتن نیز مورد توجه قرار گرفته است. ویژگی‌های تشعشعی بیان شده با اندازه‌گیری نمونه ساخته شده، تأیید شده است.

۲- طراحی و شبیه‌سازی آنتن

آنتن پیشنهادی با ابعاد 12×16 میلی‌متر مربع، مطابق شکل ۱ بر روی یک زیرلایه دی‌الکتریک $FR-4$ با ثابت گذردهی الکتریکی نسبی $4/4$ و تانژانت تلفات $0/2$ و ضخامت $0/8$ میلی‌متر قرار دارد. جهت افزایش پهنای باند، یک آنتن تک‌قطبی فشرده با خط تغذیه ریزنواری انتخاب شده است. این آنتن با استفاده از دو عنصر تشعشعی و همچنین با به‌کارگیری از یک زمین ناقص با شکاف نیم‌دایره‌ای، قابلیت عملکرد در دوباند فرکانسی را داراست.



شکل ۱. نمای ساختار آنتن تک قطبی فشرده با قابلیت عملکرد در دو باند فرکانسی

توسط خط ریزنواری پیچدار تغذیه شده است. در این آنتن از یک صفحه زمین کوچک برای دستیابی به پهنای باند وسیع استفاده شده است. پهنای باند ایجاد شده در این ساختار حدود ۴/۱ گیگاهرتز (۷۰٪) است. همان‌طور که در شکل ۲ (ب) مشخص شده به دلیل عدم تطبیق مناسب آنتن در محدوده فرکانس ۸ تا ۱۰ گیگاهرتز قابلیت تشدید ندارد. جهت بهبود عملکرد امیدانسی از یک شکاف منحنی شکل به شعاع $R2$ در صفحه زمین آنتن استفاده شده است. این انحنا شکافی با افزایش سطح عبور جریان برگشتی، ناحیه تشعشعی را افزایش داده و موجب افزایش اثر القایی می‌گردد که به‌عنوان آنتن ۲ معرفی شده است. پهنای باند ساختار پیشنهادی حدود ۹/۹ گیگاهرتز (۱۲۴٪) است که استاندارد فرایه‌ن‌بند را کاملاً پوشش می‌دهد.

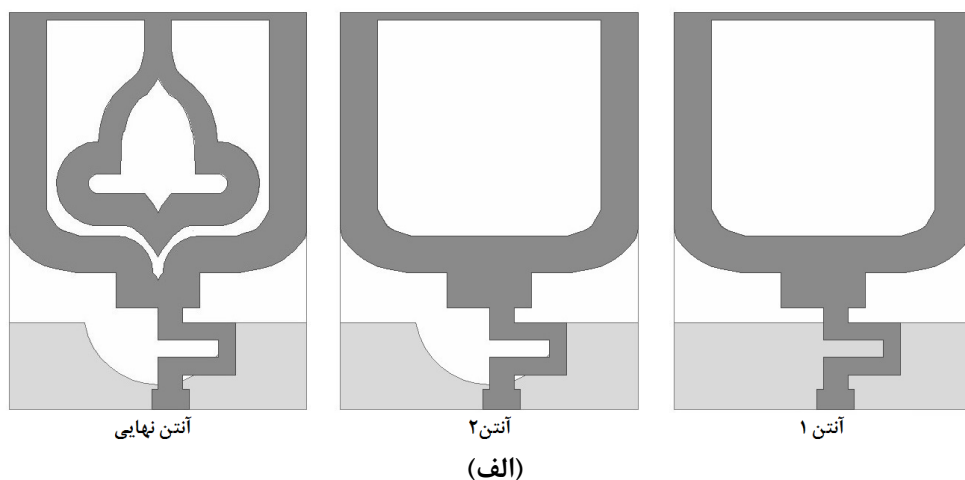
در ادامه مطالعات پارامتری به‌منظور یافتن انحنا شعاعی مطلوب مورد بررسی قرار خواهد گرفت. جهت ایجاد تشدید در باند بلوتوث از یک عنصر قلمی شکل به‌عنوان قسمت داخلی صفحه تشعشعی استفاده شده که با افزایش طول الکتریکی آنتن و نزدیک کردن آن به $\lambda/4$ (در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز) محقق شده است تا آنتنی با قابلیت عملکرد دوباندی به‌دست‌آید.

این ساختار پهنای باند امیدانسی را اندکی کاهش داده است. برای جبران این کاهش پهنای باند و نیز حفظ تشدید در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز از ساختار آنتن تجدیدپذیر استفاده شده است. جایگذاری یک دیود پین با مشخصه BAR64-06 در نقطه اتصال دو عنصر بکار رفته در صفحه تشعشعی امکان فیلتر باند بلوتوث فراهم آمده و آنتن و باندی را به یک آنتن با عملکرد در استاندارد UWB تبدیل می‌کند. طراحی صورت گرفته با بهره‌گیری از مطالعات پارامتری با هدف کمترین انحراف از لوگوی دانشگاه سمنان انجام شده است. در هر سه نمونه از روند تکاملی صفحه زمین به طول $L1$ در نظر گرفته شده تا بهترین تطبیق امیدانسی را نتیجه دهد.

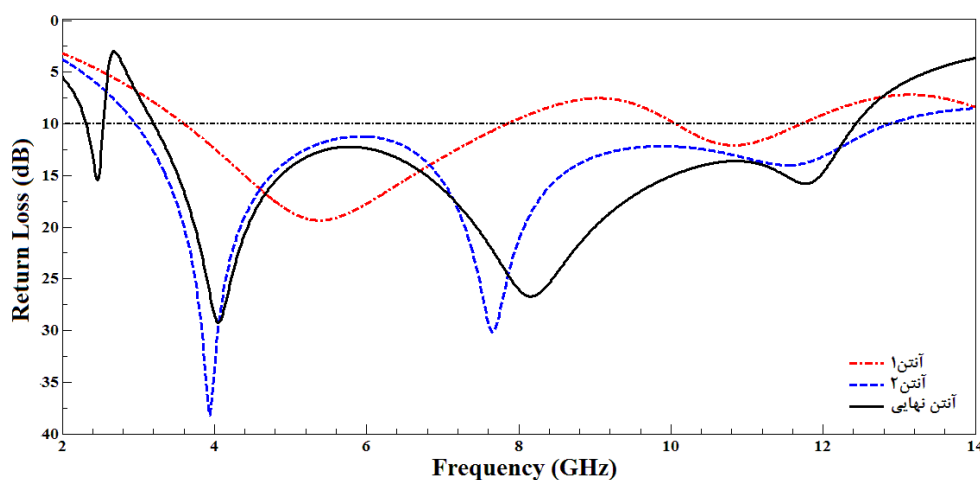
آنتن‌های میکرواستریپ با ساختار عادی دارای طولی برابر نصف طول موج فرکانس تشدید هستند. جهت کاهش ابعاد آنتن و همچنین افزایش پهنای باند آنتن قسمت میانی صفحه تشعشعی برداشته شده است. این برش موجب افزایش میدان‌های لبه‌ای شده و نیز مقدار طول عبوری جریان سطحی آنتن را افزایش خواهد داد که در نهایت کاهش فرکانس کاری آنتن در کمتر از یک‌چهارم طول موج ساختار شبه حلقه‌ای را به دنبال دارد. بنابراین، آنتن با استفاده از ساختار شبه حلقه با طول کمتر از $\lambda/4$ قادر به تشدید در فرکانس مربوطه خواهد بود. صفحه تشعشعی آنتن را یک صفحه مستطیل حلقه‌ای با سه بازو به عرض $W7$ با دو گوشه منحنی شکل و نیز یک بازو با عرض $L2$ که ضلع فوقانی صفحه محسوب می‌شود تشکیل شده است. این ساختار با افزایش لبه صفحه تشعشعی، میزان تشعشع را افزایش می‌دهد. جهت بهبود پهنای باند امیدانسی یک صفحه زمین کوچک طراحی شده است. در واقع صفحه زمین کوچک‌شده با کاهش ضریب کیفیت آنتن، پهنای باند وسیعی ایجاد خواهد کرد.

لوگوی دانشگاه از دو بخش اصلی تشکیل شده است. قسمت بیرونی آن مانند صفحه تشعشعی آنتن شامل مستطیلی با دو گوشه منحنی شکل است. این ساختار عملکرد آنتن در محدوده فرایه‌ن‌بند را فراهم می‌کند. قسمت داخلی لوگو با طرحی به شکل خودنویس به صفحه تشعشعی آنتن اضافه گردیده است. ابعاد بازوها و ضخامت آن با استفاده از روش پارامتری به‌گونه‌ای انتخاب شده که ضمن حفظ ساختار اصلی لوگو طول الکتریکی لازم جهت تشدید در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز را فراهم نماید. برای درک بهتر نحوه تأثیر شکاف‌ها و بازوهای اضافه‌شده به ساختار اولیه، چند مرحله از طراحی آنتن مورد بررسی قرار گرفته است.

شکل ۲ (الف) روند تکاملی آنتن را به تصویر می‌کشد. در آنتن ۱ ساختار اولیه صفحه مستطیلی شکاف‌دار با دو گوشه منحنی شکل،

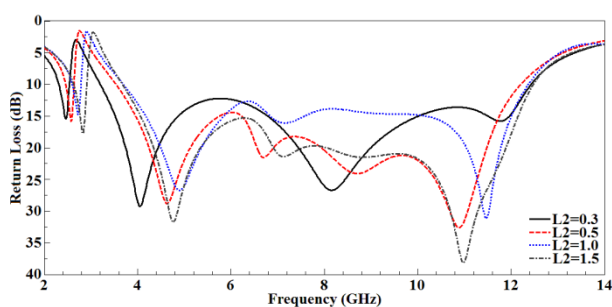


(الف)

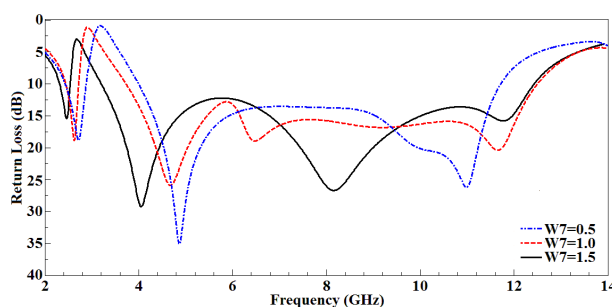


(ب)

شکل ۲. (الف) روند تکاملی آنتن. (ب) پاسخ افت برگشتی سه مرحله از آنتن



شکل ۳. منحنی افت برگشتی برای پارامتر L_2



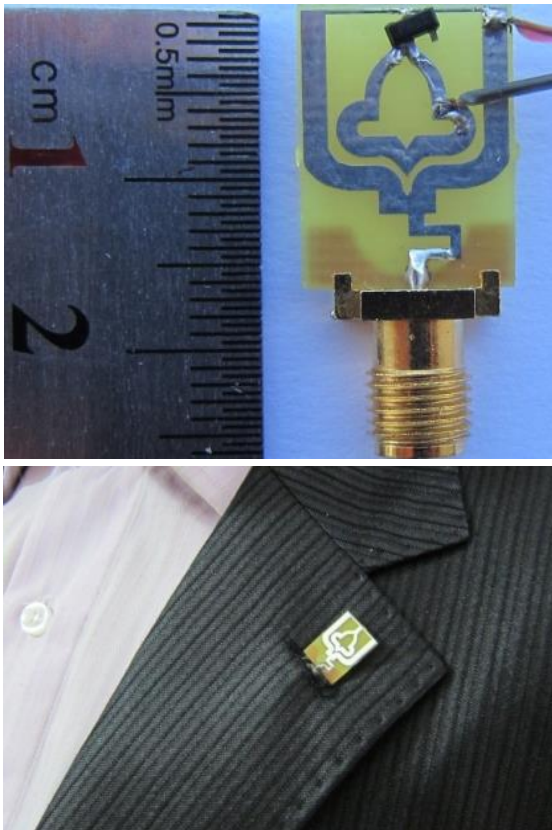
شکل ۴. منحنی افت برگشتی نسبت به تغییرات W_7

۲-۱- مطالعات پارامتری

برای دستیابی به طرح بهینه، مطالعه پارامتری بر روی ابعاد مختلف انجام شده که بررسی پارامترهای مؤثر در ادامه بیان شده است. تغییرات مربوط به هر متغیر با ثابت نگه داشتن سایر ابعاد انجام شده است. برای آنالیز پارامترهای آنتن از نرم افزار HFSS v.13 استفاده شده است.

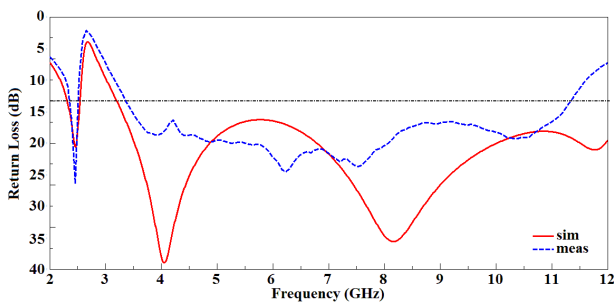
در شکل ۳ تأثیر تغییر اندازه ضلع بالایی آنتن متصل به صفحه داخلی (L_2) نشان داده شده که باعث عملکرد در فرکانس‌های پایین‌تر مربوط به هر دو باند بلوتوث و فرایه‌بند می‌شود.

هرچه ضخامت ضلع فوقانی صفحه تشعشعی باریک‌تر شود، ظرفیت القایی در فرکانس $3/2$ گیگاهرتز افزایش یافته و تطبیق لازم جهت تشعشع فراهم می‌شود. پاسخ افت برگشتی مربوط به تغییرات پارامتر W_7 در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش پهناي اضلاع کناری صفحه بیرونی (W_7) تغییرات محسوسی در بازه فرکانسی $3/2$ تا 4 گیگاهرتز صورت می‌گیرد و رفتار تشدیدي ساختار را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، در فرکانس $2/4$ گیگاهرتز حالت تنظیم‌کنندگی دارد.

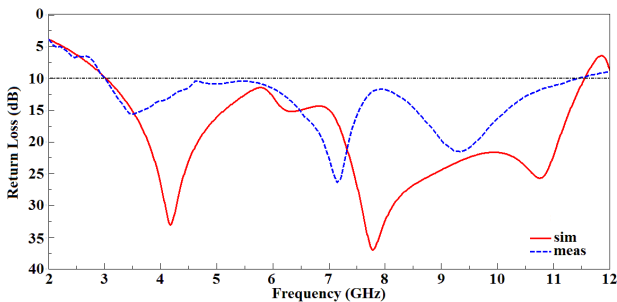


شکل ۶. ابعاد آنتن تجدیدپذیر با مدار بایاس و تعبیه شده روی لباس

شکل ۷ نیز مقایسه منحنی پاسخ اندازه‌گیری و شبیه‌سازی افت برگشتی آنتن را نشان می‌دهد. در شکل ۷ (الف) با تغذیه دیود، سوئیچ در حالت بسته قرار داشته و جریان سطحی در هر دو عنصر بیرونی و داخلی آنتن توزیع شده است.



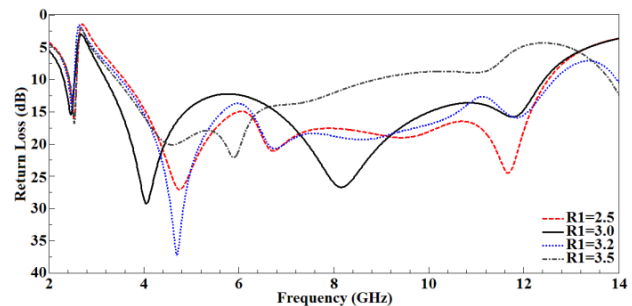
(الف)



(ب)

شکل ۷. مقایسه منحنی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری افت برگشتی در دو حالت دیود (الف) روشن، (ب) خاموش

در آخرین بررسی پارامتری نیز تغییرات شعاعی منحنی شکاف روی صفحه زمین (RI) ارزیابی شده است. نتایج افت برگشتی با تغییر RI بیانگر آن است که این شکاف، تطبیق در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز بلوتوث را تثبیت نموده، اما باعث جابجایی و کاهش پهنای باند آنتن با حذف فرکانس‌های بالاتر می‌شود. هر سه پارامتر بررسی شده نقش اساسی در تعیین ظرفیت القایی آنتن داشته‌اند که با بهره‌گیری از روش پارامتری، ابعاد بهینه جهت طراحی استفاده شده است. تمامی مقادیر پارامترهای بکار رفته در طرح نهایی آنتن پیشنهادی در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۵. منحنی افت برگشتی برای مقادیر مختلف $R1$

جدول ۱ مقادیر پارامترهای استفاده شده در طراحی آنتن

پارامتر	اندازه (mm)	پارامتر	اندازه (mm)
Ws	۱۲	Ls	۱۶
W1	۱/۵	L1	۳/۵
W2	۴/۸	L2	۰/۳
W3	۲/۱	L3	۰/۸
W4	۰/۷	L4	۳/۲
W5	۳/۱	L5	۱/۳
W6	۷/۴	L6	۱/۴
W7	۱/۵	L7	۲/۱
W8	۵	L8	۹
W9	۳	R1	۳
W10	۱/۲	R2	۱/۶

۳- بحث و نتایج اندازه‌گیری آنتن

شکل ۶ آنتن ساخته شده بر روی زیرلایه فایبرگلاس را به همراه مدار بایاس آن و نیز جایگذاری آنتن تک‌قطبی به‌عنوان آرم دانشگاه بر روی جلوی لباس را نمایش می‌دهد. برای عملکرد تجدیدپذیری آنتن از یک دیود پین استفاده شده است. همچنین برای آنتن به‌عنوان پلاک روی لباس از آنتن تک‌قطبی دوباندی بدون دیود بکار رفته است. جهت تغذیه آنتن تعبیه شده بر روی لباس از یک کابل کوآکسیال به شماره RG142 با طول ۵ سانتی‌متر استفاده شده و در تست نیز افت برگشتی آن اندازه‌گیری شده است که پاسخ یکسانی مانند حالت روشن دیود آنتن تجدیدپذیر نتیجه می‌دهد.

همان‌طور که نشان داده شده، الگوی تابشی آنتن در فرکانس‌های مختلف تقریباً یکسان و همه‌جهته دارد. این آنتن در صفحه H دارای تشعشعی همه‌جهته و در صفحه E دارای دوگلب‌برگ اصلی است. برای بررسی پاسخ افت برگشتی باید آنتن در فاصله نزدیک نسبت به یک مدل بافت از بدن انسان (به اندازه ضخامت لباس) قرار گیرد. طبق بررسی انجام‌شده برای معادل‌سازی مدل حجمی نیاز به یک شبه‌بافت با خواص الکترومغناطیسی متغیر با فرکانس (بر اساس استاندارد FCC) است. بر اساس تحقیقات گزارش‌شده حداقل ابعاد مورد نیاز حدود $32 \times 70 \times 70$ mm³ است [۴]. با توجه به حداقل فاصله میان آنتن و بدن انسان که به اندازه ضخامت لباس تعیین شده، حداقل فاصله ۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

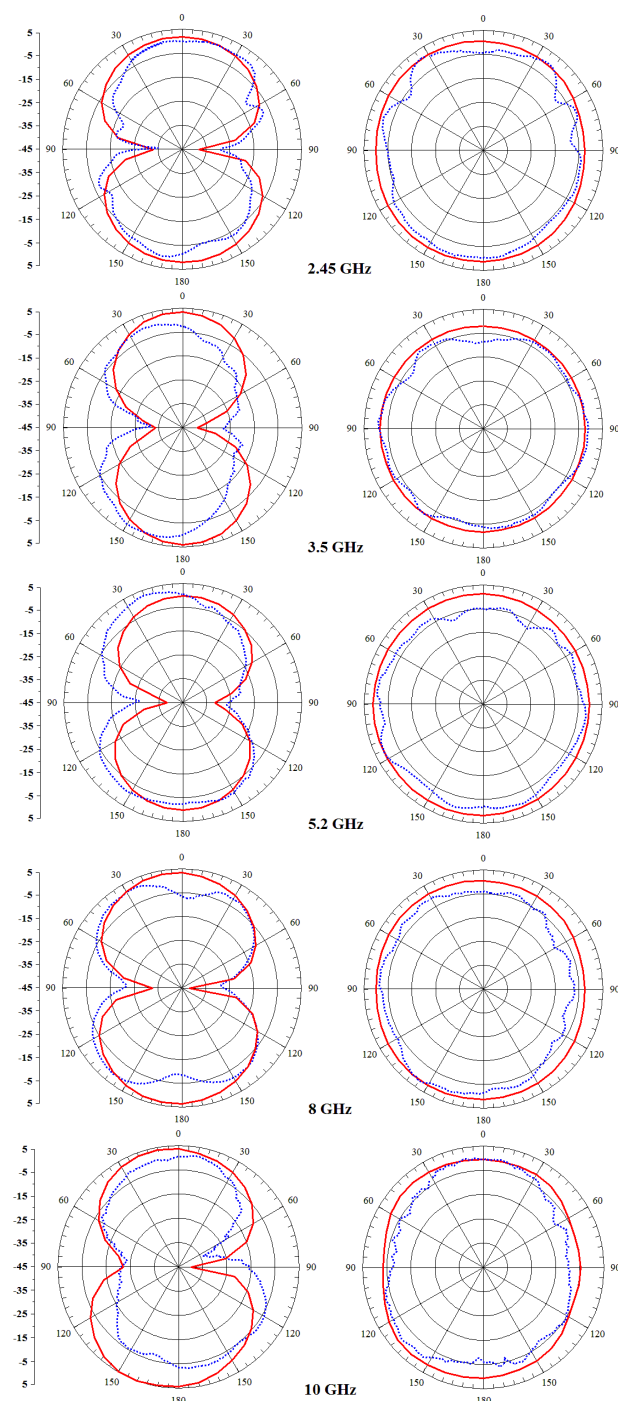
لذا آنتن از نوع آنتن‌های خارج از بدن (off body) بوده و با توجه به میزان توان قابل استفاده در این سیستم‌ها (در بازه ۱۹ تا ۲۳ dBm) بر روی بافت انسان اثرات جذب مخرب نداشته است. همچنین این اثر بر روی خصوصیات تشعشعی در هنگام تست در حد نوسانی بسیار جزئی بوده است. در هنگام تست الگوی تشعشعی به علت نصب روی پایه جهت چرخش در صفحات E و H مطابق شکل در عمل اندازه‌گیری بر روی بافت بدن امکان‌پذیر نبوده است.

الگوی تشعشعی میدان دور آنتن پیشنهادی در صفحات E و H به صورت قطبی‌شدگی موازی برای فرکانس‌های مختلف در طول بازه امپدانس اندازه‌گیری شده است. شکل ۹ نمای از چیدمان اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن در آزمایشگاه آنتن پژوهشگاه فناوری اطلاعات و ارتباطات را نشان می‌دهد.



شکل ۹. چیدمان اندازه‌گیری الگوی تشعشعی آنتن برای تست در صفحات E و H در حالت قطبی‌شدگی موازی

با خاموش نمودن دیود پین (قطع تغذیه) سوئیچ در حالت باز قرار گرفته و توزیع جریان به صورت مستقیم از روی عنصر داخلی قطع شده و تنها به صورت تزویج بر روی آن جریان دارد. این جریان تزویج‌شده موجب کاهش تطبیق آنتن در فرکانس بالاتر از ۱۱/۴ گیگاهرتز می‌شود. این کاهش پهنای باند امپدانس موجب جلوگیری از تداخل آنتن در بیرون بازه فرکانسی فرایه‌بند می‌شود. در شکل ۸ پاسخ اندازه‌گیری شده نمودار دوبعدی میدان تشعشعی را در مقایسه با نتایج به دست آمده در محیط شبیه‌سازی نمایش داده است.

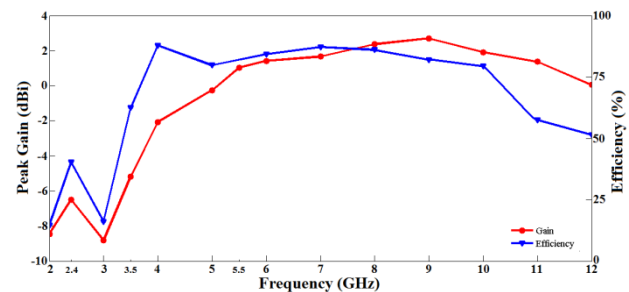


شکل ۸. الگوی تشعشعی آنتن در فرکانس‌های ۵/۲، ۳/۵، ۸، و ۱۰ گیگاهرتز برای صفحات E و H (شبه‌سازی —، اندازه‌گیری ...)

مراجع

- [1] P. Nepa and H. Rogier, "Wearable antennas for off-body radio links at VHF and UHF bands: challenges, the state of the art, and future trends below 1 GHz," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 57, no. 5, pp. 30-52, Oct. 2015.
- [۲] فرهاد خسروی افوسی، محمدنقی آذرمنش و جواد نوری‌نیا، ((به‌کارگیری ساختارهای EBG به‌منظور افزایش پهنای باند و دایرکتیویته آنتن میکرواستریپ))، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز* دوره ۴۳، شماره ۲، صفحه ۸-۱، ۱۳۹۲.
- [3] N. Chahat, M. Zhadobov, R. Sauleau and K. Ito, "A compact UWB antenna for on-body applications," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 59, no. 4, pp. 1123-1131, April 2011.
- [4] X. Q. Zhu, Y. X. Guo and W. Wu, "miniaturized dual-band and dual-polarized antenna for MBAN applications," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 64, no. 7, pp. 2805-2814, July 2016.
- [5] M. Mantash, A. C. Tarot, S. Collardey and K. Mahdjoubi, "Design methodology for wearable antenna on artificial magnetic conductor using stretch conductive fabric," *Electronics Letters*, vol. 52, no. 2, pp. 95-96, 2016.
- [6] S. Yan and G. A. E. Vandenbosch, "Wearable antenna with tri-polarisation diversity for WBAN communications," *Electronics Letters*, vol. 52, no. 7, pp. 500-502, 2016.
- [7] G. Monti, L. Corchia, E. De Benedetto and L. Tarricone, "Wearable logo-antenna for GPS-GSM-based tracking systems," *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 10, no. 12, pp. 1332-1338, 2016.
- [8] M. S. Mahmud and S. Dey, "Design, performance and implementation of UWB wearable logo textile antenna," *15th Int. Symposium on Antenna Tech. and Applied Electromagnetics (ANTEM)*, Toulouse, pp. 1-4, 2012.
- [9] G. Monti, L. Corchia and L. Tarricone, "Textile logo antennas," *Proceedings of Mediterranean Microwave Symp.*, Marrakech, pp. 1-5, 2014.
- [10] B. Sanz-Izquierdo, J. C. Batchelor and M. Sobhy, "UWB wearable button antenna," *First European Conference on Antennas and Propagation*, Nice, pp. 1-4, 2006.
- [11] N. Nishiyama, N. Michishita and H. Morishita, "SAR reduction of helmet antenna composed of folded dipole with slit-loaded ring," *Int. Symp. on Antennas and Propag.*, pp. 1-2, 2015.
- [12] A. Ruaro, J. Thaysen and K. B. Jakobsen, "Wearable shell antenna for 2.4 GHz hearing instruments," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 64, no. 6, pp. 2127-2135, June 2016.
- [13] S. Hong, S. H. Kang, Y. Kim and C. W. Jung, "Transparent and flexible antenna for wearable glasses applications," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 64, no. 7, pp. 2797-2804, 2016.
- [14] S. W. Su and Y. T. Hsieh, "Integrated Metal-Frame Antenna for Smartwatch Wearable Device," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 63, no. 7, pp. 3301-3305, July 2015.

پاسخ مربوط به تغییرات بهره و راندمان تشعشی آنتن طراحی شده در بازه فرکانسی ۲ تا ۱۲ گیگاهرتز در شکل ۱۰ ارائه شده است. تغییرات بهره تشعشی آنتن با توجه به ابعاد بسیار کوچک ساختار آن و نیز کارهای مشابه مناسب است.



شکل ۱۰. بهره و راندمان تشعشی آنتن

همچنین راندمان تشعشی آنتن به دلیل استفاده ساختار شکافی و زمین کوچک که موجب کاهش ضریب کیفیت می‌شود، مناسب بوده و حداقل مقدار آن در حدود ۳۰٪ در بلوتوث و در بازه فرایه‌ن باند در محدوده ۷۰ تا ۸۰ درصد به‌دست آمده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک آنتن تک‌قطبی مسطح فشرده دوباندی با ابعاد 16×12 میلی‌متر مربع بر روی زیرلایه FR-4 با ثابت گذردهی نسبی $4/4$ و ضخامت $0/8$ میلی‌متر با قابلیت عملکرد در فرکانس‌های بلوتوث و فرایه‌ن باند ارائه شده است. آنتن پیشنهادی برای سیستم پوشیدنی و برای به‌کارگیری در مجاورت بدن طراحی شده است. آنتن پیشنهادی برای نصب بر روی لباس و به‌منظور سیستم کنترل تردد خودکار کارکنان دانشگاه معرفی شده است. بنابراین، طراحی آنتن با هدف نزدیک‌ترین طرح به لوگوی دانشگاه سمنان صورت گرفته است. اندازه‌گیری برای هر دو وضعیت دیود صورت گرفته است. نتایج اندازه‌گیری افت برگشتی و الگوی تشعشی آنتن بیانگر پوشش تشعشی مناسب آنتن در باندهای بلوتوث $2/34$ تا $2/51$ و نیز UWB در وضعیت دیود روشن است. در وضعیت خاموش دیود پوشش باند بلوتوث حذف می‌شود. طراحی برای استفاده از سایر سرویس‌های دانشگاه اعم از کتابخانه، سلف، ایمنی و پایش سلامتی و نیز لوگوی سایر ادارات و دانشگاه‌ها قابل توسعه است.

۵- سپاسگزاری

این مقاله با حمایت دانشگاه سمنان صورت گرفته است. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله کمال تشکر خود را از کارکنان آزمایشگاه آنتن پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات به‌ویژه آقایان اخلاق‌پسندی، میرعبدالهی و صولت برای همکاری صمیمانه‌شان ابراز می‌دارند. همچنین از نکات ارزشمند داوران محترم و نیز دقت‌نظر ویراستار مجله در جهت بهبود کیفیت مقاله صمیمانه قدردانی می‌شود.

- Antennas and Propag., vol. 63, no. 11, pp. 5035-5044, Nov. 2015.
- [22] H. Bahrami, S. A. Mirbozorgi, R. Ameli, L. A. Rusch and B. Gosselin, "Flexible polarization-diverse UWB antennas for implantable neural recording systems," *IEEE Trans. on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 38-48, 2016.
- [23] Z. H. Jiang, D. E. Brocker, P. E. Sieber and D. H. Werner, "A compact, low-profile metasurface-enabled antenna for wearable medical body-area network devices," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 8, pp. 4021-4030, Aug. 2014.
- [24] Z. H. Jiang, M. D. Gregory and D. H. Werner, "Design and experimental investigation of a compact circularly polarized integrated filtering antenna for wearable biotelemetric devices," *IEEE Trans. on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 328-338, April 2016.
- [25] K. Agarwal, Y. X. Guo and B. Salam, "Wearable AMC backed near-endfire antenna for on-body communications on latex substrate," *IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 346-358, 2016.
- [26] M. Bod, H. R. Hassani and M. M. Samadi Taheri, Compact "UWB printed slot antenna with extra bluetooth, GSM, and GPS bands," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Letters*, vol. 11, pp. 531-534, 2012.
- [27] M. M. SamadiTaheri, H. R. Hassani and S. M. Ali Nezhad, "UWB printed slot antenna with bluetooth and dual notch bands," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Letters*, vol. 10, pp. 255-258, 2011.
- [15] B. Hu, G. P. Gao, L. L. He, X. D. Cong and J. N. Zhao, "Bending and on-arm effects on a wearable antenna for 2.45 GHz body area network," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Letters*, vol. 15, pp. 378-381, 2016.
- [16] T. Björninen and F. Yang, "Low-profile head-worn antenna with a monopole-like radiation pattern," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Letters*, vol. 15, pp. 794-797, 2016.
- [17] E. Moradi et al., "Miniature implantable and wearable on-body antennas: towards the new era of wireless body-centric systems [antenna applications corner]," *IEEE Antennas and Propag. Magazine*, vol. 56, no. 1, pp. 271-291, Feb. 2014.
- [18] M. G. N. Alsath and M. Kanagasabai, "Compact UWB monopole antenna for automotive communications," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 63, no. 9, pp. 4204-4208, 2015.
- [19] M. Ur-Rehman, Q. H. Abbasi, M. Akram and C. Parini, "Design of band-notched ultra-wideband antenna for indoor and wearable wireless communications," *IET Microwaves, Antennas & Propag.*, vol. 9, no. 3, pp. 243-251, 2015.
- [۲۰] آزاده ایمانی، جواد نوری نیا و چنگیز قبادی، ((آنتن دایورسیتی مسطح جدید پهن باند جهت استفاده در ارتباطات سیار،)) مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۰، شماره ۲، صفحه ۱۹-۱۳، ۱۳۸۹.
- [21] R. Bharadwaj, C. Parini and A. Alomainy, "Experimental investigation of 3-D human body localization using wearable ultra-wideband antennas," *IEEE Trans. on*

زیر نویس ها

† Federal Communication Commission

‡ Indoor position

§ Automotive communication

¶ Body area network (BANs)

∗ Wearable device

∧ Implant device