طراحی آنتن مایکرواستریپی مسطح چند ورودی، چند خروجی برای کاربردهای باند LTE

حسین جعفرنژاد [۱] **یاشار زهفروش** [۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد- گروه برق، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

hjafarnezhad@gmail.com

۲- دانشیار- گروه برق، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

y.zehforoosh@srbiau.ac.ir

چکیده: در این مقاله، یک آنتن چند ورودی/چند خروجی جهت استفاده در سامانه‌های LTE معرفی‌شده است. این آنتن از یک پچ مشترک، دو زمین و خط تغذیه جداگانه برای هر پورت تشکیل یافته که جهت کاهش کوپلینگ بین پورت‌ها، دو خط تغذیه به‌صورت عمود بر هم قرار داده‌شده‌اند. همچنین یک شکاف T شکل در آن جهت بهبود ایزولاسیون بین دو پورت تعبیه‌شده است. در این طراحی از دو المان تشعشعی L شکل که توسط دو سوراخ متالیزه شده به پچ وصل هستند، جهت تولید دو فرکانس رزونانسی استفاده‌شده است. ابعاد فیزیکی آنتن ۳۷/۵×۳۸ میلی‌متر مربع بوده و آنتن بعد از بهینه‌سازی ساخت و تست‌شده است. در این آنتن هنگام تحریک پورت شماره یک، باند فرکانسی ۲/۹۶-۱/۶۹ گیگاهرتز را پوشش داده و در پورت شماره دو باند فرکانسی ۲/۶۷-۱/۹۲ گیگاهرتز را پوشش می‌دهد و طبق نتایج اندازه‌گیری شده از ایزولاسیون خوبی (کمتر از ۱۰- دسی‌بل) بین دو پورت برخوردار بوده و دارای ضریب پایینی برای کوپلینگ بین دو پورت است. بنابراین این آنتن برای کاربردهای باند LTE مناسب است.

واژه‌های کلیدی: آنتن مایکرواستریپی ، آنتن مسطح ، سیستم چند ورودی- چند خروجی، LTE

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۶/۷/۴

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۴

نام نویسنده‌ی مسئول : دکتر یاشار زهفروش

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - ارومیه - بلوار فرودگاه - دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.11.2]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018

۱- مقدمه

به زبان ساده، LTE تنها نسل بعدی فن‌آوری بی‌سیم نیست، بلکه یک استانداردی در حال حرکت و پیشرفت است و همراه با گذر زمان بهبود می‌یابد. بسیاری بر این باورند که LTE تا دهه آینده و یا حتی قبل از آن استانداردی برای شبکه‌های سلولی خواهد بود. LTE مخفف کلمات Long Term Evolution و به معنی"تحول طولانی‌مدت" است. LTE فن‌آوری است که پروژه مشارکت نسل سوم (گروهی که مسئول استانداردسازی و بهبود سیستم جهانی ارتباطات موبایل و یا همان UMTS هستند) به‌عنوان گام بعدی خود تعیین کرده است. LTE از دو شبکه رادیویی مختلف برای ارسال و دریافت اطلاعات از دکل مخابراتی تا گوشی همراه کاربر استفاده می‌کند، برای دریافت اطلاعات از با OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) استفاده می‌کند[۱].

MIMO (Multiple-Input/Multiple-Output) به معنای ورودی‌ها و خروجی‌های مختلف است[۲]، با این قابلیت کاربر می‌تواند از دو و یا چند آنتن در ارسال و دریافت اطلاعات و افزایش سرعت ارتباطی خود با استفاده از کانال مشخص‌شده استفاده نماید[۳]. سیستم های MIMOبه عنوان یک گزینه مناسب جهت استفاده در ارتباطات LTE همواره مطرح بوده اند. در LTE استاندارد می‌توان به تعداد ۴×۴ درگاه را تنظیم نمود. (عدد اول تعداد آنتن ارسال‌کننده و عدد دوم تعداد آنتن دریافت‌کننده است.) برای ارسال اطلاعات (از گوشی همراه به دکل مخابراتی) LTE از سیگنال SC-FDMA که مخفف (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) است استفاده می‌کند. بیشتر دستگاه‌های LTE دارای سیگنال با توان بالا برای ارسال اطلاعات نیستند و SC-FDMA در مقابل OFDMA برای ارسال اطلاعات به دلیل قدرت بالا مناسب‌تر است[۴]. در جهان سیستم LTE در باندهای فرکانسی مختلفی از قبیل ۷۰۰ / ۸۰۰ /۸۵۰ / ۹۰۰ /۱۷۰۰/ ۱۸۰۰/ ۲۱۰۰ / ۲۳۰۰ / ۲۶۰۰ مگاهرتز فعالیت می‌کند، که این سیستم در ایران در باندهای فرکانسی ۱۸۰۰ و ۲۳۰۰ مگاهرتز فعالیت دارد[۴].

از سوی دیگر یک آنتن در سامانه‌های مخابراتی نقش حیاتی بازی می‌کند. بااین‌حال طراحی یک آنتن که بتواند علاوه بر پوشش باند فرکانسی، تشعشع همه جهته در کل محدوده فرکانسی خود داشته باشد به‌عنوان یک چالش بزرگ به شمار می‌آید. برای این نوع از کاربردها، آنتن‌های تک‌قطبی چاپی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خوبی مانند، پهنای باند امپدانسی بالا، ساخت آسان و تشعشع قابل‌قبول از محبوبیت بیشتری برخوردار هستند. آنتن‌های چاپی با نوع‌های مختلفی از تغذیه چون موج‌بر هم‌سطح، کواکسیال و مایکرواستریپ با ساختارهای متنوع و کارکردهای متفاوت بهترین انتخاب برای رفع نیازهای سامانه‌های فراپهن باند هستند. یکی از مشکلات اساسی که در طراحی شبکه‌های بی‌سیم بایستی حل شود، این است که اجسام سخت امواج رادیویی را منعکس می‌کنند و یک موج می‌تواند چندین بار (و از مسیرهای مختلف) به گیرنده برسد. این تداخل امواج باعث بروز حالتی می‌شود که به آن محوشدگی چندمسیره می‌گویند. همچنین سامانه‌های تک ورودی/تک خروجی درزمینه سرعت انتقال داده و کیفیت سرویس مشکل داشتند، زیرا اگر شرایط یک کانال برای برقراری ارتباط بی‌سیم مناسب نباشد، چاره‌ای به‌جز افزایش توان در فرستنده نداریم، که این هم باعث افزایش تداخل با دیگر سامانه‌های بیسیم می‌شود. به همین دلیل جستجو برای یافتن یک‌راه حل، منجر به آنتن‌های چندگانه در دو طرف فرستنده و گیرنده شد. سامانه‌های چند ورودی/چند خروجی از مزایای مسیرهای چندگانه و متنوع استفاده می‌کنند. در سالهای اخیر تقاضا برای سامانه‌های با نرخ داده بالا در ارتباطات بی‌سیم، لزوم به‌کارگیری فن‌آوری جدید که بتواند کارایی طیفی سیستم را به نحو چشمگیری افزایش دهد احساس می‌شود. سامانه‌های چند ورودی/چند خروجی در مقایسه با سامانه‌های معمول تک ورودی/تک خروجی، می‌توانند یک ارتباط بی‌سیم با کارایی طیفی و قابلیت اطمینان بالا را فراهم کنند، و مشکل محو شوندگی با استفاده از تکنیک چندکاناله را در حد قابل‌قبولی کاهش دهند. سامانه‌های چند ورودی/چند خروجی، جهت ارتقاء کیفیت ارتباط بیسیم در محیط‌های چند مسیری برای سیگنال از چند آنتن به‌عنوان گیرنده و فرستنده استفاده می‌کنند[۵]. با توجه به امتیازات این سامانه‌ها، استفاده از آن‌ها در استانداردهای مختلف فرکانسی از قبیل UWB، LTE و ... همواره توصیه می‌شود. تاکنون آنتن‌های چند ورودی/چند خروجی متعددی ارائه‌شده است که در ادامه به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌کنیم. در مرجع [۶] یک آنتن چند ورودی/چند خروجی ۴×۴ برای باند UWB ارائه‌شده است. این آنتن دارای دو باند فیلتر شده در باند فرکانسی WLAN و WiMAX است. این آنتن دارای ابعاد ۰/۸×۵۶×۵۶ میلی‌متر مکعب بوده و از چهار پچ تشعشعی که به‌صورت عمود بر روی صفحه زمین قرارگرفته شده‌اند تشکیل‌شده است. در مرجع [۷] یک آنتن چند ورودی/چند خروجی برای کاربردهای UWB ارائه‌شده است. این طراحی از دو آنتن با شکافه‌ای باز L شکل و یک شکاف باریک در ساختار زمین تشکیل‌شده است. جهت دستیابی به ایزولاسیون بالا، دو آنتن به‌صورت عمود بر هم در کنار هم قرارگرفته‌اند. همچنین شکاف باریک در ساختار زمین جهت کاهش تزویج متقابل بین دو المان آنتن در فرکانس‌های پایین (۴/۵-۳ گیگاهرتز) در نظر گرفته‌شده است. در مرجع [۸] یک آنتن MIMO شش بانده ارائه شده است که از دو آنتن تک‌قطبی خمیده مشابه تشکیل‌شده است. این دو آنتن تک‌قطبی توسط یک خط خنثی‌ساز به هم متصل شده‌اند. این آنتن LTE700، GSM1800، GSM1900، LTE2300 و LTE2500 را پوشش داده و برای کاربردهای WLAN در باند ۲/۴ گیگاهرتز مناسب است. این آنتن بر روی یک زیرلایه FR4 به ابعاد ۱۰۰×۴۰ میلی‌متر مربع و ضخامت ۱/۶ میلی‌متر چاپ‌شده است. در این ساختار هر آنتن تک‌قطبی از یک

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.11.2]

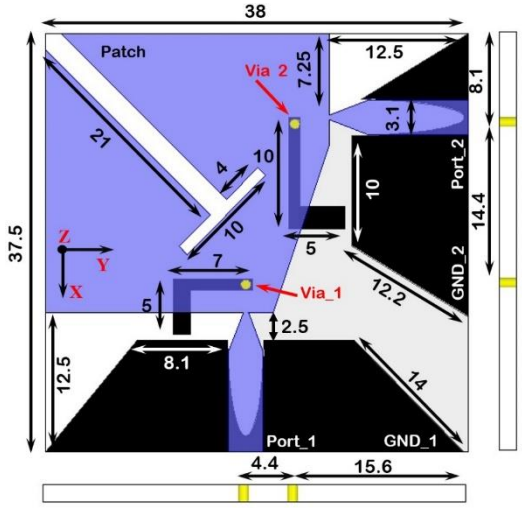
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter 2018

خط‌چین دار به عرض ۱ میلی‌متر و طول کلی ۲۱۷/۴۷ میلی‌متر تشکیل‌شده است، که می‌تواند چهار رزونانس در فرکانس‌های ۷۹۳ مگاهرتز و ۱/۶۷، ۱/۹ و ۲/۵ گیگاهرتز ایجاد نماید. در این طراحی یک خط خنثی‌ساز و یک پچ مستطیلی بین دو آنتن تک‌قطبی قرار داده‌شده است. در مرجع [۹] یک آنتن کوچک باقابلیت ایجاد تنوع در نوع الگوی تشعشعی و پلاریزاسیون برای کاربردهای باند WLAN در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز با ایزولاسیون خوب بین دو پورت ارائه‌شده است. در این طراحی با ایجاد فاصله ۰/۰۲۹λ (λ طول‌موج در فضای آزاد برای فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز) بین دو تشدیدکننده، ایزولاسیون لازم برای عملکرد خوب آنتن در این فرکانس فراهم می‌شود. در مرجع [۱۰] یک آنتن سه بانده پیفا(PIFA) و در مرجع [۱۱] یک آنتن دوبانده چهار پورتی شامل چهار شکاف دایروی بر روی زمین ارائه‌شده اند. در این مقاله یک آنتن مایکرواستریپی مسطح MIMO برای کاربردهای LTE ارائه شده است که شامل یک شکاف T شکل در پچ تشعشعی جهت بهبود ایزولاسیون بین دو پورت است. در این طراحی از دو المان تشعشعی L شکل که توسط دو سوراخ متالیزه شده به پچ وصل هستند، جهت تولید دو فرکانس رزونانسی استفاده‌شده است.. در بخش‌های بعد نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها توسط نرم‌افزار HFSS بررسی و بحث می‌شود.

۲- طراحی آنتن

آنتن پیشنهادی در این مقاله یک آنتن تک‌قطبی دو پورت است که با استفاده از فن‌آوری چاپ روی فیبر مدار چاپی ساخته‌شده است. در این آنتن از یک فیبر مدار چاپی از جنس FR4 با ضریب گذردهی ۴/۴ و تانژانت تلفات ۰/۰۲ به‌عنوان زیرلایه استفاده‌شده است. ضخامت این زیرلایه ۱/۶ میلی‌متر بوده و کل اندازه زیرلایه ۳۸×۳۷/۵ میلی‌متر مربع است. شکل ۱ پیکربندی آنتن پیشنهادی در این مقاله را نمایش می‌دهد. همچنین یک کانکتور جهت ارتباط آنتن با موجبر به انتهای خط تغذیه آن وصل شده است. این آنتن از یک پچ مربعی شکل که گوشه پایین سمت راست آن جهت چرخش بهتر جریان‌های سطحی برش داده‌شده است [۹]، دو زمین ذوزنقه‌ای با یک برش نیم بیضوی جهت تطبیق امپدانسی بهتر برای هر پورت تشکیل‌شده است[۱۲]. هر دو پورت توسط یک خط ریزنوار با عرض ۳/۱ میلی‌متر جهت به دست آوردن تطبیق امپدانسی ۵۰ اهمی تغذیه می‌شوند. نوآوری اصلی این مقاله استفاده از المان‌های L شکل به‌عنوان تشدیدگر می‌باشد که توسط دو سوراخ پرشده از هادی که لایه بالایی را به المان‌های تشدیدگر اتصال می‌دهد می‌باشد.

در این طراحی سعی شده است که با مجزا کردن صفحه زمین برای هر پورت و قرار دادن خطوط تغذیه به‌صورت عمود بر هم ایزولاسیون بین پورت‌ها فراهم شود[۷]. همچنین با اعمال یک شکاف T شکل در گوشه پچ تشعشعی ایزولاسیون بین دو پورت را افزایش داده‌ایم. برای به دست آوردن مقادیر بهینه و ابعاد مناسب پارامترهای آنتن، توسط نرم‌افزار HFSS Ver.13 شبیه‌سازی‌های لازم به‌عمل‌آمده و پس از انجام تحلیل پارامتری برای آنتن، مقادیر نهایی به‌دست‌آمده‌اند. شکل ۱ پیکربندی آنتن پیشنهادی را نشان می‌دهد. تمام اندازه‌ها و ابعاد در این شکل مشخص‌شده و مقادیر در واحد میلی‌متر می‌باشند. در این طراحی دو سوراخ که پچ تشعشعی را به دو المان L شکل در صفحه زمین متصل می‌کنند، وظیفه ایجاد رزونانس در فرکانس‌های موردنیاز را به عهده‌دارند.



شکل (۱): پیکربندی آنتن پیشنهادی در این مقاله (ابعاد به میلی‌متر)

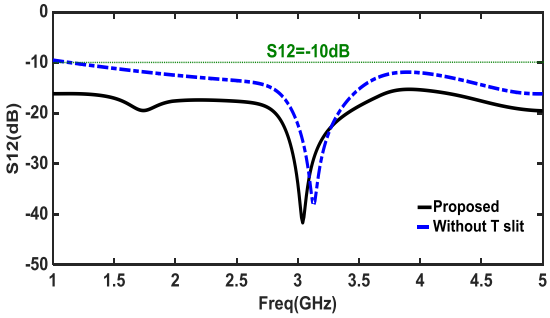
۳- تحلیل پارامتری آنتن پیشنهادی

در این بخش دو موضوع اصلی از آنتن پیشنهادی را موردبحث قرار می‌دهیم. یعنی ابتدا تأثیر شکاف T شکل در گوشه بالای سمت چپ آنتن را در تزویج متقابل بین دو پورت آنتن و سپس تأثیر دو سوراخ متالیزه و دو المان L شکل در صفحه زمین را بررسی می‌کنیم.

۳-۱- بررسی شکاف T شکل در تزویج متقابل بین دو پورت

همان‌طور در شکل ۲ مشاهده می‌کنید، نتایج پارامتر S12 برای آنتن پیشنهادی در دو حالت با شکاف T شکل و حالتی که شکاف T شکل در ساختار آنتن نیست، موردبررسی قرارگرفته است. با توجه به این نمودار وجود شکاف T شکل در داخل پچ تشعشعی به‌عنوان یک سد فیزیکی، مانع از عبور جریان‌های سطحی پورت یک و دو به سمت هم می‌شود[۶]. با توجه به نمودار با اعمال شکاف T شکل در ساختار پچ تشعشعی شاهد کاهش قابل‌توجه کوپلینگ بین دو پورت آنتن پیشنهادی هستیم. درواقع جاری شدن و حرکت مستمر جریان‌های سطحی بر روی پچ تشعشعی در آنتن عامل اصلی در ایجاد تشعشع است. این در حالی است که وجود شکاف T شکل بر روی پچ به مقدار قابل‌توجهی از قابلیت تحرک جریان‌های سطحی این آنتن کاسته است.

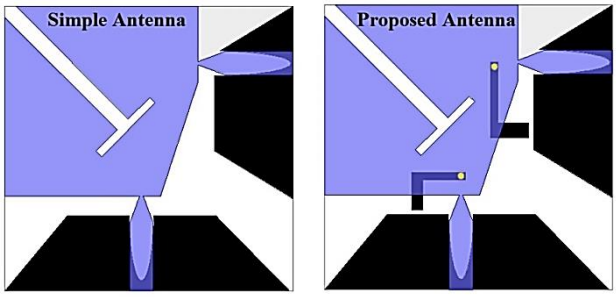
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.11.2]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018



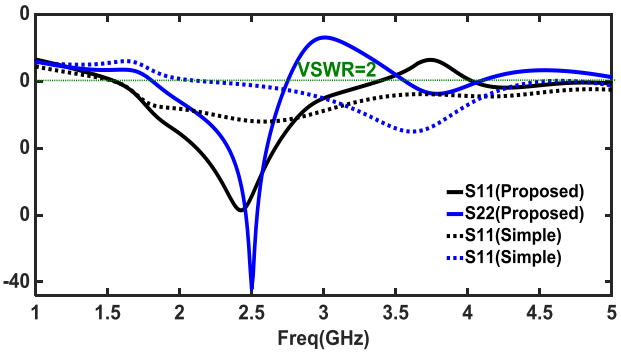
شکل(۲): بررسی شکاف T شکل در تزویج متقابل بین دو پورت

۳-۲- بررسی المان L شکل در صفحه زمین و سوراخ‌های متالیزه

در این طراحی برای اثبات تأثیر سوراخ‌های متالیزه شده که دو المان L شکل در صفحه زمین را به پچ تشعشعی وصل می‌کنند، آنتن موردبحث در دو حالت ساده و نهایی مورد تحلیل و بررسی قرارگرفته است. در شکل ۳ ساختار این دو آنتن را مشاهده می‌کنید.



شکل(۳): شکل دو آنتن موردبحث در این بخش (ساده و نهایی)

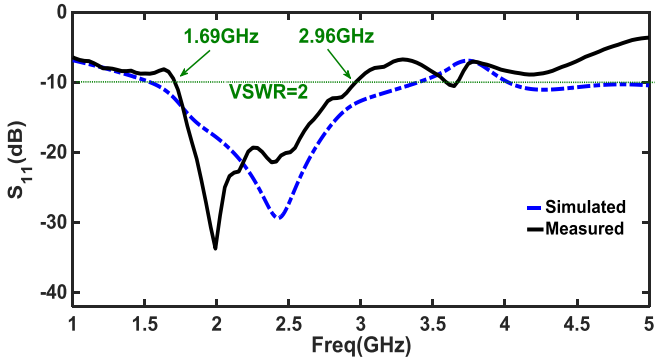


شکل(۴): منحنی شبیه‌سازی‌شده S11 و S22 برای دو حالت آنتن ساده و آنتن پیشنهادی

با توجه به شکل ۳ آنتن پیشنهادی دارای دو المان L شکل در صفحه زمین و دو سوراخ متالیزه که این دو المان L شکل را به پچ تشعشعی وصل می‌کند، است. درحالی‌که آنتن ساده فاقد این ساختار است. در شکل ۴ منحنی‌های پراکندگی شبیه‌سازی‌شده این دو آنتن رسم شده است. در حالت ساده به نظر می‌رسد که بتوان آنتن را برای استفاده در باند LTE معرفی کرد ولی این آنتن در باند ذکرشده بسیار ضعیف عمل می‌کند. حال‌آنکه در آنتن پیشنهادی شاهد ظهور دو رزونانس قوی در حوالی عملکرد باند LTE هستیم، که این اتفاق به خاطر وجود سوراخ‌ها و المان L شکل است. درواقع سوراخ‌ها هرکدام در پورت خود به‌عنوان یک تشدیدکننده عمل کرده و آنتن را برای استفاده در باند LTE مهیا می‌کنند

۴- نتایج پارامترهای پراکندگی آنتن پیشنهادی

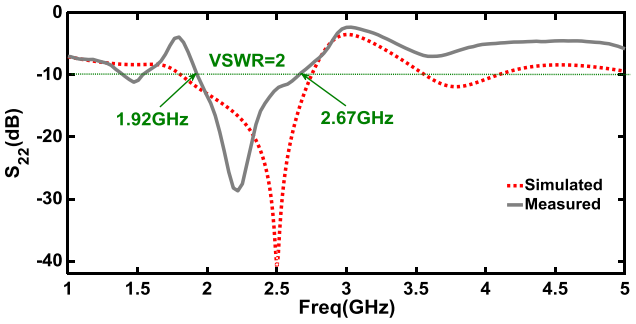
شکل ۵ منحنی افت برگشتی برای پورت شماره یک را نمایش می‌دهد. طبق نتایج اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه آنتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه توسط دستگاه تحلیلگر شبکه (Keysight Technologies N5242A)، آنتن پیشنهادی با تحریک پورت یک می‌تواند باندهای فرکانسی ۱/۶۹-۲/۹۶ گیگاهرتز را با معیار S11≤-10dB پوشش دهد. به‌این‌ترتیب آنتن پیشنهادی با تحریک پورت یک خود می‌تواند باندهای فرکانسی LTE (1700,1800, 2100, 2300, 2600) را پوشش دهد. شکل ۶ منحنی افت برگشتی برای پورت شماره دو این آنتن را نمایش می‌دهد. طبق نتایج اندازه‌گیری شده، آنتن پیشنهادی با تحریک پورت دو می‌تواند باندهای فرکانسی ۱/۹۲-۲/۶۷ گیگاهرتز را با معیار S11≤-10dB پوشش دهد. به‌این‌ترتیب آنتن پیشنهادی با تحریک پورت دو می‌تواند باندهای فرکانسی LTE (2100, 2300, 2600) پوشش دهد.



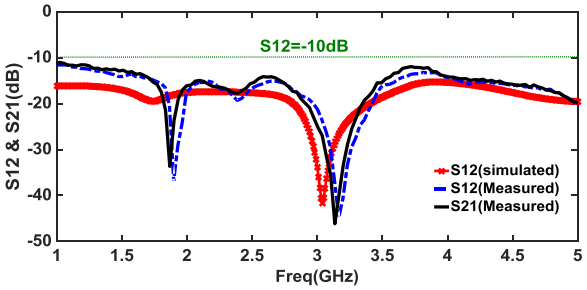
شکل (۵): منحنی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده افت برگشتی برای پورت یک(S11)

شکل ۷ تزویج متقابل بین دو پورت یک و دو (S12) را نمایش می‌دهد. با توجه به نمودار S12، ایزولاسیون بین دو پورت در کل باند فرکانسی زیر ۱۰- دسی‌بل است که برای آنتن‌های ریز نوار در این باند فرکانسی مناسب بوده و احتیاجات آنتن MIMO را تأمین می‌کند.

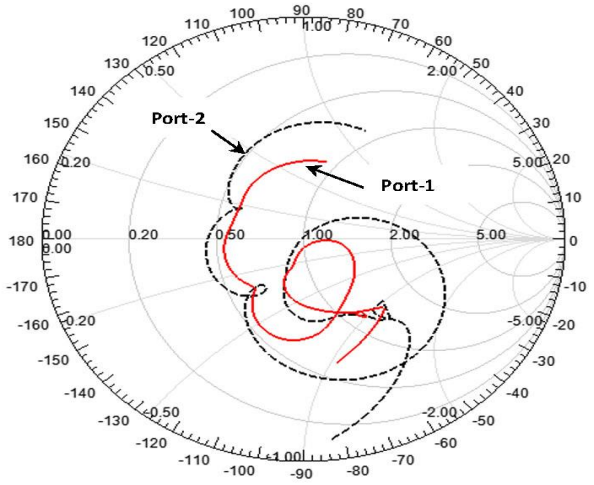
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.11.2]



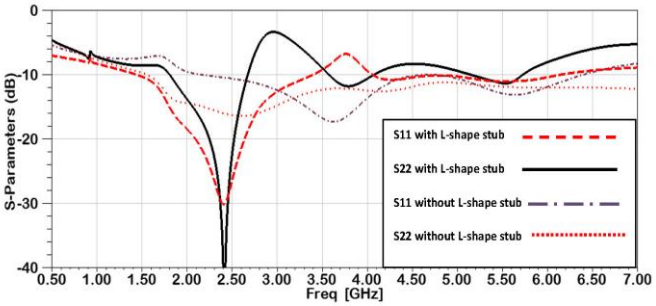
شکل (۶): منحنی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده افت برگشتی برای پورت دو(S22)



شکل(۷): منحنی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده تزویج متقابل بین دو پورت (S12)



شکل(۸): منحنی امپدانس مشخصه برای پورت ۱ و ۲



شکل(۹): منحنی پارامترهای پراکندگی برای آنتن با المان L شکل و بدون المان L شکل

در شکل ۸ نمودار امپدانس برای پورت یک و دو روی نمودار اسمیت نمایش داده شده است. ماهیت سلفی و خازنی بودن امپدانس برای هر یک از ورودیها در شکل بوضوح مشخص میباشد. همچنین نمودار پارامترهای پراکندگی برای آنتن ارائه شده در شکل ۱ برای حالات با المان L شکل و بدون المان L شکل در شکل ۹ آمده است. تاثیر اضافه کردن المان Lشکل بر روی افت برگشتی در باند فرکانسی مورد نظربرای آنتن چند ورودی – چند خروجی برای هر دو پورت آنتن قابل مشاهده است. دیده میشود که در حالت بدون المان L شکل باند فرکانسی مربوط به سیستم LTI پوشش مناسب داده نمیشود و با اضافه کردن المان بهبود قابل توجه مییابد.

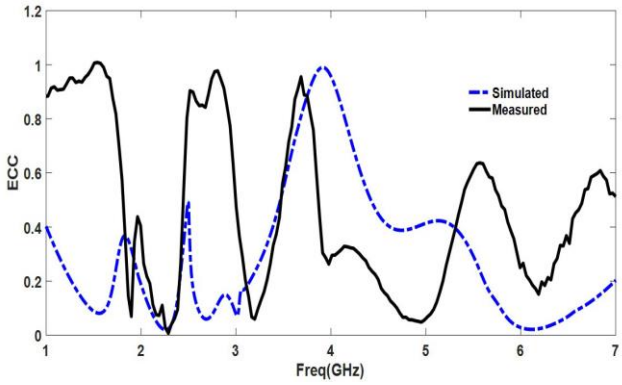
امروزه برای نشان داده مقدار ایزولاسیون بین پورت‌های یک آنتن چند ورودی/چند خروجی از پارامتری به نام Envelope Correlation Coefficient(ECC) استفاده می‌شود. پارامترECC یک پارامتر مهم در ارزیابی همبستگی سیگنال‌های یک آنتن چند ورودی/چند خروجی به شمار می‌رود[۱۳]. بر اساس تعریف استاندارد ECC، این پارامتر با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از دامنه، فاز و پلاریزاسیون پترن تشعشعی سه‌بعدی آنتن چند ورودی/چند خروجی و یک سری محاسبات پیچیده به دست می‌آید[۱۵].

بااین‌حال، به دست آوردن اطلاعات موردنیاز، زمان‌بر بوده و با توجه به استفاده از تجهیزات تخصصی، که ممکن است در دسترس هر محققی نباشد بسیار گران‌قیمت است. برای حل این مشکل، بر اساس رابطه بین پترن تشعشعی آنتن و پارامترهای پراکندگی[۱۵]، محققین زیادی سعی در ساده کردن فرآیند محاسبه ECC با استفاده از پارامترهای پراکندگی، به‌جای پترن تشعشعی سه‌بعدی کرده‌اند[۱۸]-[۱۶]. با استفاده از نتایج و روابط ارائه شده در مرجع [۱۹] برای محاسبه ECC ، جهت محاسبه ECC در این مقاله از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$\mathrm{ECC}=\frac{\left|S_{11}^{*}S_{12}+S_{21}^{*}S_{22}\right|^{2}}{\left(1-\left(\left|S_{11}^{2}\right|+\left|S_{21}^{2}\right|\right)\right)\left(1-\left(\left|S_{22}^{2}\right|+\left|S_{12}^{2}\right|\right)\right)} \quad (۱)$$

برای رسم منحنی ECC با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، با در دست داشتن اطلاعات پارامترهای پراکندگی آنتن، مقدار عبارت فوق را با محاسبه نموده و در دو حالت شبیه‌سازی و تست در شکل ۱۰ نمایش داده‌ایم. با توجه به این نمودار، ECC=0 نشان‌دهنده ایزولاسیون کامل بین پورت‌ها بوده و ECC=1 همبستگی کامل بین این دو پورت را نشان می‌دهد. لذا مقادیر زیر یک برای این منحنی در باند فرکانسی آنتن مطلوب است.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.11.2]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018

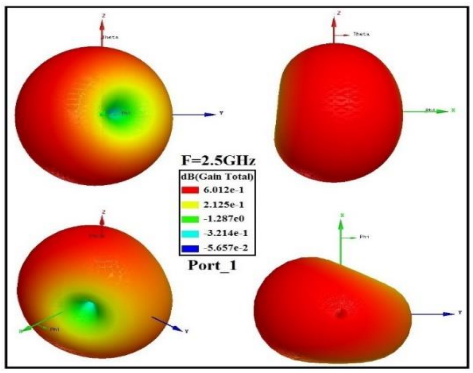


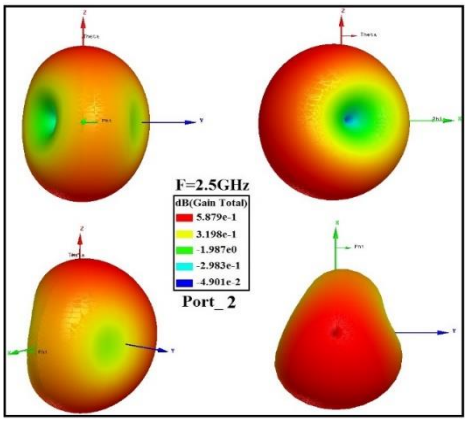
شکل (۱۰): منحنی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده ECC

۵- تحلیل بهره و پترن آنتن پیشنهادی

شکل ۱۱ نمایی از پترن تشعشعی سه‌بعدی شبیه‌سازی‌شده آنتن پیشنهادی در پورت یک را نشان می‌دهد. این پترن سه‌بعدی در فرکانس ۲/۵ گیگاهرتز شبیه‌سازی و رسم شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید، تشعشع ماکزیمم آنتن در پورت یک در خلاف جهت محور Y ها، و در پورت دو در خلاف جهت محور X ها است. به‌این‌ترتیب پترن آنتن کاملاً همه جهته نبوده و در پورت یک مقداری به سمت محور Y ها، و در پورت دو به سمت محور X ها تمایل دارد. این امر شاید به ساختار دو پورتی آنتن مربوط بوده، و با تحریک هر پورتی، زمین پورت دیگر به‌عنوان یک المان پارازیتی عمل کرده و به پترن آنتن در سمت روبروی خود جهت می‌دهد. جهت به دست آوردن درک بیشتری از این شکل، پترن H-plane و E-plane آنتن پیشنهادی را برای پورت یک در دو حالت تست و شبیه‌سازی در شکل ۱۲ رسم کرده‌ایم.

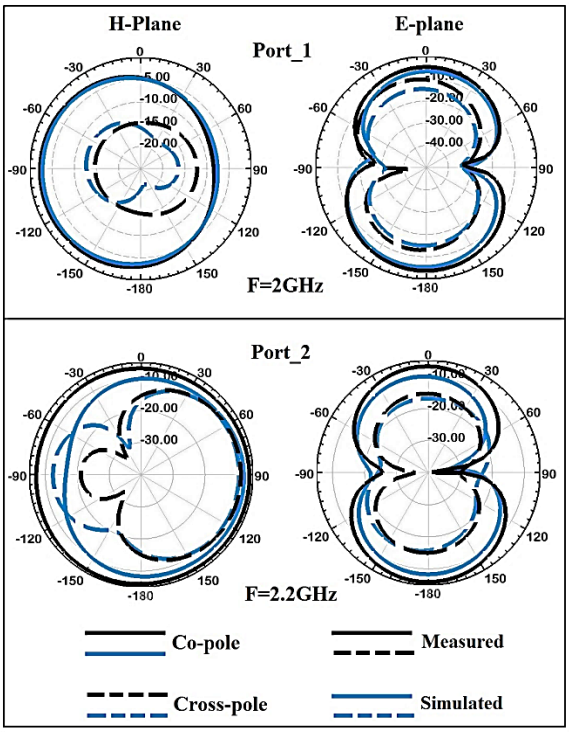
همچنین پترن H-plane و E-plane آنتن پیشنهادی را در دو حالت تست و شبیه‌سازی برای پورت دو در شکل ۱۲ رسم شده است. با توجه به شکل‌ها تشعشع تقریباً همه جهته آنتن برای پترن H-plane و حالت دنبال مانند آن برای پترن E-plane مشاهده می‌شود که میتواند ملزومات سیستم های LTI را برآورده نماید که نیازمند پترن های تشعشعی همه جهته میباشند. همچنین با توجه به شکل ۱۱ مشخص است که تطبیق مناسبی بین نتایج تست و شبیه سازی وجود دارد.





شکل (۱۱): پترن سه‌بعدی شبیه‌سازی‌شده آنتن پیشنهادی برای پورت‌های یک و دو در فرکانس ۲/۵ گیگاهرتز

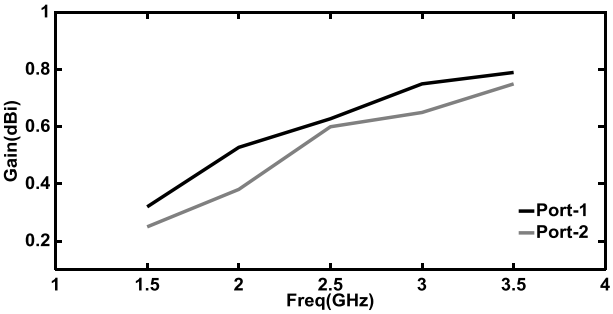
برای یک آنتن، داشتن بهره قابل‌قبول با تغییرات کم در باند فرکانسی امری حیاتی است. در شکل ۱۳ نتایج شبیه‌سازی بهره آنتن پیشنهادی در کل باند فرکانسی آن برای پورت‌های یک و دو رسم شده است. برای هر دو پورت شاهد یک بهره افزایشی با دامنه نوسانات کم در باند فرکانسی هستیم، که بیشینه مقدار آن در انتهای باند فرکانسی برای پورت یک تقریباً ۰/۸ دسی‌بل است. پس از تحلیل و شبیه‌سازی آنتن پیشنهادی در نرم‌افزار HFSS، و به دست آوردن مقادیر پارامترها و ابعاد بهینه، آنتن به روش چاپ روی فیبر مدار چاپی ساخته شد.



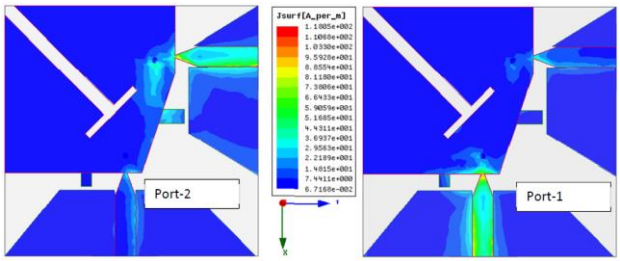
شکل(۱۲): الگوهای تشعشعی E-plane و H-plane آنتن پیشنهادی

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.11.2]

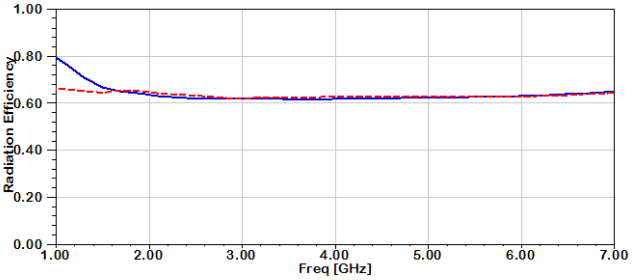


شکل (۱۳): نتایج شبیه‌سازی‌شده بهره آنتن پیشنهادی در پورت‌های یک و دو



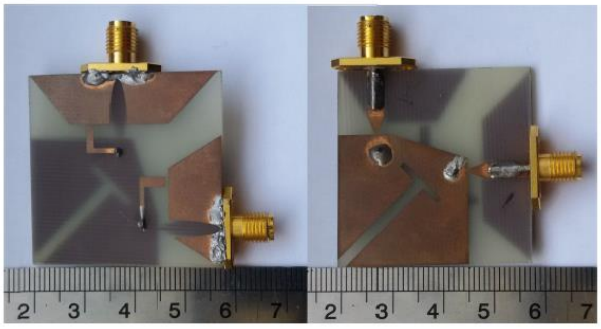
شکل (۱۴): جریانهای سطحی برای دو پورت در فرکانس ۲ گیگاهرتز

شکل ۱۴ چگالی جریانهای سطحی روی پچ تشعشعی آنتن را نشان میدهد. همچنین کارایی آنتن چند ورودی –چند خروجی ارائه شده در شکل ۱ را میتوان در شکل ۱۵ مشاهده کرد. راندمان تشعشعی آنتن برای هر یک از پورتها تقریبا برابر و در حدود ۶۷ درصد میباشد.



شکل (۱۵): راندمان تشعشعی آنتن ارائه شده در شکل ۱

برای ساخت این آنتن از فیبر مدار چاپی FR4 به دلیل کم‌هزینه و در دسترس بودن آن استفاده‌شده است. سپس جهت ارتباط آنتن با کابل و دیگر تجهیزات مایکروویوی یک عدد SMA از نوع DOSIN-806-0015 به هر پورت آنتن لحیم‌کاری گردید. عکس آنتن ساخته‌شده را در شکل ۱۶ مشاهده می‌کنید.



شکل (۱۶): عکس آنتن ساخته‌شده و کانکتور لحیم کاره شده به آن

۶- نتیجه‌گیری

یک آنتن چند ورودی/چند خروجی مسطح مایکرواستریپی جدید برای استفاده در سامانه‌های LTE معرفی شد. در این طراحی از یک پچ مشترک، دو زمین و خط تغذیه جداگانه برای هر پورت استفاده‌شده است. یک روش جدید جهت کاهش کوپلینگ بین پورت‌ها ارائه و بررسی شد .نشان داده شد که با اعمال یک شکاف T شکل در ساختار آنتن ایزولاسیون بین دو پورت بهبود مییابد. در این طراحی از دو المان تشعشعی L شکل که توسط دو سوراخی متالیزه شده به پچ وصل هستند، جهت تولید دو فرکانس رزونانسی استفاده‌شده است. ابعاد فیزیکی آنتن ۳۸×۳۷/۵ میلی‌متر مربع بوده و آنتن بعد از بهینه‌سازی ساخت و تست‌شده است. در این آنتن هنگام تحریک پورت شماره یک، باند فرکانسی ۲/۹۶-۱/۶۹ گیگاهرتز را پوشش داده و در پورت شماره دو باند فرکانسی ۲/۶۷-۱/۹۲ گیگاهرتز را پوشش می‌دهد. طبق نتایج اندازه‌گیری شده، دو پورت از ایزولاسیون خوبی (کمتر از ۱۰- دسی‌بل) برخوردار هستند.با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازیها ونیز نتایج حاصل از اندازه گیریهای ازمایشگاهی نشان داده شد که این آنتن برای کاربردهای LTE مناسب است.

مراجع

[1] Man Hung Ng, Shen-De Lin, J. Li and S. Tatesh, "Coexistence studies for 3GPP LTE with other mobile systems", IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 4, pp. 60-65, 2009.

[۲] زراعتکارمقدم جواد، فرخی حمید، ندا ناصر. بررسی تأثیر فاصله‌ی بین آنتن‌ها در فرستنده و گیرنده بر روی ظرفیت کانال MIMO. مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران. ۱۳۹۵; ۱۳ (۲): ۱۱-۱۸

[۳] زراعتکارمقدم جواد، ناصر ندا، قاضی‌زاده رضا. مدل‌سازی دو بعدی کانال‌های چند ورودی– چند خروجی با آرایه‌های قطبی‌شده. مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران. ۱۳۹۳; ۱۱ (۲): ۱۷-۲۴.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.11.2]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.16- No.4- Winter2018

Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 53, 205-221, 2013.

[4] 3GPP TS 36.101, V8.3.0, "EUTRA User Equipment Radio Transmission and Reception," September 2000.

[5] M. Jensen and J. Wallace, "A Review of Antennas and Propagation for MIMO Wireless Communications", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, no. 11, pp. 2810-2824, 2004.

[6] Mengyuan Lin, Zengrui Li, "A Compact 4 x 4 Dual Band-notched UWB MIMO Antenna with High Isolation," 2015 IEEE 6th International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies (MAPE), pp. 126 - 128, 28-30 Oct. 2015.

[7] Jian Ren, Wei Hu, Yingzeng Yin, and Rong Fan, "Compact Printed MIMO Antenna for UWB Applications," IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 13, pp.1517-1520, 2014.

[8] R. Anitha, V.P. Sarin, P. Mohanan and K. Vasudevan, "Enhanced isolation with defected ground structure in MIMO antenna," Electronics Letters, Vol. 50 No. 24 pp. 1784–1786, 2014.

[9] Jagannath Malik, Amalendu Patnaik, and M. V. Kartikeyan,, "Novel Printed MIMO Antenna With Pattern and Polarization Diversity" IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 14, pp. 739 - 742, 2015.

[10] Majid Manteghi and Yahya Rahmat-Samii, "A Novel Miniaturized Triband Pifa for Mimo Applications" Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 49, No. 3, pp. 724 - 731, 2007.

[11] Muhammad Umar Khan and Mohammad S. Sharawi, "A Dual-Band Microstrip Annular Slot-Based Mimo Antenna System" Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 57, No. 2, pp. 360 - 364, 2015.

[12] H.Shahsavari, J. Nourinia, H. Shirzad, M. Shokri, S. Asiaban, Zh. Amiri, and B.Virdee, "Compact Planar Super-Wideband Antenna with Band-Notched Function," ACES Journal, Vol. 28, No. 7, pp. 608–613, 2013.

[13] S. Zhang, A. A. Glazunov, Z. Ying, and S. He, "Reduction of the envelope correlation coefficient with improved total efficiency for mobile LTE MIMO antenna arrays: mutual scattering mode," IEEE Transactions on Antennas Propagation, vol. 61, no. 6, pp. 3280-3291, Jun. 2013.

[14] R. H. Clarke, "A statistical theory of mobile-radio reception," Bell System Technical Journal, vol. 47, no. 6, pp. 957- 1000, 1996.

[15] S. Stein, "On cross coupling in multiple-beam antennas," IEEE Transactions on Antennas Propagation, vol. 10, no. 5, pp. 548-557, Sep. 1962.

[16] S. Blanch, J. Romeu, and I. Corbella, "Exact representation of antenna system diversity performance from input paramete parameter description," Electronic Letters, vol. 39, no. 9, pp. 705-707, May 2003.

[17] P. Hallbjorner, "The significance of radiation efficiencies when using S-parameters to calculate the received signal correlation from two antennas," IEEE Antennas Wireless Propagation Letters, vol. 4, pp. 97-99, 2005.

[18] A. Stjernman, "Relationship between radiation pattern correlation and scattering matrix of lossless and lossy antennas," Electronics Letters, vol. 41, no. 12, pp. 678-680, Jun. 2005.

[19] Hari S. Singh, Bhaskarareddy Meruva, Gaurav K. Pandey, Pradutt K. Bharti, and Manoj K. Meshram,"Low Mutual Coupling Between Mimo Anten- Nas By Using Two Folded Shorting Strips,"

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1398.16.4.11.2]