

# آنتن مجتمع فرایه‌ن‌باند و باند باریک برای کاربردهای رادیوشناختی و تنظیم‌پذیری با استفاده از طراحی مدارهای تطبیق امپدانس

مهدی ابی‌اوغلی<sup>۱</sup>، دانشجوی دکتری؛ محمد ناصر مقدسی<sup>۲</sup>، استاد؛ اصغر کشتکار<sup>۳</sup>، استاد؛ بهید قلمکاری<sup>۴</sup>، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- واحد علوم و تحقیقات- دانشگاه آزاد اسلامی- تهران- ایران - mehdi\_abioghli@yahoo.com

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- واحد علوم و تحقیقات- دانشگاه آزاد اسلامی- تهران- ایران - mn.moghaddasi@srbiau.ac.ir

۳- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه بین المللی امام خمینی- قزوین- ایران - asghar\_keshtkar@yahoo.com

۴- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- واحد علوم و تحقیقات- دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران - ghalamkari@gmail.com

**چکیده:** در این مقاله، تحلیل و طراحی ترکیب جدید آنتن فرایه‌ن‌باند (UWB) چاپی با تغذیه موجبر هم‌صفحه (CPW) و آنتن باند باریک (NB) برای کاربرد رادیوشناختی ارائه شده است. آنتن‌های فرایه‌ن‌باند و باند باریک به ترتیب پهنای باند ۲/۲ تا ۱۱ گیگاهرتز و ۴/۸ تا ۵/۷ گیگاهرتز را با جداسازی منطقی بین دو دهنه آنتن ایجاد می‌کنند. یک نمونه از آنتن مجتمع ساخته شده و کارایی آن تایید شده است. ابعاد زیرلایه FR4  $40 \times 48 \times 1.6$  میلی‌متر مکعب است. آنتن مشخصات تشعشعی خوب، بهره پایدار و رفتار حوزه زمانی مناسبی را برای استانداردهای مخابراتی بی‌سیم اخیر تحویل می‌دهد. هم‌چنین، دو مدار تنظیمی خارجی طراحی شده تا قابلیت آنتن باند باریک را برای پیکربندی مجدد فرکانسی نشان بدهد.

واژه‌های کلیدی: آنتن فرایه‌ن‌باند، آنتن باند باریک، رادیوشناختی، مدار تنظیمی، پیکربندی مجدد فرکانسی.

## UWB Antenna Integrated with Narrowband Antenna for Cognitive Radio Applications and Tuning With Using Impedance Matching Circuit Design

M. Abioghli<sup>1</sup>, PhD Student; M. Naser-Moghaddasi<sup>2</sup>, Professor; A. Keshtkar<sup>3</sup>, Professor; B. Ghalamkari<sup>4</sup>, Assistant Professor

1- Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: mehdi\_abioghli@yahoo.com

2- Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: mn.moghaddasi@srbiau.ac.ir

3- Department of Electrical Engineering, Imam Khomeini International University, Ghazvin, Iran, Email: asghar\_keshtkar@yahoo.com

4- Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: ghalamkari@gmail.com

**Abstract:** In this paper, a new CPW (Coplanar Waveguide) fed printed UWB antenna integrated with a narrowband antenna is designed and analyzed for cognitive radio applications. The ultra-wideband (UWB) and narrowband (NB) antennas provide bandwidth from 2.2 GHz to 11 GHz and from 4.8 GHz to 5.7 GHz respectively and reasonable isolation between the antennas. A prototype of the integrated antenna was fabricated and its performance was verified. The dimensions of the FR4 substrate are  $40 \times 48 \times 1.6$  mm<sup>3</sup>. The antenna represents good radiation characteristics, stable gain and good time domain manner to deliver the requirements of the current wireless communication standards. Also, two external tuning circuits were designed to show the ability of the narrowband antenna for reconfiguration.

**Keywords:** ultra-wideband (UWB) antenna, narrow band (NB) antenna, cognitive radio, tuning circuit, reconfigurable.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۱

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۰۸

نام نویسنده مسئول: محمد ناصر مقدسی

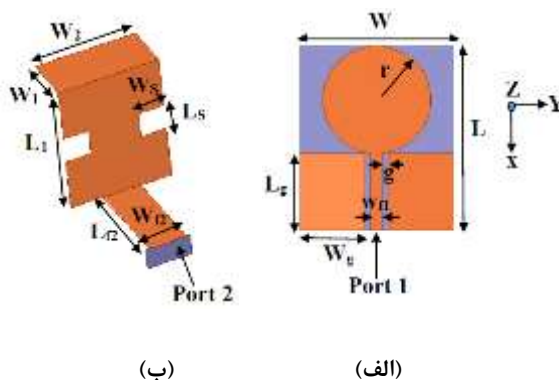
نشانی نویسنده مسئول: ایران - تهران - میدان حصارک - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

## ۱- مقدمه

فراپهن باند و باند باریک پرداخته شده است که شامل سازوکار جدید تنظیم پذیری آنتن باند باریک در گستره وسیع طیف فرکانسی است. ساختار مقاله ارائه شده به شرح زیر خواهد بود. در بخش دوم به تحلیل، طراحی، معرفی ساختار و ابعاد آنتن پیشنهادی پرداخته می شود. در بخش سوم، نتایج اندازه گیری و شبیه سازی بررسی و مقایسه می شوند. در بخش ۴ طراحی مدارهای تطبیق امپدانس به منظور تنظیم پذیری آنتن باند باریک بحث شده است. خلاصه نتایج مقاله در بخش ۵ آمده است.

## ۲- طراحی آنتن مجتمع فراپهن باند و باند باریک

روش تغذیه تاثیر مهمی بر روی تطبیق امپدانس آنتن های تک قطبی چاپی دارد. آنتن های فراپهن باند با تغذیه موجبر هم صفحه از لحاظ سادگی ساختار، مزیت های ساخت و هزینه پایین نسبت به طراحی های ریزنوری برتری دارند [۶]. شکل ۱ هندسه آنتن مجتمع پیشنهادی برای کاربردهای فراپهن باند و باند باریک را نشان می دهد. آنتن بر روی زیرلایه FR4 با ابعاد  $48 \times 40$  میلی متر مربع، ضخامت  $1/6$  میلی متر و ثابت دی الکتریک نسبی  $4/4$  چاپ شده است. آنتن از یک صفحه تشعشعی دایروی به همراه صفحه زمین در لبه بالای زیرلایه برای کاربردهای فراپهن باند و ساختار به شکل L معکوس به همراه خط تغذیه در لبه پایینی زیرلایه برای کاربردهای باند باریک تشکیل شده است. برای دستیابی به تطبیق امپدانس خوب بر روی تمام محدوده فراپهن باند، عرض خط تغذیه  $W_{fl}$  حدود ۳ میلی متر محاسبه شده است. صفحه زمین از دو بخش تشکیل شده است که هر بخش دارای طول  $L_g$  و عرض  $W_g$  است. در این طراحی، فاصله هوایی بین خط تغذیه صفحه تشعشعی دایروی و صفحه زمین  $0/3$  میلی متر است. آنتن فراپهن باند به عنوان صفحه زمین آنتن باند باریک در نظر گرفته می شود. به منظور بهبود جداسازی، دهنه ها در دو لبه مقابل هم قرار گرفته اند. همانطور که در بخش ۳ نشان داده می شود، به علت تمرکز پایین جریان در مرکز صفحه تشعشعی دایروی، این مکان به عنوان محل تجمع آنتن باند باریک در لبه پایینی زیرلایه در نظر گرفته می شود.



شکل ۱: هندسه آنتن مجتمع الف) دید از بالا ب) دید از پایین

صفحه تشعشعی آنتن باند باریک، مطابق (شکل ۱-ب) شامل یک بخش افقی  $W_1$  و بخش قائم  $L_1$  است که از طریق دهنه شماره ۲ با خط

گسترش سیستم های ارتباطی بی سیم و تقاضای نامحدود برای باندهای فرکانسی باعث کمبود طیف رادیویی موجود می شود. به طور عمده، این کمبود ناشی از روش های ناکارآمد مدیریت طیف است و بنابراین به محدودیت فیزیکی طیف فرکانسی مربوط نیست. استفاده بیش از حد از باند فرکانسی، ایده رادیوشناختی را جذاب کرده است و یک روش بالقوه برای سیستم های ارتباطی بی سیم آینده است. هدف اصلی سیستم رادیوشناختی، بهبود بهره روری استفاده از طیف در محدوده فرکانسی وسیع است که این سیستم، تمام طیف رادیویی را به منظور شناسایی باندهای فرکانسی خالی اسکن می کند و سپس از این باندهای خالی به منظور انتقال اطلاعات استفاده می کند. سیستم های رادیوشناختی به یک آنتن مجتمع دودهنه با جداسازی مناسب بین دهنه ها و یا یک آنتن تک دهنه با قابلیت پیکربندی مجدد فرکانسی بین مودهای پهن باندی و باند باریک نیاز دارند [۱۳-۱۱]. در سیستم های آنتن دودهنه، یکی از دهنه ها پهن باند است و به منظور عمل اسکن پیوسته طیف استفاده می شود و دهنه دیگر باند باریک است و برای کار انتقال کاربرد دارد. در سال های اخیر چندین طراحی از آنتن های مجتمع دودهنه برای کاربرد رادیوشناختی گزارش شده است [۷-۱]. در [۱] تجمع آنتن عایقی فرا پهن باند با آنتن ریزنوری باند باریک قابل تنظیم پیشنهاد شده است که در آن از دیوهای نیمه هادی به عنوان عنصر قابل تنظیم در ساختار آنتن باند باریک استفاده شده است. از آنتن های مجتمع دودهنه می توان به تجمع آنتن تک قطبی فراپهن باند با آنتن عایقی باند باریک [۲، ۳] و هم چنین ترکیب آنتن عایقی فراپهن باند با آنتن شکافی باند باریک [۴] اشاره کرد. البته در این مراجع تنظیم پذیری آنتن باند باریک بحث و انجام نشده است. در [۵] سیستم آنتن مجتمع دودهنه فراپهن باند (آنتن اسکن) و باند باریک (آنتن انتقال) با قابلیت تنظیم پیوسته در محدوده باریک فرکانسی ۵ تا ۶ گیگاهرتز با استفاده از خازن متغیر گزارش شده است. در [۷] طراحی آنتن دودهنه مبتنی بر پیکربندی مجدد فیزیکی شرح داده شده است. تنظیم فرکانس با تغییر شکل صفحه تشعشعی انجام می گیرد. برای تغییر شکل صفحه تشعشعی از یک موتور پله ای در پشت ساختار آنتن استفاده شده است که منجر به اشغال فضای بیش تری شده است.

در [۱۳-۸] آنتن های تک دهنه با قابلیت سوئیچ شدن بین مودهای پهن باند و باند باریک پیشنهاد شده است. بیشتر این مقاله ها، پیکربندی مجدد آنتن های فراپهن باند را برای کار در چندین باند با استفاده از دیوهای نیمه هادی [۸، ۹]، سوئیچ های نوری [۱۰]، سوئیچ های MEMS [۱۱] و سوئیچ های FET [۱۲] بررسی کردند. در اکثر این مراجع و مقاله های مشابه در دسترس، سوئیچ ها در ساختار تشعشعی آنتن به کار گرفته شدند و بنابراین مدار بایاس موجود منجر به تنزل کارایی آنتن می شود.

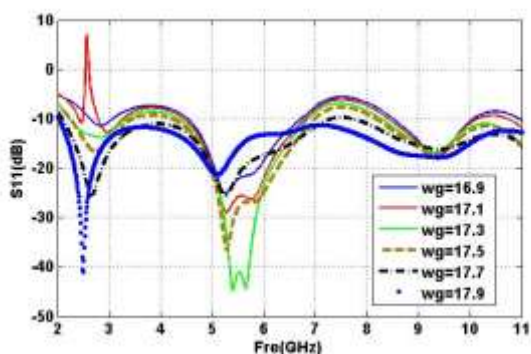
در این مقاله به تحلیل، طراحی و ساخت آنتن مجتمع دودهنه

پارامترهای  $R_k$ ،  $L_k$  و  $C_k$  با استفاده از روش‌های تکرار و منحنی محاسبه می‌شوند.

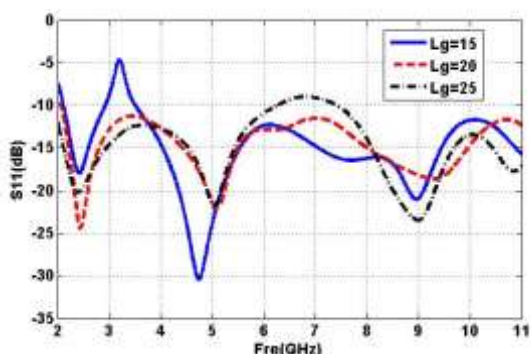
$$R_e = \sum_{k=1}^n \frac{R_k}{1 + R_k \left( \frac{1}{L_k 2\pi f} - C_k 2\pi f \right)^2} \quad (3)$$

## ۲-۲- مطالعه پارامتری

پارامترهای آنتن به‌طور قابل توجهی مشخصات آن را تحت تاثیر قرار می‌دهند و اطلاعات ارزشمندی درباره آنتن فراهم می‌کنند، بنابراین مطالعه پارامتری دارای اهمیت زیادی است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار HFSS به دست آمده‌است. تغییرات در اندازه صفحه زمین موجب تغییر در مسیر جریان و بنابراین تطبیق امپدانس می‌شود. شکل ۳ نمودار تلفات بازگشتی را برای مقادیر مختلف عرض صفحه زمین نشان می‌دهد. بدیهی است که هر دو انتهای باند با تغییر عرض صفحه زمین به‌طور قابل توجهی متاثر شده، درحالی‌که برای محدوده فرکانسی ۵ تا ۷ گیگاهرتز تطبیق امپدانس زیر 10dB قرار دارد. شکل ۴ تاثیر طول صفحه زمین  $L_g$  را بر روی پهنای باند امپدانس آنتن فرایه‌بند نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده، افزایش طول  $L_g$  در آنتن فرایه‌بند منجر به بهبود تطبیق امپدانس در محدوده ۲ تا ۳ گیگاهرتز می‌شود.



شکل ۳: منحنی تلفات بازگشتی برای مقادیر متفاوت  $w_g$



شکل ۴: منحنی تلفات بازگشتی برای مقادیر متفاوت  $L_g$

شکل ۵ تلفات بازگشتی ( $S_{22}$ ) شبیه‌سازی شده را به شکل تابعی از  $w_s$  نشان می‌دهد که مقدار آن از ۱/۵ تا ۳/۵ میلی‌متر تغییر می‌کند. در این شکل به‌صورت واضح نشان داده می‌شود که فرکانس تشدید با

نواری ۵۰ اهمی تغذیه می‌شود. برای دستیابی به تطبیق امپدانس مناسب و فشردگی، دو شکاف بر روی بخش قائم تعبیه شده‌است. فرکانس کاری آنتن باند باریک با رابطه (۱) محاسبه می‌شود که طول صفحه تشعشعی ( $L_1 + W_1$ ) تقریباً ربع طول موج در فضای آزاد است.

$$f = \frac{c}{4(L_1 + W_1)} \quad (1)$$

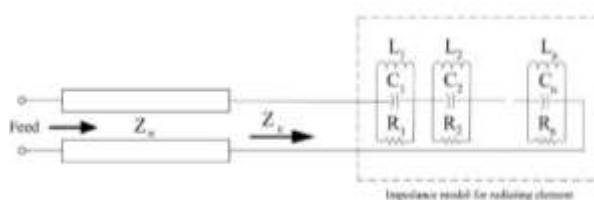
در رابطه فوق  $c$  سرعت نور در فضای آزاد است. ابعاد بهینه آنتن در جدول ۱ نشان داده شده‌است.

جدول ۱: ابعاد آنتن مجتمع

parameter	Unit (mm)	parameter	Unit (mm)
L	۴۸	L <sub>1</sub>	۱۰
W	۴۰	W <sub>1</sub>	۴
L <sub>g</sub>	۲۰	W <sub>2</sub>	۸
W <sub>g</sub>	۱۸/۲	L <sub>s</sub>	۲
r	۱۴	W <sub>s</sub>	۲
g	۰/۳	L <sub>f2</sub>	۸
W <sub>f1</sub>	۳	W <sub>f2</sub>	۳

## ۲-۱- تحلیل مداری آنتن فرایه‌بند

در الگوی مدار معادل، روش تغذیه موجبر هم‌صفحه با یک خط انتقال با امپدانس مشخصه  $Z_0$  نمایش داده می‌شود که معادلات شکل بسته بر-حسب ثابت دی‌الکتریک موثر و امپدانس مشخصه برای تغذیه موجبر هم‌صفحه بیان شده‌است [۱۴]. برای آنتن فرایه‌بندی، پهنای باند امپدانس به شکل چندین فرکانس تشدید مجاور هم در نظر گرفته می‌شود و هر یک از این فرکانس‌ها با یک مدار RLC موازی نمایش داده می‌شوند. به‌طور تقریبی، عنصر تشعشعی آنتن فرایه‌بند به‌صورت چندین سلول RLC موازی در حالت سری دیده می‌شود [۱۵]. شکل ۲ الگوی مدار معادل را برای آنتن فرایه‌بند پیشنهادی نشان می‌دهد.



شکل ۲: الگوی مدار معادل امپدانس آنتن فرایه‌بند

امپدانس ورودی مدار معادل آنتن فرایه‌بند مطابق رابطه (۲) بیان می‌شود که برای تعیین مقادیر عناصر RLC مورد توجه قرار می‌گیرد.

$$Z_e = \sum_{k=1}^n \frac{j\omega R_k L_k}{R_k(1 - \omega^2 L_k C_k) + j\omega L_k} \quad (2)$$

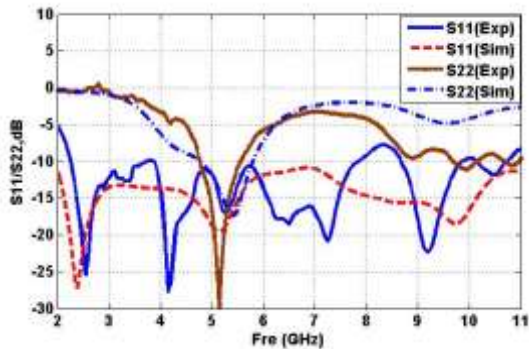
برای سادگی محاسبات، بخش حقیقی برای تعیین مقادیر RLC مطابق رابطه (۳) بیان می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار HFSS بخش حقیقی امپدانس ورودی عنصر تشعشعی شبیه‌سازی می‌شود و با قراردادن مقادیر بخش حقیقی امپدانس ورودی در فرکانس‌های مختلف در رابطه (۳)

فرکانس ۵/۲ گیگاهرتز در شکل ۱۰ نشان داده شده‌است. توزیع جریان بر روی لبه بالایی ساختار، هنگامی که آنتن فرایه‌بند تحریک شده و آنتن باند باریک به بار ۵۰ اهمی ختم می‌شود، در شکل ۱۰ نشان داده شده‌است. جریان بیش‌تر در لبه صفحه تشعشعی دایروی متمرکز شده‌- است. بنابراین، مرکز صفحه دایروی به‌عنوان ناحیه تجمع انتخاب شده‌- است.

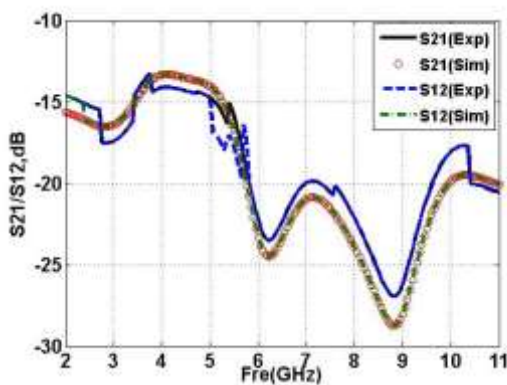


(الف) (ب)

شکل ۷: تصویر آنتن ساخته‌شده (الف) نمای روی آنتن (ب) نمای پشت آنتن



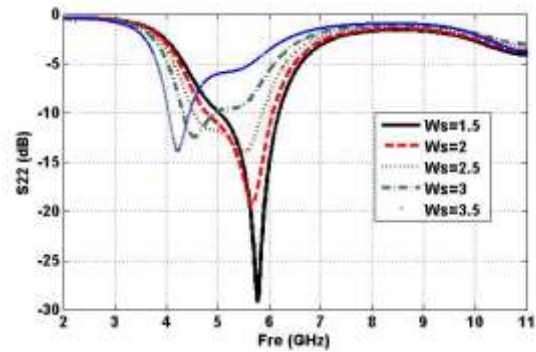
شکل ۸: نمودار تلفات بازگشتی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای آنتن فرایه‌بند و باند باریک



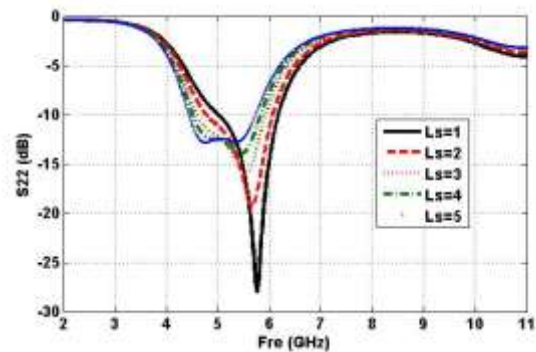
شکل ۹: نمودار ضریب انتقال آنتن پیشنهادی

تحلیل برداری جریان سطحی بر روی آنتن‌های فرایه‌بند و باند باریک در فرکانس ۵/۲ گیگاهرتز در شکل ۱۱ نشان داده شده‌است. از روی شکل واضح است که بردارهای جریان سطحی در مجاورت لبه صفحه تشعشعی دایروی متصل به خط تغذیه آنتن فرایه‌بند و در

افزایش  $W_s$  کاهش می‌یابد. هم‌چنین سطوح تطبیق امپدانس متاثر شده‌- است. تاثیر طول  $L_s$  بر منحنی تلفات بازگشتی آنتن باند باریک (S22) در شکل ۶ نشان داده شده‌است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که فرکانس تشدید با افزایش مقدار  $L_s$  کاهش می‌یابد. علاوه‌براین، سطوح تطبیق امپدانس با کاهش مقدار  $L_s$  بهبود می‌یابد.



شکل ۵: منحنی تلفات بازگشتی به‌صورت تابعی از  $W_s$



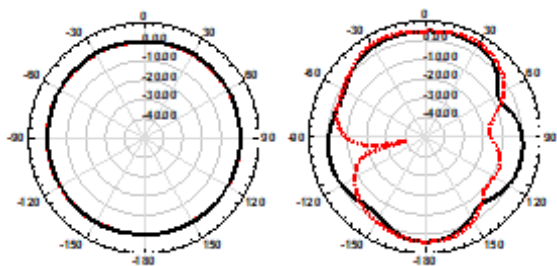
شکل ۶: منحنی تلفات بازگشتی به‌صورت تابعی از  $L_s$

### ۳- نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی

نرم‌افزار HFSS برای شبیه‌سازی آنتن پیشنهادی بکارگرفته‌شده، که این بسته نرم‌افزاری روش المان محدود (FEM) را در محاسباتش استفاده می‌کند. در طرح نهایی، نتایج شبیه‌سازی با نتایج اندازه‌گیری تایید شده‌- است. شکل ۷ نمای روی و پشت آنتن مجتمع ساخته‌شده را نشان می‌- دهد. تلفات بازگشتی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی آنتن پیشنهادی در شکل ۸ نشان داده شده‌است. همان‌طور که از شکل واضح است، پهنای باند امپدانس در حالت فرایه‌بندی ۸/۸ گیگاهرتز (۲/۲ تا ۱۱ گیگاهرتز) و برای حالت باند باریک ۰/۹ گیگاهرتز (۴/۸ تا ۵/۷ گیگاهرتز) است. شکل ۹ تزویج متقابل بین آنتن‌های فرایه‌بند و باند باریک را نشان می‌دهد. از روی نمودار ضریب انتقال اندازه‌گیری شده واضح است که جداسازی بین آنتن‌ها در تمام باند فرکانسی کمتر از ۱۳dB- است. با در نظر گرفتن رابطه  $S_{21} = 20\text{Log}(\frac{V_2}{V_1}) = -15\text{dB}$  در فرکانس ۵/۲ گیگاهرتز و هم- چنین  $P \propto V^2$  می‌توان نتیجه گرفت که فقط مقدار کوچک ۳ درصد توان تشعشعی از آنتن باند باریک به آنتن فرایه‌بند تزویج می‌شود و برعکس. برای بررسی رفتار الکترومغناطیسی آنتن، توزیع جریان آنتن در

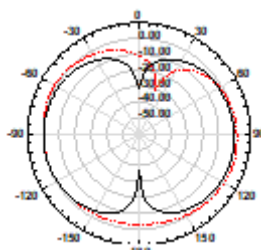


ختم می‌شود و برعکس) در شکل ۱۴ نشان داده شده‌است. از روی شکل واضح است که مقدار متوسط کارایی تشعشی آنتن فرایه‌بند بیش‌تر از نود درصد در تمام طیف فرکانسی است.

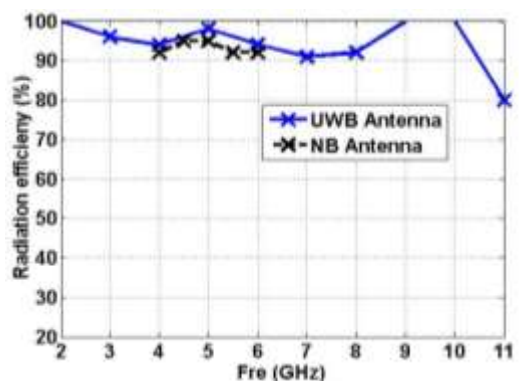


(الف) (ب)

شکل ۱۲: الگوهای تشعشی صفحه H (خط کامل) و صفحه E (خط بریده، بریده) آنتن فرایه‌بند در فرکانس‌های مختلف الف) ۳/۵ گیگاهرتز ب) ۸ گیگاهرتز



شکل ۱۳: الگوی تشعشی صفحه H (خط کامل) و صفحه E (خط بریده، بریده) آنتن باند باریک در فرکانس ۵/۲ گیگاهرتز



شکل ۱۴: کارایی تشعشی آنتن پیشنهادی

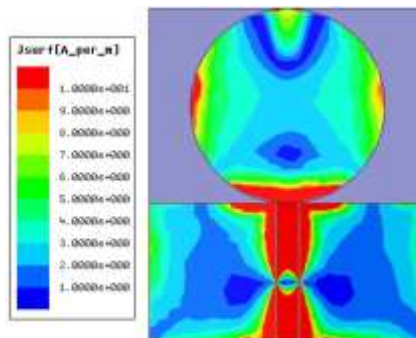
تاخیر گروهی یک پارامتر مهم در سیستم‌های فرایه‌بند است که درجه اعوجاج در سیگنال پالسی را نشان می‌دهد و در حوزه فرکانس به شکل رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$\tau_g(\omega) = -\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} = -\frac{d\varphi(f)}{2\pi df} \quad (4)$$

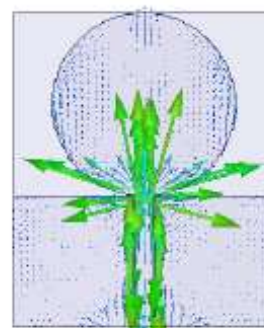
که در آن  $\varphi(f)$  مولفه فاز تابع انتقال سیستم است. تاخیر گروهی ثابت به یک ساختار غیراعوجاجی با تغییر فاز خطی برحسب فرکانس دلالت دارد.

اندازه‌گیری تاخیر گروهی با تحریک دو نمونه یکسان از آنتن‌ها (فرستنده و گیرنده) با فاصله ۳۰ سانتیمتری از هم در دو جهت روبرو و

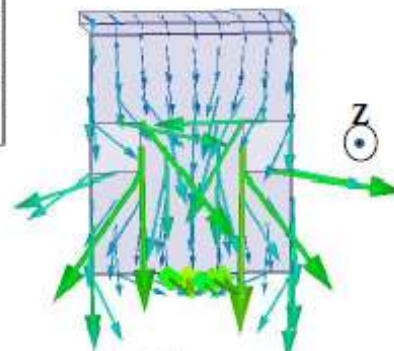
صفحه قائم آنتن باند باریک غالب‌تر است که منجر به پلاریزاسیون خطی در جهت محور X- برای آنتن فرایه‌بند و پلاریزاسیون خطی در جهت محور Z برای آنتن باند باریک می‌شود.



شکل ۱۰: توزیع جریان آنتن فرایه‌بند در فرکانس ۵/۲ گیگاهرتز



(الف)



(ب)

شکل ۱۱: بردار توزیع جریان سطحی در فرکانس ۵/۲ گیگاهرتز (الف) آنتن فرایه‌بند تحریک شده و آنتن باند باریک به بار ۵۰ اهمی ختم می‌شود. (ب) آنتن باند باریک تحریک شده و آنتن فرایه‌بند به بار ۵۰ اهمی ختم می‌شود.

صفحه YZ (صفحه H) و صفحه XZ (صفحه E) دو صفحه اساسی هستند که الگوهای تشعشی آنتن را شرح می‌دهند. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ الگوهای تشعشی آنتن‌ها را نشان می‌دهند. بهره آنتن فرایه‌بند در محدوده فرکانسی ۲ تا ۱۱ گیگاهرتز بین مقادیر 1dB و 5dB تغییر می‌کند. کارایی تشعشی آنتن پیشنهادی به‌طور مستقل برای دودهنه (هنگامی که دهنه شماره ۱ تحریک شده و دهنه شماره ۲ به بار ۵۰ اهمی

و ۸ گیگاهرتز به عنوان ورودی برای روش طراحی در نظر گرفته می شود. با مراجعه به شکل ۱۸ و معادلات اشاره شده در بالا راکتانس های سری و موازی مشخص می شوند و بنابراین مقادیر عناصر سلفی و خازنی با استفاده از روابط  $L = \frac{X_L}{2\pi f}$  و  $C = \frac{1}{2\pi f X_C}$  محاسبه می شوند. دو مدار تطبیق امپدانس در شکل ۱۹ نشان داده شدند که پارامترهای S22 متناظر و شبیه سازی شده برای دو مدار تطبیق امپدانس در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

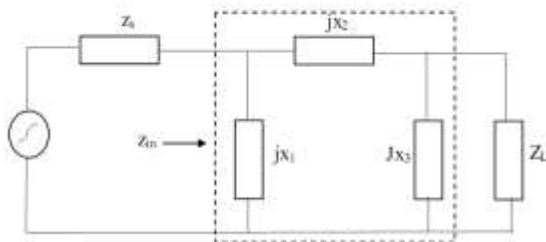
تنظیم پذیری آنتن با پارامترهای مختلفی قابل محاسبه است که تعریف این پارامترها در [۱۸] ارائه شده است. نرخ تنظیم پذیری (TR) مطابق رابطه (۸) بیان می شود:

$$TR = 2 \frac{(f_{oh} - f_{ol})}{(f_{oh} + f_{ol})} 100\% \quad (8)$$

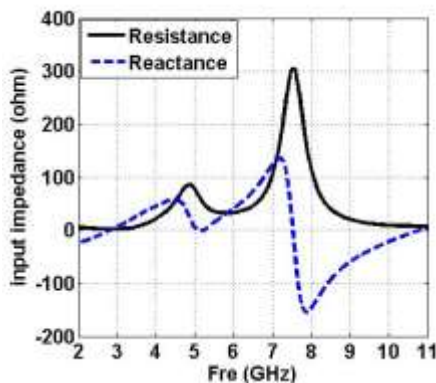
که در آن  $f_{ol}$  و  $f_{oh}$  متناظر با بالاترین و پایین ترین فرکانس تشدید هستند. با در نظر گرفتن  $f_{oh} = 8.22 \text{ GHz}$  و  $f_{ol} = 3.12 \text{ GHz}$  و با استفاده از رابطه (۸) مقدار  $TR = 90\%$  محاسبه می شود که در مقایسه با مراجع موجود نرخ تنظیم پذیری بالایی محسوب می شود و بنابراین آنتن باند-باریک در تمام محدوده طیف فرایه‌بند قابلیت تنظیم پذیری دارد. در جدول ۲، ابعاد و نرخ تنظیم پذیری آنتن پیشنهادی با ساختارهای پیشین ارائه شده در مقالات مقایسه شده است. ویژگی های قابل توجه ساختار پیشنهادی دستیابی به نرخ تنظیم پذیری بالا، ابعاد کوچک و سادگی طراحی می باشد.

جدول ۲: مقایسه آنتن پیشنهادی با آنتن های معرفی شده در مقالات

مرجع	ابعاد آنتن (mm <sup>2</sup> )	تنظیم پذیری (%)
[۱]	۶۵×۴۰	۸۰/۳۴
[۷]	۷۰×۵۰	۸۵
[۱۲]	۵۰×۵۰	۶۰
این مقاله	۴۰×۴۸	۹۰

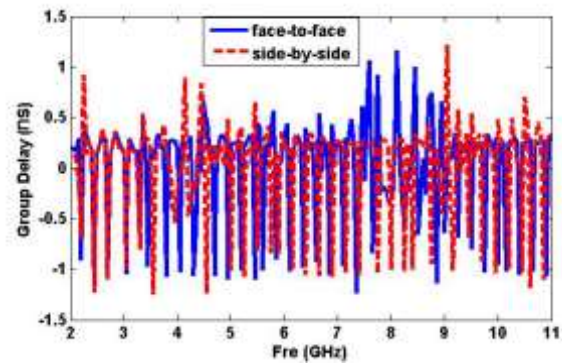


شکل ۱۷: شبکه تطبیق π شکل



شکل ۱۸: امپدانس ورودی شبیه سازی شده برای آنتن باند باریک

کنار هم انجام شده است [۱۶]. همانطور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است، این پارامتر به میزان ۳ نانو ثانیه بین ۱/۵- تا ۱/۵+ نانو ثانیه تغییر می کند.



شکل ۱۵: تاخیر گروهی برای دو جهت متفاوت آنتن فرایه‌بند

#### ۴- طراحی مدارهای تطبیق امپدانس

همانطور که در بخش مقدمه ذکر شده، آنتن باندباریک برای کاربرد رادیو-شناختی باید قابلیت تنظیم فرکانسی را داشته باشد. طراحی دو نوع مدار تطبیق امپدانس برای تنظیم آنتن باندباریک در دو فرکانس پایین و بالای طیف فرایه‌بند در این بخش انجام شده است. شبکه های L و π شکل برای تنظیم آنتن باندباریک در فرکانس های ۳ گیگاهرتز و ۸ گیگاهرتز به کار گرفته شدند تا این دو فرکانس قابلیت تنظیم پذیری بالا را برای آنتن باندباریک در محدوده فرایه‌بند نشان دهند. هر دو مدار از عناصر خازنی و سلفی تشکیل شده اند. عناصر مدار امپدانس حول خط تغذیه آنتن باندباریک در لبه پایین زیر لایه قرار می گیرند. ساده ترین مدار تطبیق امپدانس استفاده شده شبکه L شکل نشان داده شده در شکل ۱۶ است که در آن  $Z_2 = -jX_2$ ,  $Z_1 = jX_1$ ,  $Z_S = R_S + jX_S$ ,  $Z_L = R_L + jX_L$  می باشد. مقادیر عناصر شکل ۱۶ با استفاده از معادلات (۵) الی (۷) محاسبه می شوند [۱۷].

$$X_1 = \frac{X_S + R_S Q}{\frac{R_S}{R_L} - 1} \quad (5)$$

$$X_2 = -(X_L \pm R_L Q) \quad (6)$$

$$Q = \sqrt{\frac{R_S}{R_L} - 1 + \frac{X_S^2}{R_S R_L}} \quad (7)$$

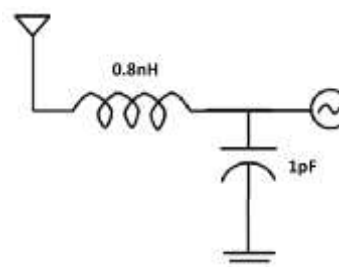


شکل ۱۶: شبکه تطبیق L شکل

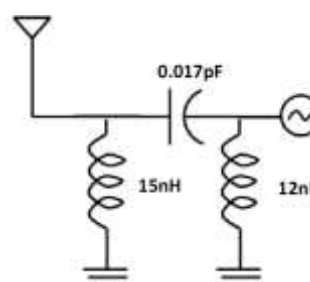
یک شبکه π سه المانه در شکل ۱۷ نشان داده شده است. شبکه π می تواند به صورت دو شبکه تطبیق L شکل در نظر گرفته شود و بنابراین راکتانس ها مشابه شبکه L شکل محاسبه می شوند. امپدانس آنتن در ۳

## مراجع

- [1] M. Abioghli, A. Keshtkar, M. N. Moghadasi, and B. Ghalamkari, "UWB rectangular DRA integrated with reconfigurable narrowband antenna for cognitive radio applications" *JETE Journal of Research*, pp. 1-9, 2018.
- [2] Y. F Wang, S. Liu, T. A. Denidni, Q. S Zeng, and G. Wei, "Integrated ultra-wideband planar monopole with cylindrical dielectric resonator antennas," *Prog. Electromagn. Res. C*, Vol. 44, pp. 41-53, 2013.
- [3] S. Pahadsingh, and S. Sahu, "Planar UWB integrated with multi narrowband cylindrical dielectric resonator antenna for cognitive radio application," *AEU Int J Elecstro C.*, Vol. 74, pp. 150-157, 2017.
- [4] I. Messaoudene, T.A. Denidni and A. Benghalia, "Ultra-wideband DRA integrated with narrow-band slot antenna," *Electronics Letters.*, Vol. 50, no. 3, pp. 139-141, 2014.
- [5] E. Erfani, J.Nourini, C.Ghobadi, M.Niroo-Jazi, and T. A. Denidni, "Design and implementation of an integrated UWB/reconfigurable slot antenna for cognitive radio applications," *Antennas Wirel. Propag. Lett.*, Vol. 11, pp. 77-80, 2012.
- [6] S. Pahadsingh, and S. Sahhu, "A two port ultra-dual narrowband antenna for cognitive radios," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, Vol. 58, no. 8, pp. 1973-1978, 2016.
- [7] Y.Tawk, J.Costantine, K.Avery, and C.G.Christodoulou, "Implementation of a cognitive radio front-end using rotatable controlled reconigurable antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 59, no. 5, pp. 1773-1778, 2011.
- [8] M. Abioghli, A. Keshtkar, M. N. Moghadasi, and B. Ghalamkari, "A Frequency Reconfigurable Band-Notched UWB Dielectric Resonator Antenna with a Wide Tuning Range for Cognitive Radio Systems," *IETE Journal of Research*, pp. 1-10, 2018.
- [9] علیرضا زرخشک و پژمان رضایی، (( آنتن پوشیدنی فشرده برای کاربردهای فرایه‌ن باند و بلوتوث ))، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۸، شماره ۲، صفحه ۶۸۶-۶۷۹، ۱۳۹۷.
- [10] G.P. Jin, D.L. Zhang, and R.L. Li, "optically controlled reconfigurable antenna for cognitive radio applications," *Electron. Lett.*, Vol. 47, no. 17, pp. 948-50, 2011.
- [11] H. Rajagopalan, J. M. Kovitz, and Y.R.Samii, "MEMS reconfigurable optimized E-shaped patch antenna design for cognitive radio," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 62, no. 3, pp. 1056-64, 2014.
- [12] T. Aboufoul, A. Alomainy, and C. Parini, "Reconfiguring UWB monopole antenna for cognitive radio applications using GaAs FET switches," *Antennas Wirel. Propag. Lett*, Vol. 11, pp. 392-94, 2012.
- [13] یاشار زهفروش، مهدی سفیدی و علی شادمند، (( طراحی یک آنتن مسطح تک‌قطبی نوین برای کاربردهای UWB با مشخصه فیلترینگ دوبانده و ارزیابی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ))، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۸، شماره ۱، صفحه ۶۰-۵۳، ۱۳۹۷.
- [14] B. C. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*. Boston, MA: Artech House, 1991.
- [15] Q.-X. Chu and Y.-Y. Yang, A compact ultra wide band antenna with 3.4/5.5 GHz dual band-notched characteristics, *IEEE Trans Antennas Propag*, Vol. 56, no.12, pp. 3637-3644, 2008.
- [16] M. Gopikrishna, D. D. Krishna, C. K. Anandan, P. Mohanan, and K. Vasudevan, "Design of a compact semi-elliptic monopole slot antenna for UWB systems," *IEEE Trans Antennas Propag*, Vol. 57, no.6, pp. 1834-1837, 2009.
- [17] C. Bowick, *RF Circuit Design*, Newnes, ISBN 0-7506-9946-9, 1982.
- [18] S. Rao, and N. Liombart, "An overview of tuning techniques for frequency agile antennas," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 54, no. 5, pp. 271-296, 2012.

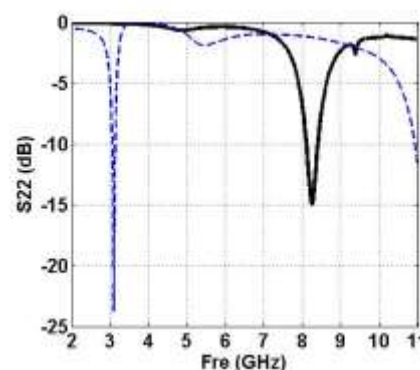


(الف)



(ب)

شکل ۱۹: مدارهای تطبیق امپدانس الف) ۳/۱۲ گیگاهرتز ب) ۸/۲۲ گیگاهرتز



شکل ۲۰: تلفات بازگشتی آنتن باند باریک برای مدارهای تطبیق

شکل ۱۹

## ۵- نتیجه

آنتن مجتمع دودهنه فرایه‌ن باند و باند باریک غیرمسطح طراحی، تحلیل و ساخته شده است. نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد که آنتن فرایه‌ن باند، باند فرکانسی ۲/۲ تا ۱۱ گیگاهرتز را پوشش می‌دهد که برای اسکن طیف مناسب است و آنتن باند باریک حول فرکانس ۵/۲ گیگاهرتز کار می‌کند که برای عمل‌کرد انتقال کاربرد دارد. همچنین، طراحی پیشنهادی یک جداسازی خوب بین دو دهنه آنتن‌ها (تزیوج متقابل کمتر از -13dB) را فراهم می‌کند که یک تجمیع موثر را تضمین می‌کند. دو مدار تطبیق امپدانس طراحی شده است تا قابلیت تنظیم‌پذیری آنتن باند باریک را در سراسر فرایه‌ن باند نشان دهد. بنابراین، آنتن پیشنهادی با ویژگی‌های ذکر شده برای کاربردهای رادیوشناختی مناسب است.