

## **Design of a compact Rat-race coupler with harmonics suppression using lumped component elements for wide coverage applications**

**Received: 08 January 2022**  
**Accepted: 19 February 2022**  
**Article type: Research Article**  
**PP: 103-109**

**DOI:**

[10.22034/pitc.2022.1266615.1115](https://doi.org/10.22034/pitc.2022.1266615.1115)

**Golshan Mohamadpour**

Department of Electrical Engineering,  
Lorestan University, Lorestan, Khorramabad,  
Iran

[g\\_mohamadpour@yahoo.com](mailto:g_mohamadpour@yahoo.com)

**Salman Karimi**

Department of Electrical Engineering,  
Lorestan University, Lorestan, Khorramabad,  
Iran (**Corresponding author**)

[karimi.salman@lu.ac.ir](mailto:karimi.salman@lu.ac.ir)

**Ali Mir**

Department of Electrical Engineering,  
Lorestan University, Lorestan, Khorramabad,  
Iran

[mir.a@lu.ac.ir](mailto:mir.a@lu.ac.ir)

### **Abstract**

In the coupler design, there are some important parameters, including size reduction, harmonic suppression and insertion loss, which affect the quality of the final product. Thus improving each of these parameters contributes to a more efficient design. In this paper a novel Rat-race coupler with size reduction and harmonics suppression is designed. In the proposed coupler structure, parallel capacitor and inductor are used. The proposed device correctly works at 800 MHz and occupied small size of 46.3mm×23.15mm ( $0.17\lambda \times 0.08\lambda$ ), which shows more than 63% size reduction compared to the conventional coupler. The proposed coupler not only reduce the circuit size but also suppresses 2nd, 3rd and 4th harmonics with 21dB, 38 dB and 20 dB attenuation levels, respectively. The proposed coupler provides wide rejection band from 1.6 GHz to 3.3 GHz with more than 20 dB attenuation level. The insertion loss parameter is less than 0.1 dB and more than 40 dB return loss and isolation are obtained at operating frequency, which show superior performance of the proposed Rat-race coupler.

**Keywords:** Coupler, lumped components, size reduction, microstrip lines, unwanted harmonic suppression

## طراحی تزویجگر رت-ریس فشرده با قابلیت حذف هارمونیک های ناخواسته

## با ترکیب خطوط ریز نوار و عناصر فشرده مداری برای کاربردهای با سطح پوشش وسیع

## چکیده

در این مقاله طراحی جدیدی از تزویجگر رت-ریس همراه با قابلیت حذف هارمونیک های ناخواسته و کاهش ابعاد پیشنهاد شده است. این تزویجگر با استفاده از عناصر فشرده سلف و خازن که به صورت موازی باهم بکار رفته اند طراحی شده است. تزویجگر پیشنهادی در فرکانس مرکزی ۸۰۰ مگاهرتز طراحی شده که دارای ابعاد بسیار کوچک ۴۶/۳ میلیمتر در ۲۳/۱۵ میلیمتر معادل  $(0.17\lambda \times 0.08\lambda)$  است که در مقایسه با تزویجگر رت-ریس متداول در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز حدود ۶۳٪ ابعاد مدار را کاهش داده است. تزویجگر طراحی شده قابلیت حذف هارمونیک های دوم الی چهارم را با سطح تضعیف مناسب دارد بدین ترتیب که تزویجگر پیشنهادی هارمونیک های دوم، سوم و چهارم را به ترتیب با تضعیف های ۲۱ دسیبل، ۳۸ دسیبل و ۲۰ دسیبل حذف می کند و پهنای باند تضعیف بسیار مناسبی در بازه وسیع فرکانسی ۱/۶ گیگاهرتز تا ۳/۳ گیگاهرتز با سطح تضعیف بیش از ۲۰ دسیبل ارایه می دهد. در تزویجگر طراحی شده، تلفات عبوری در دو مسیر عبوری کمتر از ۰/۱ دسیبل در فرکانس کاری است. همچنین تلفات برگشتی و جداسازی نیز در فرکانس کاری بیش از ۴۰ دسیبل می باشند که نشان از عملکرد فوق العاده تزویجگر طراحی شده است.

واژه های کلیدی: تزویجگر، عناصر فشرده، کاهش ابعاد، حذف هارمونیک های ناخواسته.

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

نوع مقاله: پژوهشی

صص: ۱۰۹-۱۰۳

شناسه دیجیتال (doi):

[10.22034/pitc.2022.1266615.1115](https://doi.org/10.22034/pitc.2022.1266615.1115)

## گلشن محمدپور

دانشجوی دکتری-گروه مهندسی برق،  
دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه  
لرستان، خرم آباد، ایران  
g\_mohamadpour@yahoo.com

## سلیمان کریمی

استادیار-گروه مهندسی برق، دانشکده  
فنی مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم  
آباد، ایران  
(نویسنده مسئول)

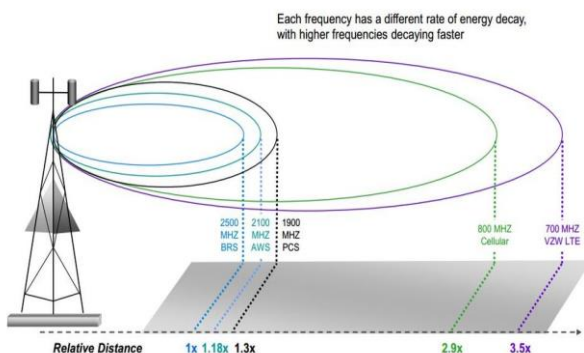
karimi.salman@lu.ac.ir

## علی میر

استاد-گروه مهندسی برق، دانشکده  
فنی مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم  
آباد، ایران

mir.a@lu.ac.ir

## ۱- مقدمه



شکل (۱): پوشش دهی سیگنال ارسالی در فرکانس‌های مختلف.

در شکل (۱) پوشش دهی سیگنال ارسالی در فرکانس‌های مختلف نشان داده شده است. باندهای فرکانسی ۷۰۰ و ۸۰۰ مگاهرتز، شعاع وسیع تری را در مقایسه با فرکانس‌های استاندارد ۲۴۰۰ و ۱۸۰۰ مگا هرتز پوشش می‌دهند. برای نمونه پوشش دهی حدود سه برابری در مقایسه با فرکانس ۲.۵ گیگاهرتز دارند؛ بنابراین هر اپراتور و سازمانی که بتواند خدمات ارتباطی خود را بر این بسترها عرضه کند، به تجهیزات کمتری نیاز دارد؛ سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای حداکثرسازی پوشش شبکه را به شدت کاهش می‌دهد؛ از نظر فنی، قابلیت نفوذ بیشتری دارد، برای نمونه مشکل آنتن‌دهی در نقاط دور افتاده یا در جاده‌های بین‌شهری حل می‌شود، با سرعت بیشتری می‌توان خدمات بهتری را به کاربران ارائه کرد. در حال حاضر باندهای فرکانسی فوق برای استفاده از نسل چهارم و پنجم ارتباطات بی سیم بکار می‌روند همچنین بسیاری از کشورها نظیر استرالیا از فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز برای ارتباط موبایل اضطراری پلیس استفاده می‌کنند؛ بنابراین با توجه به نیاز به تجهیزات کمتر ارتباط راحت‌تری برای پلیس ایجاد می‌شود.

در تزویجگرهای متداول به همراه عبور سیگنال اصلی هارمونیک‌های ناخواسته هم عبور کرده و باعث ایجاد اثرات غیر خطی در مدار می‌شود که نامطلوب است. همچنین تزویجگرهای متداول ابعاد بسیار بالایی دارند که از این دو مورد می‌توان به عنوان بزرگترین عیب تزویجگرهای متداول نام برد [۶].

تا کنون طی سالیان گذشته روش‌های بسیاری در جهت طراحی تزویجگرهای میکروویو با ابعاد کوچک و حذف هارمونیک‌های ناخواسته صورت گرفته است که در هر یک از موارد بخشی از مشکلات ذکر شده مرتفع شده که در ادامه به روند بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

تزویجگرها انواع مختلفی دارند که برای تقسیم دلخواه توان طراحی شده‌اند و در ساختار متقارن تقسیم توان را در درگاه‌های خروجی بصورت مساوی انجام می‌دهند. در ساختارهای نامتقارن درصد تقسیم توان به صورت دلخواه تنظیم می‌شود. از نظر اختلاف فاز در

با پیشرفت فناوری گسترش استفاده از عناصر میکروویو، کاهش ابعاد، حذف هارمونیک، کاهش هزینه‌ها و کاهش پیچیدگی روند طراحی از نیازهای اصلی در طراحی قطعات میکروویو پیشرفته است. تزویجگرها قطعات میکروویو پرکاربرد هستند که برای تقسیم یا ترکیب توان در فرکانس‌های میکروویو استفاده می‌شوند. در تقسیم‌کننده‌ی توان، سیگنال ورودی به دو سیگنال خروجی با توان دلخواه تقسیم می‌شود و در ترکیب‌کننده دو یا چند سیگنال از ورودی گرفته شده و ترکیب آن‌ها در درگاه خروجی ایجاد می‌شود. تزویجگرها انواع مختلفی دارند که از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان به ساختارهای شاخه-خط، رت-ریس و هیبرید نام برد [۱-۲].

تزویجگر شاخه-خط دارای چهار شاخه با طول الکتریکی ۹۰ درجه می‌باشد که امپدانس شاخه‌های افقی ۳۵ اهم و امپدانس شاخه‌های عمودی ۵۰ اهم می‌باشد؛ اما در تزویجگر رت-ریس از شش شاخه با طول الکتریکی ۹۰ درجه و امپدانس ۷۰ اهم تشکیل شده است. مقادیر اندازه پارامترهای پراکندگی در هر دو ساختار یکسان می‌باشد. در تزویجگر شاخه-خط، ۹۰ درجه اختلاف فاز بین درگاه‌های خروجی وجود دارد؛ اما در تزویجگر رت-ریس، بسته به انتخاب درگاه‌های ورودی-خروجی یا اختلاف‌فازی بین درگاه‌های خروجی وجود ندارد یا ۱۸۰ درجه اختلاف فاز وجود دارد؛ بنابراین اگر سیگنالی از درگاه اول تزویجگر رت-ریس تابیده شود به صورت هم‌فاز بین پورت‌های دوم و سوم تقسیم می‌شود و اگر سیگنالی از درگاه چهارم تزویجگر رت-ریس تابیده شود با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز (علامت منفی) بین پورت‌های دوم و سوم تقسیم می‌شود. حال اگر همزمان دو سیگنال به درگاه‌های دوم و سوم در تزویجگر رت-ریس تابیده شود، جمع سیگنال‌ها در درگاه اول و تفاضل آن‌ها در درگاه چهارم دیده می‌شود از این رو به درگاه اول در تزویجگر رت-ریس درگاه سیگما و به درگاه چهارم درگاه دلتا نیز گفته می‌شود.

تزویجگرها کاربردهای فراوانی در سیستم‌های مخابراتی دارند که از این کاربردها می‌توان به کاربرد تزویجگرها در تقویت‌کننده‌های توان دوهرتی، تقویت‌کننده‌های توان دو طبقه، ماژول‌های تگ خوان تراشه‌های RFID<sup>۱</sup>، شبکه‌های تغذیه آنتن‌ها و ترکیب‌کننده‌ها اشاره کرد [۳-۶]. تزویجگرهای با ابعاد کوچک تر و فرکانس کاری محدوده گیگاهرتز به علت ابعاد کم و وزن کم در صنایع نظامی مانند رادار و صنایع هوایی مانند هواپیماها و ماهواره‌های کوچک کاربرد وسیع دارند [۷-۹].

<sup>۱</sup> Radio-frequency identification

به همراه داشته است اما تنها توانایی حذف هارمونیک چهارم را دارد که نا مطلوب است. همچنین تزویجگر طراحی شده فوق تلفات عبوری نسبتا بالایی دارد که قابل قبول نیست.

در مرجع [۱۶] با کمک استاب‌های انتها باز و خطوط تی شکل یک تزویجگر بهینه با کاهش ابعاد و حذف هارمونیک‌ها در فرکانس ۱.۸ گیگاهرتز طراحی شده است. کاهش ابعاد و حذف هارمونیک حاصل شده در این روش مطلوب است اما تزویجگر تلفات عبوری بالایی دارد که باعث از بین رفتن بخشی از سیگنال می‌شود که مطلوب نیست. در طراحی تزویجگر فوق خطوط میکرواستریپ بکار رفته است که در پیاده سازی مدارهای غیرفعال و فعال مایکروویو [۱۷] و [۱۸] بکار می‌رود.

در این مقاله یک تزویجگر رت-ریس با هدف کاهش ابعاد و تضعیف هارمونیک‌های ناخواسته طراحی شده است. در تزویجگر پیشنهادی با استفاده از عناصر سلف و خازن موازی، بیش از ۶۳ درصد کاهش ابعاد حاصل شده است. همچنین در تزویجگر پیشنهادی هارمونیک‌های دوم، سوم، چهارم با سطوح تضعیف بسیار بالایی حذف می‌شوند. در نهایت جانمایی مدار و شبیه سازی الکترومغناطیسی با دقت بالا انجام گرفته است. برای اطمینان از دقت شبیه سازی صورت گرفته نتایج شبیه سازی الکترومغناطیسی با مدارهای ساخته شده قبلی تایید و تصدیق شده است. زیر لایه‌ی استفاده شده برای جانمایی یک زیر لایه با ضخامت ۰/۲۵ mm و ضریب گذردهی ۹/۶ است.

## ۲- مراحل طراحی تزویجگر

در طراحی تزویجگر رت-ریس پیشنهادی، ابتدا تزویجگر رت-ریس متداول در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز طراحی می‌شود، سپس با ارایه ساختار پیشنهادی تزویجگر بهبود یافته طراحی می‌گردد.

### ۱-۲ طراحی تزویجگر رت-ریس متداول

ساختار تزویجگر رت-ریس متداول در شکل (۲) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۲) دیده می‌شود تزویجگر رت-ریس متداول دارای شش خط ریزنوازی با طول ۹۰ درجه (λ/4) می‌باشد. امپدانس تمامی شش خط بکار رفته برابر مقدار  $\sqrt{2}Z_0$  است که با در نظر گرفتن ۵۰ اهم به عنوان امپدانس مشخصه، امپدانس هر شش خط بکار رفته حدود ۷۰ اهم است.

در شکل (۳) جانمایی تزویجگر رت-ریس متداول در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز بر روی زیر لایه با ضخامت ۰/۲۵ mm و ضریب گذردهی ۹/۶ طراحی شده نشان داده شده است. با توجه به زیر لایه و فرکانس بکار رفته تزویجگر متداول در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز به صورت نشان داده شده در شکل (۳) طراحی شد. همانطور که دیده می‌شود تزویجگر فوق ابعادی حدود 76.9mm×38.4mm دارد.

تزویجگرها، بسته به ساختار بکار رفته اختلاف فاز، صفر درجه، ۹۰° یا ۱۸۰° بین درگاه‌های خروجی وجود دارد. تزویجگر شاخه-خط که دارای چهار شاخه است و توان را با نود درجه اختلاف فاز تقسیم یا ترکیب می‌کند؛ اما تزویجگر رت-ریس دارای شش شاخه یکسان است که بین درگاه‌های دوم و سوم در این ساختار اختلاف‌فازی وجود ندارد [۱].

در مرجع [۱۰] یک تزویجگر مایکروویو با استفاده از خطوط انتقال تزویج شده طراحی شده است. تزویجگر فوق عملکرد مناسبی در فرکانس کاری دارد و ابعاد مدار کاهش یافته است. ولی متاسفانه در این ساختار هارمونیک‌های ناخواسته به همراه سیگنال اصلی عبور می‌کنند و هیچ حذف هارمونیکی در ساختار فوق مشاهده نمی‌شود. همچنین استفاده از خطوط تزویج باعث افزایش تلفات عبوری در فرکانس کاری شده است.

در مراجع [۱۱] و [۱۲] با استفاده از چهار تشدیدگر که در چهار شاخه تزویجگر شاخه-خط متداول بکار رفته است، دو تزویجگر فشرده با حذف هارمونیک طراحی شده است.

تزویجگر طراحی شده در مرجع [۱۱] در فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز عملکرد مناسبی دارد. تزویجگر فوق حدود ۲۴٪ کاهش ابعاد در مقایسه با تزویجگر متداول ایجاد می‌کند که مطلوب است. همچنین هارمونیک‌های دوم و سوم در تزویجگر فوق حذف می‌شوند که بسیار چشمگیر نیست.

در مرجع [۱۲] به کمک چهار تشدیدگر بکار رفته در ساختار تزویجگر طراحی شده حدود ۶۴٪ کاهش ابعاد حاصل شده که مطلوب است اما تزویجگر فوق فقط هارمونیک سوم و پنجم را حذف می‌کند که حذف فقط دو هارمونیک مطلوب نیست.

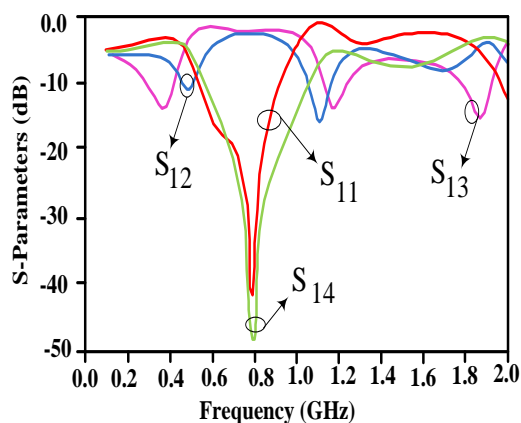
استفاده از خطوط امپدانس پله‌ای و استاب‌های انتها باز نیز یک روش برای بهبود عملکرد تزویجگر متداول است که در مراجع [۱۳-۱۵] بکار رفته است.

در مرجع [۱۳] با کمک استاب‌های انتها باز یک تزویجگر بهینه با کاهش ابعاد و حذف هارمونیک‌ها در فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز طراحی شده است. کاهش ابعاد حاصل شده در این روش مطلوب است اما تزویجگر مذکور فقط هارمونیک چهارم را حذف می‌کند که مطلوب نیست. تزویجگر فوق همچنین دارای فرکانس کاری وسیعی است اما متاسفانه تلفات عبوری بالایی دارد که باعث از بین رفتن بخشی از سیگنال می‌شود که مطلوب نیست.

در مقاله‌ی [۱۴] به کمک خطوط انتقال پله‌ای و مارپیچ تو در تو به همراه استاب‌های انتها باز یک تزویجگر با کاهش ابعاد در فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز طراحی شده است. کاهش ابعاد حاصل شده در طراحی فوق قابل قبول است اما از طرفی با این پیچیدگی بالا در طراحی این تزویجگر توانایی حذف حتی یک هارمونیک را ندارد.

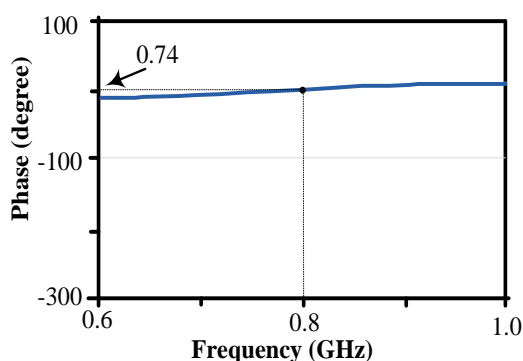
در مرجع [۱۵] یک تزویجگر به کمک استاب‌های انتها باز نامتقارن با طول‌های نابرابر طراحی شده است که کاهش ابعاد بسیار مناسبی را

با توجه به اینکه ساختار تزویجگر طراحی شده هم پاسخ<sup>۱</sup> می‌باشد. لذا پارامتر پراکندگی  $S_{ij}$  برابر پارامتر پراکندگی  $S_{ji}$  می‌باشند؛ مثلا پاسخ  $S_{12}$  برابر پاسخ  $S_{21}$  می‌باشد. همچنین با توجه به ساختار متقارن مدار برای توصیف رفتار تزویجگر فقط کافیهست چهار پارامتر پراکندگی اعمال شده از درگاه اول بررسی شود و بقیه پارامترها به دلیل خاصیت‌های هم پاسخی و تقارن مدار دقیقا منطبق بر چهار پارامتر فوق می‌باشند.

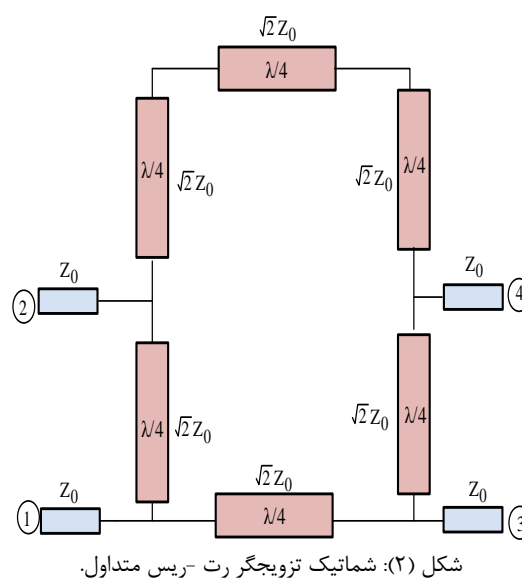


شکل (۴): پارامترهای پراکندگی یک تزویجگر رت-ریس متداول در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز.

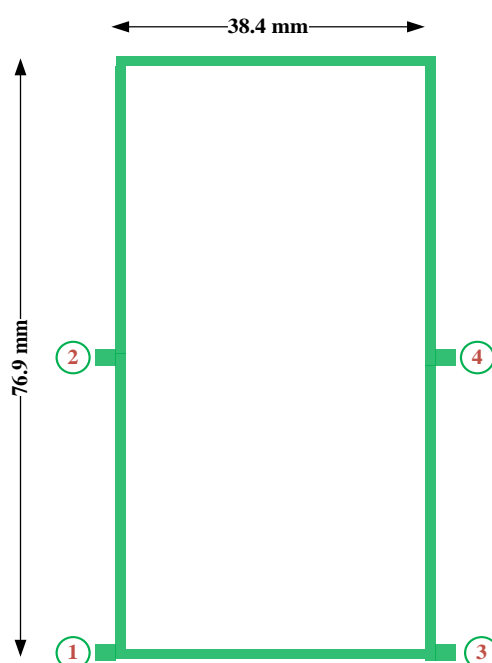
در پاسخ فرکانسی اندازه پارامترهای پراکندگی در تزویجگرهای رت-ریس و شاخه خط مانند هم می‌باشند ولی اختلاف فاز بین درگاه‌های ۱ و ۲ در تزویجگر شاخه-خط نود درجه است ولی در تزویجگر رت-ریس در حالت ایده آل صفر درجه است. در شکل (۵) اختلاف فاز بین درگاه‌های ۲ و ۳ در تزویجگر رت-ریس متداول نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف فاز بین درگاه‌های خروجی در تزویجگر متداول در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز برابر ۰.۷۶ درجه است که عددی نزدیک به صفر و قابل قبول است.



شکل (۵): اختلاف فاز بین درگاه‌های ۲ و ۳ در تزویجگر رت-ریس متداول در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز.



شکل (۲): شماتیک تزویجگر رت-ریس متداول.



شکل (۳): جانمایی تزویجگر رت-ریس متداول در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز.

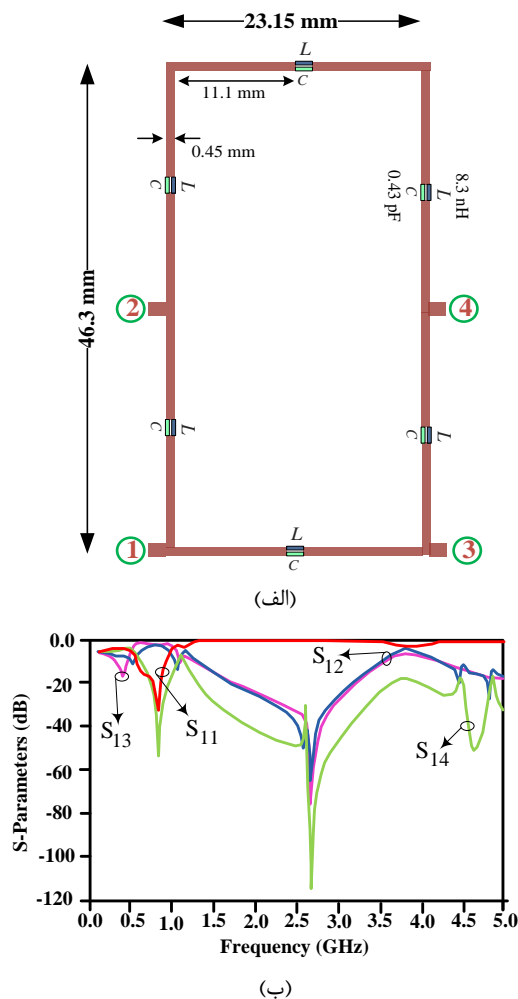
با ساختار فوق پارامترهای پراکندگی تزویجگر متداول بصورت نشان داده شده در شکل (۴) می‌باشد. همانطور که در شکل (۴) دیده می‌شود، برای سیگنال تابیده شده از درگاه یک، در فرکانس کاری هیچ سیگنالی به درگاه یک نباید باز تابیده شود و هیچ بخشی از سیگنال نباید به درگاه چهارم منتقل شود لذا باید مقادیر  $S_{14}$  و  $S_{11}$  خیلی کم و بصورت نشان داده شده در شکل باشند که بیش از -۴۰- دسیبل است. از سوی دیگر در صورت متقارن بودن تزویجگر سیگنال تابیده شده از درگاه یک به دو قسمت مساوی تقسیم شود و نصف سیگنال به درگاه دوم و نصف دیگر به درگاه سوم منتقل شود، لذا باید مقادیر  $S_{12}$  و  $S_{13}$  برابر مقدار 3- دسیبل باشند.

<sup>1</sup> Reciprocal

در طراحی پیشنهادی مقدار سلف بکار رفته برابر ۸.۳ نانو هانری و خازن بکار رفته برابر ۰.۴۳ پیکوفاراد است. جانمایی و پاسخ فرکانسی تزویجگر پیشنهادی در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز در شکل (۷) نمایش داده شده است.

همانطور که در شکل ۷(الف) دیده می شود تزویجگر پیشنهادی ابعاد بسیار کوچک  $46.3\text{mm} \times 23.15\text{mm}$  ( $0.17\lambda \times 0.08\lambda$ ) را دارد که در مقایسه با تزویجگر مرسوم بیش از ۶۳٪ کاهش ابعاد را به همراه دارد. طول هر عنصر ریزنواری در طرح پیشنهادی برابر ۱۱.۱ میلیمتر و عرض آن برابر ۰.۴۵ میلیمتر است.

در شکل ۷(ب) پاسخ فرکانسی تزویجگر پیشنهادی مشاهده می شود. همانطور که دیده می شود تزویجگر فوق هم در فرکانس کاری هم در خارج از فرکانس کاری عملکرد بسیار مطلوبی را ارائه می دهد. در فرکانس کاری ۸۰۰ مگاهرتز تلفات عبوری بدست آمده برای هر دو درگاه خروجی کمتر از ۰.۱ دسیبل است که نشان از عملکرد فوق العاده مناسب تزویجگر طراحی شده است. همچنین مقدار  $S_{14}$  و  $S_{11}$  کمتر از -۴۰ دسیبل است که عملکرد مناسب تزویجگر پیشنهادی را بیان می کند.

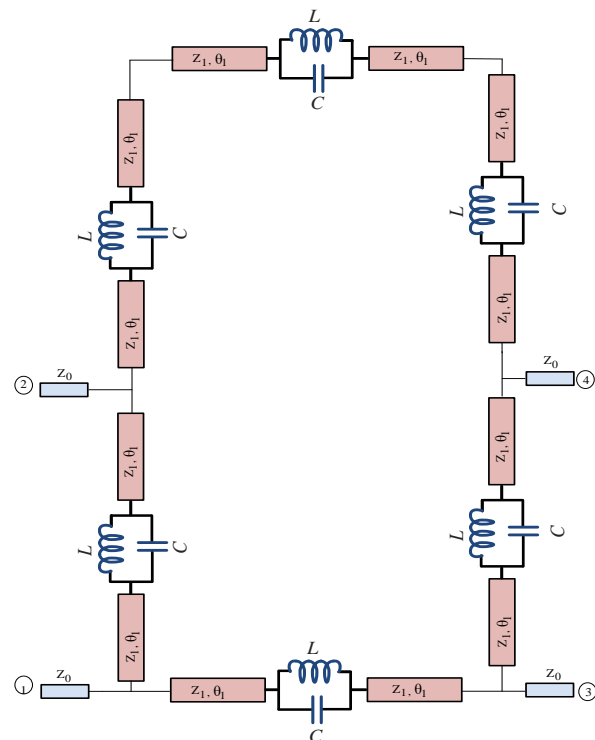


شکل (۷): تزویجگر پیشنهادی در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز (الف) جانمایی (ب) پاسخ فرکانسی.

## ۲-۲ طراحی تزویجگر رت-ریس پیشنهادی

همانطور که گفته شد، هدف اصلی در طراحی تزویجگر در این مقاله رسیدن به کاهش ابعاد و حذف هارمونیک های ناخواسته است. همانطور که دیده شد ابعاد تزویجگر متداول بسیار بزرگ است لذا برای کاهش ابعاد بجای خطوط ریزنواری ساده از ترکیب خطوط مایکرو استریپ و سلف و خازن موازی به صورت نشان داده شده در شکل (۶) استفاده شده است.

تزویجگر فوق بر روی همان زیر لایه قبلی یعنی ضخامت  $0.25\text{mm}$  و ضریب گذردهی  $9/6$  است. در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز طراحی شده است. همانطور که توضیح داده شد تزویجگر معمولی دارای ابعاد بزرگی است. در شکل (۴) مشخص شده است، تزویجگر رت-ریس معمولی تمامی هارمونیک های ناخواسته را عبور می دهد و هیچگونه تضعیفی بر روی هارمونیک ها و دیگر فرکانس ها ندارد، لذا حضور هارمونیک ها در پاسخ فرکانسی باعث ایجاد اثرات نا مطلوب در سیستم های مخابراتی می شود. همچنین تزویجگر رت-ریس متداول که از شش شاخه بلند با طول یک چهارم طول موج تشکیل شده که دارای ابعاد بزرگی است که از نظر ساخت و هزینه مقرون به صرفه نیست. برای بهبود عملکرد سلف و خازن موازی در هر یک از شش خط بکار رفته که باعث شده ابعاد مدار به شدت کاهش یابد. همچنین سلف و خازن بکار رفته تشکیل مدار تانک داده و فقط فرکانس تشدید را عبور می دهد و بقیه فرکانس ها را حذف می کند. لذا با ساختار پیشنهادی علاوه بر کاهش ابعاد حذف هارمونیک مناسبی ایجاد می گردد.



شکل (۶): شماتیک تزویجگر رت-ریس پیشنهادی در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز.



جدول (۲) مقایسه ای بین پارامترهای تزویجگر مرسوم و پیشنهادی

پارامتر	تزویجگر مرسوم	تزویجگر پیشنهادی
فرکانس (مگاهرتز)	۸۰۰	۸۰۰
ابعاد مدار	76.9 mm*38.4mm	46.3 mm*23.15mm
اختلاف فاز (درجه)	۰.۷۶	۰.۴۵
کاهش ابعاد	ندارد	٪۶۳
تلفات عبوری (دسیبل)	۰.۲	۰.۱
تلفات بازتابی (دسیبل)	دوم	ندارد
	سوم	ندارد
	چهارم	ندارد

در جدول (۳) مقایسه ای بین تزویجگر پیشنهادی با کارهای پیشین صورت گرفته است و پارامترهایی نظیر تلفات عبوری، کاهش ابعاد، حذف هارمونیک‌های ناخواسته بین تزویجگر پیشنهادی و چندین کار صورت گرفته دیگر مقایسه شده است. نتایج مقایسه نشان از عملکرد فوق العاده مناسب تزویجگر طراحی شده دارد.

جدول (۳): مقایسه تزویجگر پیشنهادی با کارهای پیشین

مرجع	فرکانس مرکزی (MHz)	تلفات عبوری (dB)	کاهش ابعاد (%)	تضعیف هارمونیک
[۱۲]	۹۰۰	۰/۳	۶۴	هارمونیک ۳ و ۵
[۱۳]	۹۰۰	۰/۹۱	۷۶/۶	هارمونیک ۴
[۱۴]	۲۴۰۰	N/A	۵۳	ندارد
[۱۵]	۱۰۰۰	۰/۸	۷۱	هارمونیک ۴
[۱۹]	۱۳۹۰	۰/۴	۷۸	هارمونیک ۳
[۲۰]	۱۰۰۰	۰/۳	۶۳	هارمونیک ۳
[۲۱]	۲۱۰۰	۰/۹	۶۳	هارمونیک ۳
[۲۲]	۲۰۰۰	۰/۵	۳۰	هارمونیک ۳
[۲۳]	۱۰۰۰	۰/۳۳	۵۰	ندارد
[۲۴]	۹۳۰	۱	۶۶	ندارد
[۲۵]	۱۵۰۰	۱	۶۲	ندارد
[۲۶]	۱۸۰۰	۰/۲	۶۵	هارمونیک ۳ و ۲
کار پیشنهادی	۸۰۰	۰/۱	۶۳	هارمونیک ۲ الی ۴

### ۳- نتیجه گیری

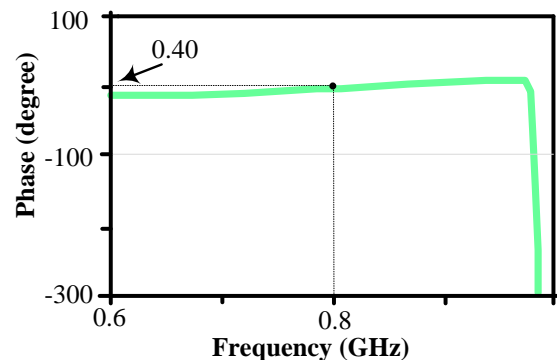
در این مقاله، یک تزویجگر رت-ریس همراه با قابلیت حذف هارمونیک‌های ناخواسته و کاهش ابعاد طراحی شده است. تزویجگر پیشنهادی بیش از ٪۶۳ کاهش ابعاد نسبت به تزویجگر متداول دارد و در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز عملکرد بسیار مناسبی دارد و با توجه به پاسخ فرکانسی مطلوب این طرح، این تزویجگر می‌تواند در مداراتی که نیاز به حذف هارمونیک‌ها دارند کاربرد داشته باشد. علاوه بر

همچنین دیده می‌شود تزویجگر پیشنهادی سطح تضعیف وسیعی از فرکانس ۱.۶ گیگاهرتز تا ۳.۳ گیگاهرتز را دارا است که هارمونیک‌های دوم، سوم و چهارم را به ترتیب با بیش از ۲۱ دسیبل، ۳۶ دسیبل و ۲۰ دسیبل تضعیف می‌کند که عملکرد فوق العاده مناسب تزویجگر پیشنهادی در خارج از فرکانس کاری را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در محاسبه میزان تضعیف هارمونیک کمترین مقدار بین  $S_{12}$  و  $S_{13}$  گزارش شده است.

تزویجگر رت-ریس پیشنهادی در بازه ۷۲۰ مگاهرتز تا ۸۸۰ مگاهرتز عملکرد بسیار مناسبی دارد و پهنای باند نسبتاً وسیع ۱۶۰ مگاهرتز را ارائه می‌دهد که با توجه به فرکانس مرکزی ۸۰۰ مگاهرتز پهنای باند نسبی ٪۲۰ را دارا می‌باشد.

در شکل (۸) اختلاف فاز بین درگاه‌های ۲ و ۳ در تزویجگر رت-ریس پیشنهادی نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف فاز بین درگاه‌های خروجی در تزویجگر پیشنهادی در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز برابر ۰.۴۵ درجه است که عددی نزدیک به صفر و بهتر از تزویجگر متداول است.

در جدول (۱) مقادیر اندازه پارامترهای پراکندگی تزویجگر پیشنهادی در فرکانس کاری ۸۰۰ مگاهرتز نشان داده شده است.



شکل (۸): اختلاف فاز بین درگاه‌های ۲ و ۳ در تزویجگر رت-ریس پیشنهادی در فرکانس ۸۰۰ مگاهرتز.

جدول (۱) مقادیر اندازه پارامترهای پراکندگی تزویجگر پیشنهادی در فرکانس کاری ۸۰۰ مگاهرتز

فرکانس مرکزی (MHz)	$S_{11}$ (dB)	$S_{12}$ (dB)	$S_{13}$ (dB)	$S_{14}$ (dB)
۸۰۰	-۳۵/۳۱	-۳/۰۱	-۳/۰۱	-۴۱/۶۰

در جدول (۲) مقایسه ای بین پارامترهای تزویجگر مرسوم و پیشنهادی صورت گرفته است.

line coupler using cascaded symmetric PI sections", *Microwave and Optical Technology Letters*. Vol. 58, pp.1610-1613, Jul. 2016.

[14] Iran-Nejad V, Lotfi-Neyestanak AA, Shahzadi A. "Compact broadband quadrature hybrid coupler using planar artificial transmission line", *Electronics letters*. Vol. 48, pp.1602-1603, Dec. 2012.

[15] Velidi VK, Patel B, Sanyal S. "Harmonic suppressed compact wideband branch-line coupler using unequal length open-stub units", *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*. Vol. 21, pp.115-119, Jan. 2011.

[۱۶] فرهمند امیرحسین، روشنی سعید، روشنی سبحان. "طراحی کوپلر خط-شاخه فشرده با حذف هارمونیک های ناخواسته با استفاده از شاخه-های باز و خطوط T شکل برای کاربرد در سیستم های مخابرات بی سیم"، نشریه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی (فاوا)، شماره ۴، صص ۴۹-۵۷، زمستان ۱۳۹۹.

[۱۷] پویا محسن، ستوده فرید. "طراحی و ساخت تقویت کننده توان پوش پول چند کاناله UHF برای پخش شبکه دیجیتال زمینی با استفاده از بهینه سازی الگوریتم ژنتیک پارتو چند منظوره"، نشریه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی (فاوا)، شماره ۷، صص ۱۱۵-۱۲۸، پاییز ۱۴۰۰.

[۱۸] رضائی علیرضا. "طراحی تقویت کننده حالت جامد توان زیرسیستم فرستنده ماهواره در باند C" نشریه فناوری اطلاعات و ارتباطات انتظامی (فاوا)، شماره ۶، صص ۶۷-۷۹، تابستان ۱۴۰۰.

[19] Wang J, Ni J, Zhao S, Guo YX. "Compact microstrip ring branch-line coupler with harmonic suppression" *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*. Vol. 23, pp. 2119-26, Jan. 2009.

[20] Kim JS, Kong KB. "Compact branch-line coupler for harmonic suppression", *Progress in Electromagnetics Research*. Vol. 16, pp. 233-9, 2010.

[21] Choi KS, Yoon KC, Lee JY, Lee CK, Kim SC, Kim KB, Lee JC. "Compact branch-line coupler with harmonics suppression using meander T-shaped line", *Microwave and Optical Technology Letters*. Vol. 56, pp.1382-134, Jun. 2014.

[22] Wang LY, Hsu K, Tu WH. "Compact microstrip harmonic-suppressed quadrature hybrids" *Microwave and Optical Technology Letters*. Vol. 51, pp.981-985, Apr. 2009.

[23] Sedighy SH, Khalaj-Amirhosseini M. "Compact branch line coupler using step impedance transmission lines (SITLs)", *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*. Vol. 28, pp. 866-870, Sep. 2013.

[24] Wang Q, Lim J, and Jeong Y "Design of a compact dual-band branch line coupler using composite right/left-handed transmission lines", *Electronics Letters*. Vol. 52, pp. 630-631, 2016.

[25] Wang Y, Ma K, Mou S. "A compact branch-line coupler using substrate integrated suspended line technology", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Vol. 26, pp. 95-97, Jan. 2016.

[26] Roshani S, Azizian J, Roshani S, Jamshidi MB, Parandini F. "Design of a miniaturized branch line microstrip coupler with a simple structure using artificial neural network", *Frequenz*. Feb. 2022.

موارد ذکر شده، با توجه به اینکه تلفات عبوری، بازگشتی و جداسازی این تزویجگر مناسب است و همچنین با توجه به فرکانس کاری و باند عبور، این تزویجگر می تواند در طراحی و ساخت تجهیزات شبکه های مخابراتی کاربرد داشته باشد.

## مراجع

[1] Pozar D, *Microwave Engineering*. John Wiley & Sons Publishing, 2009.

[2] Tahmasbi M, Razaghian F, Roshani S. "Design of compact microstrip low pass filter using triangular and rectangular shaped resonator with ultra-wide stopband and sharp roll-off", *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*. Vol. 101, pp. 99-107, Oct. 2019.

[3] Jamshidi M, Siahkamari H, Roshani S, Roshani S. "A compact Gysel power divider design using U-shaped and T-shaped resonators with harmonics suppression", *Electromagnetics*. Vol. 9, pp. 491-504, Oct. 2019.

[4] Roshani S, Roshani S. "A compact coupler design using meandered line compact microstrip resonant cell (MLCMRC) and bended lines", *Wireless Networks*. Vol. 27, pp. 677-84, Jan. 2021.

[5] Soleymani H, Roshani S. "Design and implementation of a bandpass Wilkinson power divider with wide bandwidth and harmonic suppression", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. Vol. 28, pp. 414-422, Jan. 2020.

[6] Roshani S, Roshani S, Zarinitabar A. "A modified Wilkinson power divider with ultra harmonic suppression using open stubs and lowpass filters", *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*. Vol. 98, pp. 395-399, Feb. 2019.

[7] Shi Y, Yi X, Feng W, Wu Y, Yu Z, Qian X. "77/79-GHz Forward-Wave Directional Coupler Component Based on Microstrip and SIW for FMCW Radar Application", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. Vol. 11, pp.1879-1888, Oct. 2020.

[8] Lalbakhsh A, Jamshidi MB, Siahkamari H, Ghaderi A, Golestanifar A, Linhart R, Talla J, Simorangkir RB, Mandal K. "A compact lowpass filter for satellite communication systems based on transfer function analysis", *AEU-International Journal of Electronics and Communications*. Vol. 124, pp.15331-8, Sep. 2020.

[9] Letavin DA, Knyazev NS. "Miniaturization of microstrip devices for small space satellites and aircraft", *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*. Vol. 18, pp.293-8, 2018.

[10] Liu, Z. and Weikle R. M. "A Compact Quadrature Coupler Based on Coupled Artificial Transmission Lines", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Vol. 15, pp. 889-891, 2005.

[11] Gu J. and Sun X. "Miniaturization and harmonic suppression of branch-line and rat-race hybrid coupler using compensated spiral compact microstrip resonant cell", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 1211-1214, Jun. 2005.

[12] Roshani S., and Roshani S. "A compact coupler design using meandered line compact microstrip resonant cell (MLCMRC) and bended lines", *Wireless Networks*, Vol. 27, pp. 677-684, 2020.

[13] Barik RK, Phani Kumar KV, Karthikeyan SS. "A compact wideband harmonic suppressed 10 dB branch