

# طراحی، شبیه‌سازی و ساخت یک تزویج‌کننده مایکرواستریپی فشرده با بهبود عملکرد و حذف هارمونیک‌های ناخواسته

طاهره براتی کاشاتوئی و سعید روشنی

انتقال به طراحی و فشرده‌سازی تزویج‌کننده شاخه‌ای پرداخته شده است اما این بهبود عملکرد هیچ گونه کاهش سایزی را به همراه نداشته است. در [۴] یک تزویج‌کننده شاخه‌ای با استفاده از مدل T و مدل  $\pi$  طراحی شده است. تزویج‌کننده شاخه‌ای طراحی شده در این مرجع شامل خازن و استاب‌های اتصال باز می‌باشد که در مقایسه با مدار اصلی، کاهش سایز قابل ملاحظه‌ای دارد اما به علت وجود خازن در ساختار تزویج‌کننده نتایج تجربی و شبیه‌سازی در فرکانس دلخواه از دقت کافی برخوردار نیست. در [۵] با استفاده از تکنولوژی<sup>۱</sup> SISL یا زیرلایه مجتمع با خطوط معلق که برای فشرده‌سازی مدار بکار می‌رود طراحی شده است. ساختار فوق به منظور کاهش سایز تزویج‌کننده شاخه‌ای مرسوم به کار رفته که کاهش سایز قابل قبولی را نشان می‌دهد. از مزایای استفاده از تزویج‌کننده شاخه‌ای فشرده با استفاده از روش SISL کاهش هزینه و وزن آن است ولی متأسفانه فرایند ساخت را پیچیده می‌کند. در [۶] یک تزویج‌کننده فشرده با استفاده از ساختار T شکل طراحی شده است. ساختار به کار رفته در این مقاله، کاهش سایز قابل قبولی در فرکانس ۲/۵ گیگاهرتز نسبت به ساختار مرسوم دارد اما در کار فوق بهبود پارامترهای پراکندگی دیده نمی‌شود. در [۷] تزویج‌کننده شاخه‌ای فشرده شده با استفاده از ساختار خم‌شده ارائه شده است. کاهش سایز مشاهده شده در تزویج‌کننده شاخه‌ای نسبت به تزویج‌کننده مرسوم قابل ملاحظه است اما در این روش نیز طراحی صورت گرفته هزینه بالایی را دربرداشته است. در [۸] برای کاهش سایز تزویج‌کننده مرسوم از استاب‌های امپدانس بالا و پایین اتصال باز استفاده شده است. تزویج‌کننده گزارش شده در این مرجع، در فرکانس ۲/۴۵ گیگاهرتز پیاده‌سازی شده و برای رسیدن به کاهش سایز مطلوب از مدل ترکیبی (ترکیبی از مدل T و مدل  $\pi$ ) و استاب‌های اتصال باز استفاده شده و به نتایج مطلوبی رسیده است. در [۹] و [۱۰] از مقاومت و خازن فشرده برای کاهش سایز تزویج‌کننده استفاده شده است. اما به کارگیری مقاومت و خازن فشرده در فرکانس بالا معمولاً مطلوب نمی‌باشد و تلفیق عناصر فشرده با خطوط مایکرواستریپ نامطلوب است [۹] تا [۱۱]. یک تزویج‌کننده مایکرواستریپی در [۱۲] طراحی شده که ۳۷٪ نسبت به نمونه اولیه کاهش سایز داشته است و در [۱۳] نیز تزویج‌کننده‌ای طراحی شده که ابعادش حدود ۴۰٪ نسبت به تزویج‌کننده نوع مرسوم کاهش یافته است. اما متأسفانه دو تزویج‌کننده فوق در باند گذر خطای عبوری<sup>۲</sup> بالایی دارند و تلفات بازگشتی ورودی<sup>۳</sup> و خروجی<sup>۴</sup> خیلی مناسبی ندارند. در [۱۴] با استفاده از رزوناتور فشرده، ابعاد تزویج‌کننده به صورت قابل توجهی کاهش یافته است اما ایراد دیده شده در این طرح، تلفات موجود در پورت‌ها می‌باشد. در [۱۵] از رزوناتور

چکیده: در این مقاله، طرحی نو برای کوچک‌سازی و بهبود پارامترهای پراکندگی تزویج‌کننده شاخه‌ای آمده است. تزویج‌کننده طراحی شده قابلیت حذف هارمونیک دوم را با سطح تضعیف ۳۸/۵۵ dB دارا می‌باشد و پاسخ‌های پراکندگی بهبودیافته مدار پیشنهادی برابر  $S_{11} = -67.67$  dB،  $S_{21} = -37.09$  dB،  $S_{31} = -2.95$  dB و  $S_{12} = -49.78$  dB است. در روند طراحی تزویج‌کننده پیشنهادی از ساختار خطوط خم‌شده و استاب‌های اتصال باز استفاده شده است. تزویج‌کننده پیشنهادی تنها ۵۶/۶ درصد از فضای تزویج‌کننده مرسوم را اشغال می‌کند که کاهش سایز قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. کوپلر ارائه شده برای کار در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز، بر روی زیرلایه ۵۸۸۰ RT/Duroid با ثابت دی‌الکتریک  $\epsilon_r = 2.2$ ، ضخامت زیرلایه  $H = 31$  mil و تناژت تلفات  $+0.009$  طراحی و ساخته شده است.

کلیدواژه: تزویج‌کننده مایکرواستریپی، حذف هارمونیک، ساختار خم، استاب‌های اتصال باز.

## ۱- مقدمه

تزویج‌کننده‌های شاخه‌ای از مهم‌ترین ادوات غیر فعال در سیستم‌های مخابراتی و مایکروویو هستند که با ایجاد اختلاف فاز نود درجه در پورت‌های خروجی در تقویت‌کننده‌ها، میکسرها، تقسیم‌کننده‌های توان و شیفت‌دهنده‌های فازی به کار می‌روند [۱]. تزویج‌کننده شاخه‌ای یک قطعه چهار پورتی است که برای تقسیم توان ورودی به دو بخش مساوی با اختلاف فاز نود درجه در دو پورت خروجی با ایزولاسیون بسیار بالا و یا ترکیب دو سیگنال ورودی با اندازه توان مساوی و اختلاف فاز نود درجه در دو پورت خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲].

تزویج‌کننده‌های شاخه‌ای مرسوم به دلیل استفاده از خطوط یک‌چهارم طول موج ( $\lambda/4$ ) دارای سایز بزرگی هستند که در نتیجه حجم زیادی از مدارات مایکروویو را اشغال می‌کنند. امروزه، تلاش برای کوچک‌سازی و کاهش سایز مدارات مایکروویو به دلیل کاهش هزینه‌ها روز به روز بیشتر شده است.

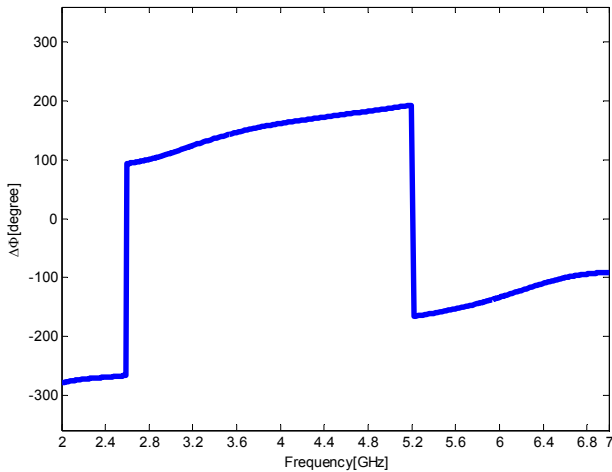
مطالعات و پژوهش‌های فراوانی جهت بهبود پارامترهای پراکندگی و کاهش ابعاد تزویج‌کننده‌ها صورت گرفته که در این تحقیقات روش‌های مختلفی جهت بهینه‌سازی مشخصات و بهبود عملکرد انواع تزویج‌کننده ارائه شده است. در [۳] یک تزویج‌کننده شاخه‌ای با استفاده از استاب اتصال باز طراحی شده که با استفاده از استاب‌های اتصال باز در خط

این مقاله در تاریخ ۴ فروردین ماه ۱۳۹۶ دریافت و در تاریخ ۲۱ مرداد ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

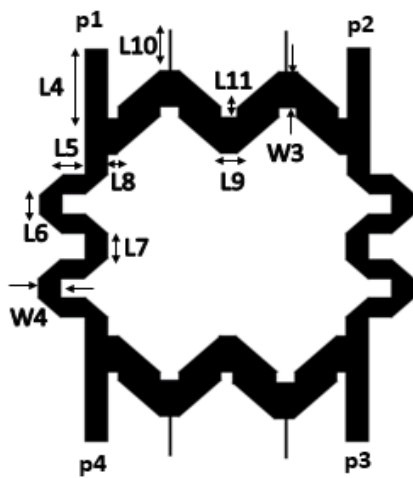
طاهره براتی کاشاتوئی، گروه برق، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، (email: b\_tahereh@ymail.com)

سعید روشنی، گروه برق، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، (email: roshany@ieee.org)

1. Substrate Integrated Suspended Line
2. Insertion Loss
3. Input return Loss
4. Output return Loss



شکل ۳: اختلاف فاز دو پورت خروجی تزویج کننده مرسوم.



شکل ۴: جانمایی تزویج کننده شاخه‌ای خم شده.

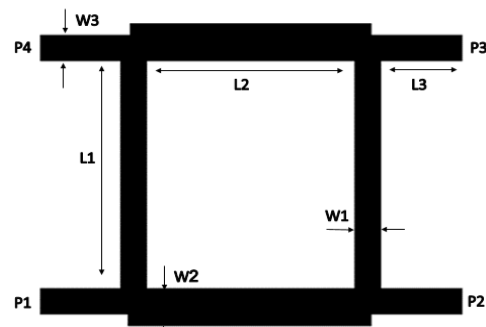
و اختلاف فاز دو پورت خروجی به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۲ دیده می‌شود پارامترهای پراکندگی تزویج کننده مرسوم برابر  $S_{11} = -23.7 \text{ dB}$ ،  $S_{22} = -3.9 \text{ dB}$ ،  $S_{33} = -4.5 \text{ dB}$  و  $S_{44} = -22.8 \text{ dB}$  می‌باشد. در شکل ۳ نتایج شبیه‌سازی اختلاف فاز دو پورت خروجی تزویج کننده مرسوم نشان داده شده که در فرکانس  $2.4$  گیگاهرتز برابر  $91$  درجه ( $-269$  درجه) می‌باشد.

### ۲-۱ طراحی تزویج کننده با استفاده از ساختار خم شده

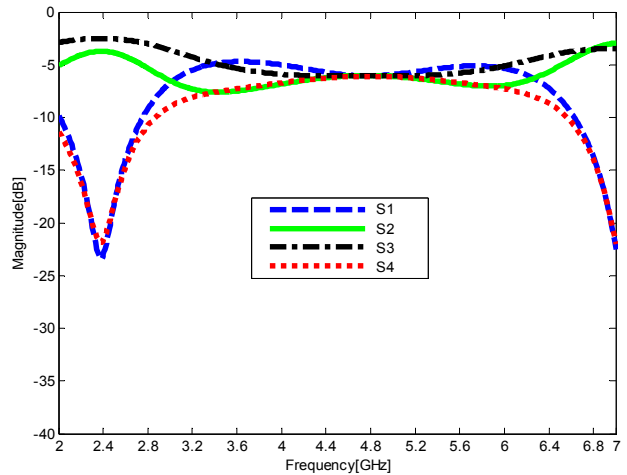
در این مرحله از طراحی برای بهبود پاسخ پارامترهای پراکندگی تزویج کننده مرسوم، به طراحی تزویج کننده با ساختار خم شده می‌پردازیم. شکل ۴ شماتیک تزویج کننده با استفاده از ساختار خم شده را نشان می‌دهد. ساختار فوق حدود  $32\%$  کاهش سایز نسبت به تزویج کننده مرسوم نشان داده شده در شکل ۱ را نشان می‌دهد.

ابعاد تزویج کننده شبیه‌سازی شده در جدول ۲ آمده است و نتایج شبیه‌سازی، پاسخ پارامترهای پراکندگی تزویج کننده در حالت خم شده و اختلاف فاز دو پورت خروجی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۵ دیده می‌شود پاسخ‌های پراکندگی تزویج کننده خم شده  $S_{11} = -25.2 \text{ dB}$ ،  $S_{22} = -3.15 \text{ dB}$ ،  $S_{33} = -3.12 \text{ dB}$  و  $S_{44} = -25.1 \text{ dB}$  می‌باشد.

در شکل ۶ نتایج شبیه‌سازی اختلاف فاز دو پورت خروجی تزویج کننده مرسوم نشان داده شده که در فرکانس  $2.4$  گیگاهرتز برابر  $90.6$  درجه



شکل ۱: جانمایی تزویج کننده مرسوم.



شکل ۲: پاسخ پارامترهای پراکندگی در تزویج کننده مرسوم.

جدول ۱: ابعاد تزویج کننده مرسوم.

ابعاد	عرض (mm)	طول (mm)
$(L_1, W_1)$	۲,۵	۲۳
$(L_2, W_2)$	۳,۶	۲۱
$(L_3, W_3)$	۲,۵	۷,۵

T شکل برای کاهش سایز تزویج کننده مایکرواستریپی استفاده شده و طرح نهایی مرجع فوق  $45\%$  کاهش سایز نسبت به تزویج کننده مرسوم را نشان می‌دهد.

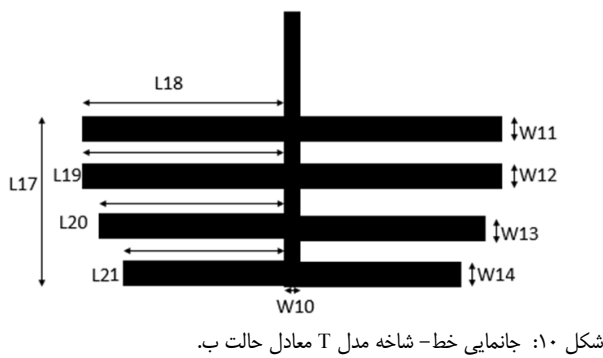
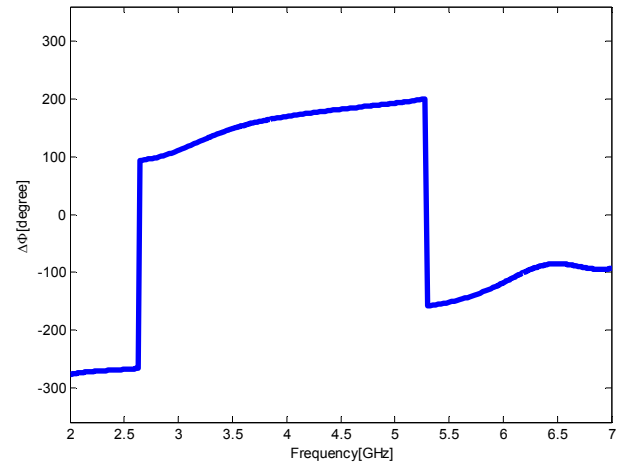
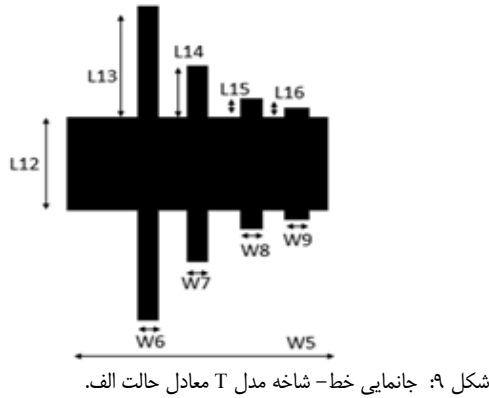
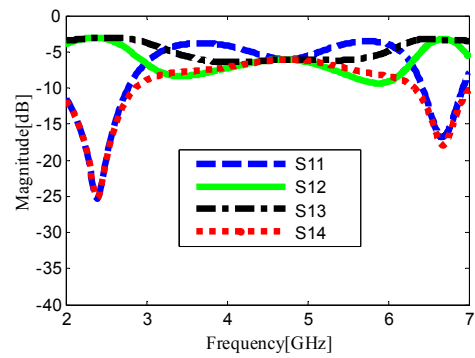
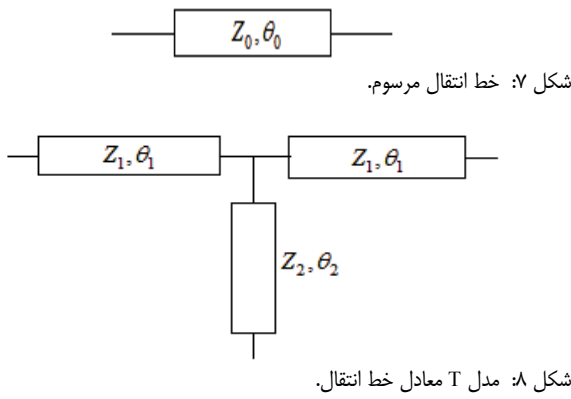
با توجه به مرور ساختارهای پیشین بیان شده در این مقاله با استفاده از روش‌های نوین به طراحی یک تزویج کننده بهینه با سه هدف اصلی پرداخته می‌شود:

- بهبود پارامترهای پراکندگی و اختلاف فاز
  - کاهش سایز مناسب
  - حذف هارمونیک‌های ناخواسته
- در ادامه با بهره‌گیری از روش خطوط خم شده و استاب‌های اتصال باز به طراحی تزویج کننده پیشنهادی می‌پردازیم.

### ۲-۲ روند طراحی

در اولین مرحله، یک تزویج کننده مرسوم به صورت شکل ۱ در فرکانس کاری  $2.4$  گیگاهرتز بر روی زیرلایه  $5880$  RT/duroid با ثابت دی‌الکتریک  $2.2$ ، ضخامت زیرلایه  $31 \text{ mil}$  و تانژانت تلفات  $0.0009$  طراحی شده است.

ابعاد تزویج کننده مرسوم طراحی شده با مشخصات زیرلایه بیان شده به صورت جدول ۱ می‌باشد. پاسخ پارامترهای پراکندگی تزویج کننده مرسوم



جدول ۲: ابعاد تزویج‌کننده با ساختار خم‌شده.

ابعاد	عرض (mm)	طول (mm)
$(L_1, W_1)$	۱٫۷	۶
$(L_2, W_2)$	۱٫۷	۱٫۱۵
$(L_3, W_3)$	۱٫۷	۱٫۵۵
$(L_4, W_4)$	۱٫۷	۲٫۲
$(L_8, W_8)$	۳٫۱	۰٫۷
$(L_9, W_9)$	۳٫۱	۱٫۵۵
$(L_{11}, W_{11})$	۰٫۲	۳٫۵
$(L_{11}, W_{11})$	۳٫۱	۰٫۶۵

جدول ۳: ابعاد خط شاخه شکل‌های ۹ و ۱۰.

Dimension	Width (mm)	Length (mm)
$(L_{12}, W_5)$	۲٫۵	۰٫۹
$(L_{13}, W_6)$	۳	۰٫۵
$(L_{14}, W_7)$	۱٫۳۵	۰٫۵
$(L_{15}, W_8)$	۰٫۵	۰٫۵
$(L_{16}, W_9)$	۰٫۳	۰٫۶
$(L_{17}, W_{10})$	۴٫۰۶	۰٫۵
$(L_{18}, W_{11})$	۳٫۵	۰٫۴
$(L_{19}, W_{12})$	۴	۰٫۵
$(L_{20}, W_{13})$	۳٫۸۳	۰٫۵
$(L_{21}, W_{14})$	۲٫۷۹	۰٫۵

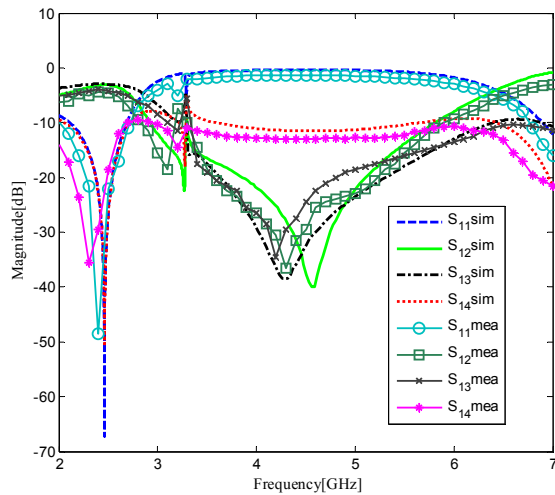
(۲۶۹٫۴- درجه) می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۵ و ۶ مشاهده می‌شود، نتایج پارامترهای پراکندگی و اختلاف فاز در این حالت نسبت به حالت مرسوم بهتر شده است.

## ۲-۲ مدار معادل T

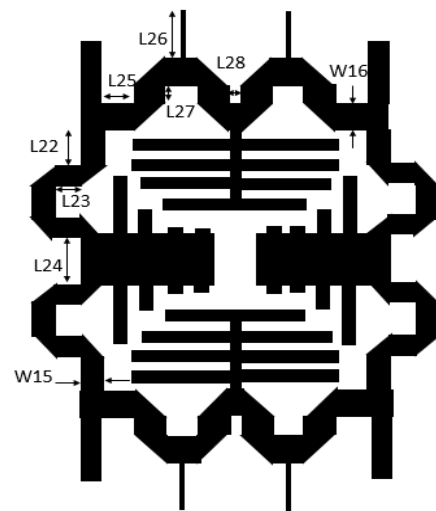
همان‌طور که از نتایج شبیه‌سازی دیده می‌شود تزویج‌کننده پیشنهادی با ساختار خم‌شده تا حدی پارامترهای پراکندگی را بهبود بخشیده و سائز را حدود ۳۳٪ کوچک کرده است. در این مرحله با اضافه کردن استاب‌های اتصال باز به تزویج‌کننده طراحی‌شده با ساختار خم‌شده که در شکل ۴ نشان داده شده است، می‌توان بهبود پارامترهای پراکندگی، کاهش سائز و حذف هارمونیک را انتظار داشت.

در روند طراحی برای بهبود عملکرد و کاهش سائز تزویج‌کننده به جای خط انتقال مرسوم نشان داده شده در شکل ۷ از مدل T معادل نشان داده شده در شکل ۸ استفاده شده که منجر به بهبود پارامترهای پراکندگی و کاهش سائز شده است.

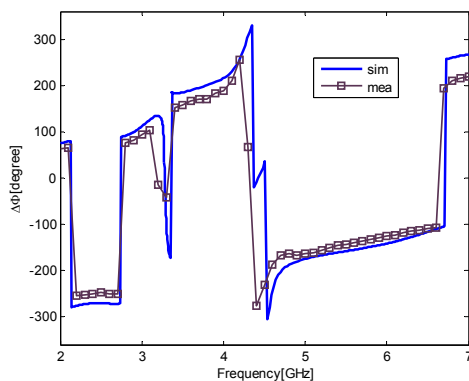
در تزویج‌کننده پیشنهادی اکنون با استفاده از طراحی جدید، چهار مدار مدل T، جایگزین خطوط انتقال مرسوم شده است. برای حفظ تقارن و داشتن پاسخ مناسب از دو مدل به صورت نشان‌داده در شکل‌های ۹ و ۱۰ استفاده شده است. ساختارهای فوق با استفاده از نرم‌افزار ADS شبیه‌سازی و بهینه‌سازی شده است. ابعاد نهایی به دست آمده برای دو مدل فوق در جدول ۳ آمده است.



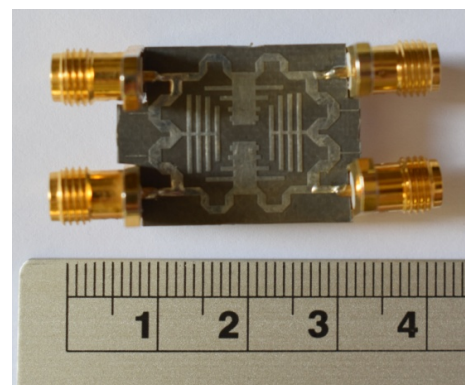
شکل ۱۳: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پارامترهای پراکندگی تزویج‌کننده پیشنهادی.



شکل ۱۱: جانمایی تزویج‌کننده پیشنهادی.



شکل ۱۴: نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری اختلاف فاز دو پورت خروجی تزویج‌کننده پیشنهادی.



شکل ۱۲: تصویر ساخته‌شده تزویج‌کننده پیشنهادی.

جدول ۵: مقایسه بین تزویج‌کننده مرسوم و پیشنهادی.

نوع تزویج‌کننده	مساحت (mm × mm)	اندازه نسبی	کاهش هارمونیک
مرسوم	۲۵٫۷ × ۳۰٫۳	٪۱۰۰	ندارد
پیشنهادی	۱۷٫۲ × ۲۵٫۵	٪۴۵٫۴	دارد

جدول ۴: ابعاد تزویج‌کننده پیشنهادی.

Dimension	Width (mm)	Length (mm)
$(L_{22}, W_{15})$	۰٫۹	۱٫۶۵
$(L_{23}, W_{15})$	۰٫۹	۱
$(L_{24}, W_{15})$	۰٫۹	۲٫۵
$(L_{25}, W_{16})$	۱٫۳	۱٫۳۳
$(L_{26}, W_{16})$	۰٫۱	۲٫۵
$(L_{27}, W_{16})$	۱٫۳	۰٫۹
$(L_{28}, W_{16})$	۱٫۳	۰٫۴

ساخته‌شده در شکل ۱۲ آمده و نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پارامترهای پراکندگی تزویج‌کننده پیشنهادی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. از دستگاه Agilent ۸۷۲۲ ES Network Analyzer برای اندازه‌گیری استفاده شده است.

همان‌طور که دیده می‌شود نتایج ساخت و شبیه‌سازی تطبیق خوبی با هم دارند که تأییدکننده صحت عملکرد مدار می‌باشد. جدول ۵ مقایسه بین تزویج‌کننده پیشنهادی و مرسوم را نشان می‌دهد.

نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری اختلاف فاز دو پورت خروجی طراحی نهایی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۳ دیده می‌شود پاسخ‌های پراکندگی تزویج‌کننده پیشنهادی  $S_{11} = -۶۷٫۶۷$  dB،  $S_{12} = -۳۷٫۰۹$  dB،  $S_{13} = -۲٫۹۵$  dB و  $S_{14} = -۳۹٫۷۸$  dB است که بسیار مطلوب می‌باشد و نسبت به حالت‌های پیشین بهبود چشم‌گیری یافته است. شکل ۱۴ اختلاف فاز بین دو پورت خروجی را نشان می‌دهد که حدود ۹۰ درجه (۲۷۰- درجه) می‌باشد که این پارامتر نیز نسبت به حالت‌های پیشین به صورت چشم‌گیری بهبود یافته است. دیگر مزیت مهم تزویج‌کننده پیشنهادی حذف هارمونیک دوم با سطح تضعیف بالا می‌باشد و همان‌طور که در شکل ۱۲ دیده می‌شود هارمونیک دوم در فرکانس ۴/۸ گیگاهرتز بیشتر از ۳۸ dB تضعیف می‌شود.

### ۳-۲ ساختار نهایی

ساختار نهایی تزویج‌کننده پیشنهادی در شکل ۱۱ نشان داده شده و اندازه فیزیکی کوپلر پیشنهادی  $۱۷٫۲ \text{ mm} \times ۲۵٫۵ \text{ mm}$  است که ٪۴۵٫۴ کاهش ابعاد را نسبت به تزویج‌کننده مرسوم نشان داده شده در شکل ۱ دارد. با توجه به شکل ۱۱، ابعاد تزویج‌کننده پیشنهادی در جدول ۴ ارائه شده است. ساختار نهایی تزویج‌کننده پیشنهادی تنها ۵۴/۶ درصد از فضای تزویج‌کننده مرسوم را اشغال می‌کند که ۴۵/۴ درصد کاهش سایز را به همراه دارد.

### ۳-۳ ساخت و اندازه‌گیری

تزویج‌کننده پیشنهادی برای کار در فرکانس ۲/۴ GHz روی زیرلایه RT/duroid ۵۸۸۰ با ثابت دی‌الکتریک ۲/۲، ضخامت زیرلایه ۳۱ mil و تاژانتهای تلفات ۰/۰۰۰۹ طراحی و ساخته شده است. تصویر تزویج‌کننده

جدول ۶ مقایسه اجمالی بین تزویج‌کننده ساخته‌شده و کارهای پیشین.

مراجع	$S_{11}$ (dB)	$S_{12}$ (dB)	$S_{13}$ (dB)	$S_{14}$ (dB)	$f_c$ (GHz)	کاهش اندازه	اختلاف فاز
[۶]	-۳۵٫۷	-۳٫۲	-۳٫۱	-۲۲٫۸	۲٫۵	۴۱٫۴٪	۸۹٫۱۸°
[۳]	-۳۵٫۹	-۳٫۱	-۳	-۳۷٫۹	۱٫۷۷	۳۴٫۸٪	-
[۱۶]	-۲۷٫۸	-۳	-۳	-۲۷٫۹	۱٫۸	۳۸٫۲٪	-
[۱۷]	-۲۳	-۳٫۵	-۴٫۱	-۴۰	۱٫۹	۴۰٪	۹۰° ± ۳°
[۴]	-۲۳٫۶	-۳٫۳۶	-۴٫۰۱	-۲۵	۲٫۴۵	۴۰٪	۸۸°
[۸]	-۳۵٫۰۹	-۳٫۴۵	-۳٫۴۵	-۳۰	۲٫۴۵	۳۰٫۰۶٪	۹۱٫۳۵°
[۷]	-۲۹٫۵۳	-۳٫۱۲	-۳٫۱۲	-۳۰٫۷۶	۲٫۴	۴۳٫۶۳٪	۹۰٫۶۸°
[۱۸]	-۴۰	-۴	-۴	-۴۰	۱۲	۳۴٪	-
روش پیشنهادی	-۶۹٫۱	-۳٫۰۹	-۲٫۹۵	-۴۹٫۷۸	۲٫۴	۴۵٫۴٪	۹۰° ± ۰٫۰۴°

*Technologies sans fil et Systèmes répartis, WITS'14*, 4 pp., 9-10 Apr. 2014.

- [9] Y. C. Chiang and C. Y. Chen, "Design of a wide-band lumped-element 3 dB quadrature coupler," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 3, pp. 476-479, Mar. 2001.
- [10] S. S. Liao, P. T. Sun, N. C. Chin, and J. T. Peng, "A novel compact-size branch-line coupler," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 9, pp. 588-590, Sept. 2005.
- [11] R. W. Voge, "Analysis and design of lumped and lumped distributed element directional couplers for MIC and MMIC application," *IEEE Trans. Microw. Theory and Tech*, vol. 40, no. 2, pp. 253-262, Feb. 2003.
- [12] K. W. Eccleston and S. H. Ong, "Compact planar microstrip line branch-line and rat-race couplers," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, no. 10, pp. 2119-2125, Oct. 2003.
- [13] K. O. Sun, S. J. Ho, C. C. Yen, and D. van der Weide, "A compact branch-line coupler using discontinuous microstrip lines," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 8, pp. 519-520, Aug. 2005.
- [14] J. Gu and X. Sun, "Miniaturization and harmonic suppression of branch-line and rat-race hybrid coupler using compensated spiral compact microstrip resonant cell," in *Proc. Int. IEEE Microwave Symp., MTT-S'05*, pp. 1211-1214, Jun. 2005.
- [15] S. S. Liao and J. T. Peng, "Compact planar microstrip branch-line couplers using the quasi-lumped elements approach with nonsymmetrical and symmetrical T-shaped structure," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 9, pp. 3508-3514, Aug. 2006.
- [16] S. Gomha, M. EL-Sayed, A. A. T. Shalaby, and S. Ahmed, "Miniaturization of branch-line couplers using open stubs and stepped impedance unit cells with meandering transmission lines," *Circuits and Systems: An International J.*, vol. 1, no. 3, pp. 13-26, Jul. 2014.
- [17] Y. L. Then, K. Y. You, M. N. Dimon, J. C. Chong, and T. S. Tan, "Compact microstrip S-band 90° hybrid coupler," in *Proc. IEEE Symp. on Wireless Technology and Applications, ISWTA'13*, pp. 202-206, Sept. 2013.
- [18] G. Tian, J. P. Yang, L. Cui, W. Wu, and S. C. Shi, "Research on the equivalent circuit of microstrip T-junctions and its application on branch-line coupler," in *Proc. Int. Conf. on Microwave and Millimeter Wave Technology, ICMWT*, 4 pp., Shenzhen, China, 5-8 May 2012.

**طاهره براتی کاشاتونئی** تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق الکترونیک در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۶ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه به پایان رسانده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: طراحی مدارات آنالوگ و کاربردهای آن، طراحی مدارات فعال و غیر فعال در فرکانس‌های باند رادیویی.

**سعید روشنی** در سال ۱۳۸۷ مدرک کارشناسی مهندسی برق الکترونیک خود را از دانشگاه رازی کرمانشاه، در سال ۱۳۸۹ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق الکترونیک خود را از شاهد تهران و در سال ۱۳۹۳ مدرک دکتری خود را در رشته مهندسی برق الکترونیک از دانشگاه رازی کرمانشاه دریافت نمود. ایشان در سال ۹۳ با عنوان دانشجوی نمونه کشور از رساله دکتری خود دفاع نمودند. از سال ۱۳۹۰ نام‌برده به عنوان عضو هیأت علمی گروه برق در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه مشغول به کار هستند. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: طراحی انواع مدارات آنالوگ،

مقایسه بین عملکرد تزویج‌کننده پیشنهادی ساخته‌شده و تعدادی از تزویج‌کننده‌های ساخته‌شده مشابه در سال‌های اخیر در جدول ۶ خلاصه گردیده است. همان طور که دیده می‌شود تزویج‌کننده پیشنهادی از نظر کاهش ابعاد و فشرده‌سازی نسبت به نمونه‌های پیشین بهتر است، همچنین از نظر عملکرد و بهبود پارامترهای پراکندگی نسبت به تزویج‌کننده‌های ساخته‌شده مراجع دیگر پاسخ بهتری را دارا می‌باشد.

## ۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک تزویج‌کننده فشرده مایکرواستریبی در فرکانس کاری ۲٫۴ گیگاهرتز طراحی، شبیه‌سازی و ساخته شده است. میزان کاهش اندازه در نمونه تزویج‌کننده پیشنهادی نسبت به تزویج‌کننده مرسوم حدوداً ۴۶٪ بوده است. تزویج‌کننده پیشنهادی بهترین پاسخ‌های پراکندگی و اختلاف فاز را در مقایسه با بسیاری از کارهای پیشین نشان می‌دهد. تزویج‌کننده پیشنهادی طراحی شده علاوه بر عملکرد مناسب در فرکانس کاری (۲٫۴ گیگا هرتز) و ارایه پارامترهای مطلوب، هارمونیک دوم را نیز در فرکانس ۴٫۸ گیگاهرتز بیشتر از ۳۸ dB تضعیف می‌کند. با مشخصات و مزیت‌های ذکرشده، تزویج‌کننده ساخته‌شده می‌تواند در کاربردها و اهداف مخابراتی و سیستم‌های بی‌سیم مورد استفاده قرار بگیرد.

## مراجع

- [1] J. Wang, J. Ni, S. Zhao, and Y. X. Guo, "Compact microstrip ring branch-line coupler with harmonic suppression," *J. of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 23, no. 16, pp. 2119-2126, Apr. 2009.
- [2] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 2009.
- [3] S. Gomha, E. S. M. El-Rabaie, and A. A. T. Shalaby, "Optimizing the performance of branch-line couplers using open ended stubs," in *Int. Conf. on Computing, Electrical and Electronics Engineering, ICCEE'13*, pp. 363-367, Aug. 2013.
- [4] S. J. Wu, J. D. Tseng, Y. H. Shih, and K. H. Lin, "Mixed type branch line coupler designs," in *Proc. Asia-Pacific Symp on Electromagnetic Compatibility, APEMC'15*, pp. 728-731, May 2015.
- [5] Y. Wang, K. Ma, and S. Mou, "A compact branch-line coupler using substrate integrated suspended line technology," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 26, no. 2, pp. 95-97, Jan. 2016.
- [6] P. Bhowmik, T. Moyra, and P. K. Deb, "Size miniaturization of 3 dB branch line coupler by using open stubs," in *Proc. 2nd Int. Conf. on Signal Processing and Integrated Networks, SPIN'15*, pp. 642-645, Feb. 2015.
- [7] A. C. Das, L. Murmu, and S. Dwari, "A compact branch-line coupler using folded microstrip lines," in *Proc. Int. Conf. on Microwave and Photonics, ICMAP'13*, 3 pp., 1-3 Dec. 2013.
- [8] A. Sardi, J. Zbitou, A. Errkik, L. El Abdellaoui, A. Tajmouati, and M. Latrach, "A novel design of branch-line coupler 3 dB microstrip using open stubs," in *Proc. Workshop Int. sur les nouvelles*

هوش مصنوعی و کاربردهای آن، طراحی مدارات فعال و غیر فعال در فرکانس‌های باند رادیویی.