

یک ساختار جدید برای کلید تک ورودی - دو خروجی مبتنی بر دیود پین جهت کاربرد در فرستنده و گیرنده‌های باند ریزموج

فردین فرجی^۱ جواد یاوندحسینی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علم و صنعت ایران- تهران- ایران

fardin_faraji220@yahoo.com

۲- استادیار- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران- ایران

yavand@iust.ac.ir

چکیده: کلیدهای تک ورودی-دو خروجی در سیستم‌های بی‌سیم، نظیر وایمکس به عنوان داپلکسر بکار می‌روند و تغییر از حالت ارسال به حالت دریافت و برعکس را انجام می‌دهند. در کلیدهای تک ورودی- دو خروجی ریزموج، می‌توان از پین‌دیودها یا ترانزیستورهای اثر میدانی برای کلیدزنی استفاده نمود. اما دیودهای پین قابلیت کنترل توان بیش‌تری را دارند و برای کاربرد به عنوان داپلکسر مناسب هستند. تلفات عبور کم، جداسازی بالا و سرعت کلیدزنی از مسائل اصلی در طراحی کلیدها است. به‌طور کلی، برای کاربردهای بالاتر از ۳ گیگاهرتز، دستیابی به جداسازی بالای ۳۰ دسی‌بل کار بسیار دشواری است، زیرا ساختار کلید تک ورودی-دو خروجی معمولی نمی‌تواند مشکل ضریب خودالقایی انگلی بزرگ ناشی از بسته‌بندی را در بسامدهای بالا حل کند. در این مقاله، برای حل مشکل فوق ساختار جدیدی ارائه می‌گردد که در آن از یک تشدیدکننده ریزنوار موازی با دیود پین استفاده شده‌است. این تشدیدکننده، به همراه یک تشدیدکننده ریزنوار سری اثر سلفی ناشی از بسته‌بندی دیود را در حالت روشن بودن دیود و اثر خازنی ذاتی دیود را در حالت خاموش بودن آن از بین می‌برد و به این ترتیب باعث افزایش جداسازی می‌شود. به علاوه، در طرح پیشنهادی هیچ یک از دیودها در مسیر سیگنال قرار ندارند و به همین دلیل، تلفات عبوری بسیار پایین است. در طراحی کلید پیشنهادی از پین‌دیود با شماره قطعه SMP1۳۴۰ استفاده شده‌است که سرعت کلیدزنی بسیار بالایی دارد. همچنین این پین‌دیود نسبت به دیگر پین‌دیودها از خازن پیوند و مقاومت هدایتی کوچک‌تری برخوردار است. با استفاده از تحلیل ریاضی عملکرد کلید، روابط ریاضی طراحی به دست آمده است و جهت اثبات صحت تحلیل و عملکرد طرح پیشنهادی، کلید طراحی شده در نرم افزار ADS شبیه‌سازی شده‌است. این شبیه‌سازی ابتدا بصورت شماتیک و سپس خطوط انتقال بصورت چیدمان بر روی زیرلایه و با استفاده از قابلیت EM_Cosim نرم افزار ADS انجام شده‌است. نتایج شبیه‌سازی، جداسازی بیش از ۵۰ دسی‌بل و تلفات عبور کمتر از ۰/۲ دسی‌بل را فقط با استفاده از چهار عدد دیود پین نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کلید ریزموج، پین‌دیود، کلید تک ورودی - دو خروجی، تشدیدکننده خط انتقال، داپلکسر
نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.52547/jiaeee.19.2.13

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۰۱

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر جواد یاوند حسینی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - تهران - نارمک - خیابان هنگام - دانشگاه علم و صنعت - دانشکده‌ی برق

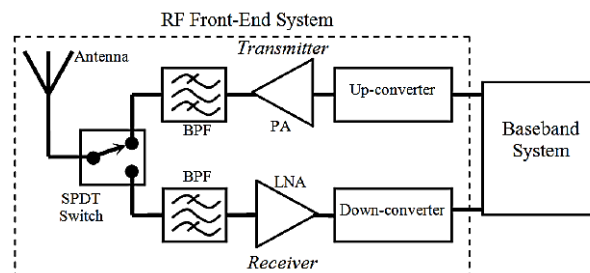
۱- مقدمه

کلیدهای بسامد رادیویی^۱ و ریزموج، بصورت گسترده در سیستم‌های آزمون، سیستم‌های فرستنده و گیرنده [۲،۱]، آنتن‌های آرایه‌ای [۴]، سیستم‌های کنترلی، قطع و وصل یک مسیر و ... به کار برده می‌شوند.

در یک سیستم فرستنده و گیرنده، به جای استفاده از دو آنتن مجزا، یکی برای فرستندگی و یکی برای گیرندگی، مطابق شکل (۱) می‌توان آنتن واحدی را با استفاده از یک کلید تک ورودی-دو خروجی^۲، هم به گیرنده و هم به فرستنده متصل کرد تا در مواقع نیاز به فرستندگی، کلید با تشخیص سیگنال کنترلی که به آن وارد می‌شود، گیرنده را از مدار حذف و آنتن را به فرستنده متصل کند و در مواقع نیاز به گیرندگی، آنتن توسط کلید به گیرنده متصل شود [۴].

کلیدهای بسامد رادیویی به دو گروه تقسیم می‌شوند:

- ۱- کلیدهای حالت جامد [۱].
- ۲- کلیدهای میکرو الکترومکانیکی^۳ [۱۷].



شکل (۱): کاربرد کلید در ارتباطات بی‌سیم نظیر WIMAX [3].

یکی از انواع کلیدهای حالت جامد که به خاطر ویژگی‌های منحصراً به فردشان مورد توجه طراحان قرار گرفته، کلیدهای ریزموج با استفاده از پین‌دیود است. پین‌دیودها، یکی از ادوات‌های نیمه‌رسانا هستند که در بسامدهای ریزموج و رادیویی به‌عنوان یک مقاومت‌متغیر کنترل‌شده با مقدار جریان ورودی عمل می‌کند. این ویژگی اصلی و علت کلیدی برای استفاده از این نوع دیودها در ساختار کلیدها است، زیرا برای تغییر وضعیت دقیقاً به وسیله‌ای نیاز است که با اعمال یک سیگنال کنترلی به آن بتوان مقدار مقاومت آن را کنترل کرد. این مقاومت از کم‌تر از یک اهم در حالت روشن تا بیش‌تر از ۱۰ کیلو اهم در حالت قطع تغییر می‌کند. این ویژگی پین‌دیود، آن را به وسیله‌ای کاربردی در زمینه آنالوگ و دیجیتال تبدیل کرده است. هنگامی که جریان کنترل تغذیه مستقیم یک پین‌دیود به‌صورت پیوسته تغییر می‌کند، این دیود می‌تواند برای تضعیف، تغییر سطح و یا مدولاسیون دامنه یک سیگنال رادیویی به کار رود و هنگامی که جریان مستقیم کنترل‌کننده، قطع یا وصل و یا معکوس می‌شود برای کلیدزنی استفاده شود [۴].

برای کم کردن نشت توان رادیویی بین فرستنده و گیرنده (به خصوص برای کاربردهای توان بالا)، جداسازی باید افزایش یابد که یکی از پارامترهای کلیدی در طراحی کلید است.

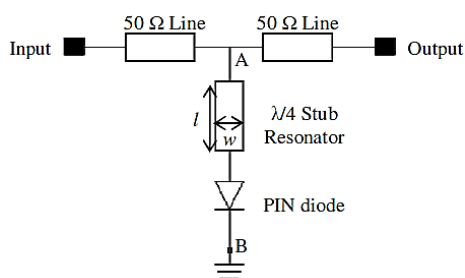
از جمله روش‌های بهبود جداسازی می‌توان به طراحی فرآیند ساخت پین‌دیود [۵]، طراحی مدار [۸،۷]، طراحی تشدیدکننده با استفاده از سلف و خازن [۱۰،۹] و طراحی تشدیدکننده با خط انتقال [۱۲،۱۱] اشاره کرد. در روش طراحی مدار، با اتصال چندگانه دیودها به صورت سری، موازی و یا ترکیبی از دیودهای سری-موازی جداسازی بین فرستنده و گیرنده را افزایش می‌دهند. استفاده از دیودهای چندگانه در طراحی کلید، باعث افزایش جریان مصرفی مدار و تلفات عبور نیز می‌شود. در روش طراحی تشدیدکننده با استفاده از سلف و خازن، با قرار دادن یک سلف بصورت موازی با دیود، اثر خازنی دیود را در تغذیه مخالف جبران می‌کنند، که باعث می‌شود امپدانس بالاتری در مسیر قرار گیرد و عملکرد کلید از لحاظ جداسازی بهبود یابد. از عیب‌های این روش، می‌توان به پیچیدگی ساختار و افزایش سایز اندازه نیز اشاره کرد. در سال‌های اخیر، جهت بهبود جداسازی کلید، طراحی تشدیدکننده با استفاده از خط انتقال بیش‌تر مورد توجه طراحان قرار گرفته‌است.

تشدیدکننده‌های رادیویی و ریزموج، کاربرد بسیاری در آنتن‌ها، فیلترها، تقویت‌کننده‌ها، کلیدها و ... دارند. این تشدیدکننده‌ها با استفاده از فناوری ریزنوار تحقق می‌یابند که در شکل و اندازه‌های مختلف نظیر حلقوی [۱۳]، شعاعی [۱۴]، موازی کوپل‌شده [۱۵] و استاب ربع‌موج [۱۶] پیاده‌سازی می‌شوند. عملکرد تشدیدکننده‌های رادیویی و ریزموج بسیار مشابه تشدیدکننده‌های ثنوری مدار است به همین دلیل می‌توان آن را با تشدیدکننده‌های مقاومتی سلفی خازنی [۱۸] سری و یا موازی مدل کرد.

در این مقاله از ساختاری استفاده شده است که در آن هیچ یک از دیودها در مسیر سیگنال بصورت سری قرار نمی‌گیرد. این امر باعث کاهش قابل توجه تلفات عبوری می‌شود. به علاوه، با ترکیب یک خط انتقال ریزنوار بصورت سری و یک خط انتقال دیگر بصورت موازی با دیود، ساختار تشدید کننده‌ای به دست آمده است که اثر سلفی بسته‌بندی دیود را در حالت روشن و اثر خازنی دیود را در حالت خاموش بودن پین‌دیود از بین می‌برد. طرح ارائه شده بگونه‌ای است که فقط یک خط کنترلی برای تغذیه همه دیودها کفایت می‌کند. ساختار پیشنهادی بصورت ریاضی تحلیل شده و روابط طراحی برای آن به دست آمده است. در انتها، طرح ارائه شده با استفاده از دیود SMP1340 و مدل ارائه شده توسط سازنده آن در نرم افزار ADS شبیه‌سازی شده‌است. در این شبیه‌سازی از قابلیت EM و EM_Cosim نرم افزار ADS استفاده شده‌است.

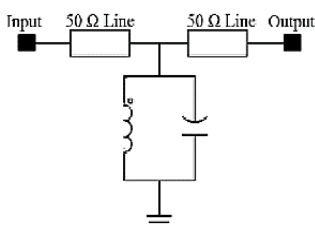
۲- کاربرد تشدیدکننده در کلید بسامد رادیویی

در شکل (۲)، ساختار کلید SPDT معمولی موازی را مشاهده می‌کنید. خط انتقال ربع موج [۱۸]، به منظور تبدیل مقاومت اتصال کوتاه (هنگامی که دیود در تغذیه موافق قرار دارد) به مدار باز است. از آنجا که مدار کلید SPDT متقارن است، عملکرد کلید فقط در حالت



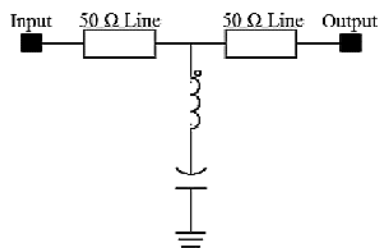
شکل (۴): تشدیدکننده با استفاده از خطوط انتقال [۱۰]

هنگامی که پین دیود در تغذیه موافق قرار می‌گیرد، شاخه در نقطه B به زمین متصل می‌شود. لذا سیگنال رادیویی به دلیل تبدیل مقاومت خط انتقال ربع موج، امپدانس بالایی را در نقطه A مشاهده می‌کند. به همین دلیل سیگنال رادیویی وارد شاخه نمی‌شود. مدار معادل شاخه اتصال کوتاه مطابق شکل (۵) از یک سلف و خازن موازی تشکیل شده است که پاسخ تمام‌گذری را بین درگاه ورودی و خروجی ایجاد می‌کند.



شکل (۵): مدار معادل شاخه اتصال کوتاه [۱۰، ۱۶]

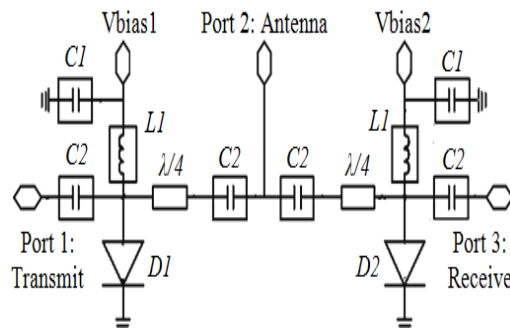
هنگامی که پین دیود در تغذیه مخالف قرار می‌گیرد، شاخه در نقطه B مدار باز می‌شود. لذا مقاومتی که از نقطه A دیده می‌شود بسیار کوچک بوده و سیگنال رادیویی نیز وارد این شاخه می‌شود. مدار معادل شاخه مدار باز مطابق شکل (۶) از یک سلف و خازن سری تشکیل شده است که پاسخ میان‌گذری را بین درگاه ورودی و خروجی ایجاد می‌کند.



شکل (۶): مدار معادل شاخه مدار باز [۱۱، ۱۷]

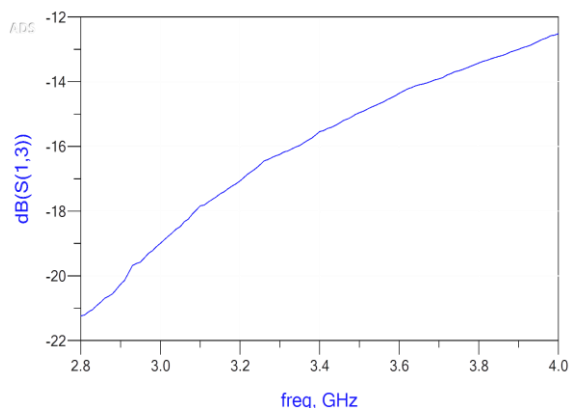
اخیراً، از این تشدیدکننده در طراحی کلید SPDT جهت بهبود جداسازی و تلفات عبور نیز استفاده می‌کنند. در شکل (۷) ساختار یک کلید SPDT به همراه تشدیدکننده مدار باز را در بسامد مرکزی ۳/۵ گیگاهرتز مشاهده می‌کنید.

انتقال تشریح می‌شود. لذا در حالت انتقال، سیگنال رادیویی منتقل شده از درگاه ۱ به درگاه ۲ مقاومت بالایی را در بازوی دریافت مشاهده می‌کند، از این رو، هیچ سیگنالی از فرستنده به گیرنده نشت پیدا نمی‌کند. به عبارتی دیگر، فرستنده از گیرنده جدا شده است.



شکل (۲): (الف) ساختار سوئیچ SPDT معمولی [۳]

همانطور که در تصویر (۳) مشاهده می‌کنید، در ساختار کلید SPDT معمولی، دستیابی به جداسازی بالا در بسامدهای بالا کار بسیار دشواری است. لذا این مقاله با ارائه یک تشدیدکننده خط انتقال، اثر سلفی را در حالت روشن و اثر خازنی را در حالت خاموش بودن پین دیود از بین برده است. از این رو، جداسازی و تلفات عبور نیز بهبود یافته‌اند.



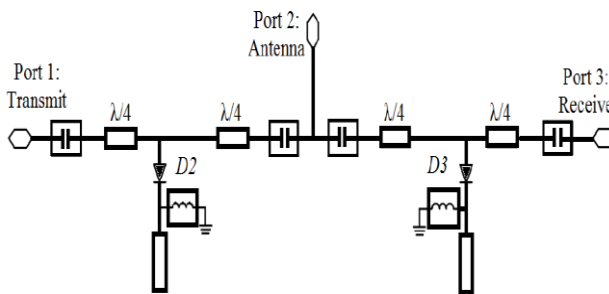
شکل (۳): نمودار جداسازی در سوئیچ SPDT معمولی موازی [۳]

۱-۲- اصول کلی طراحی تشدیدکننده

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌کنید، ساده‌ترین ساختاری که می‌تواند به عنوان یک تشدیدکننده به کار گرفته شود، استفاده از خطوط انتقال است که با فناوری ریزنوار قابل پیاده‌سازی است. در این ساختار، عملکرد تشدیدکننده به صورت شاخه اتصال کوتاه و یا شاخه مدار باز از طریق تحریک پین دیود تعیین می‌شود.

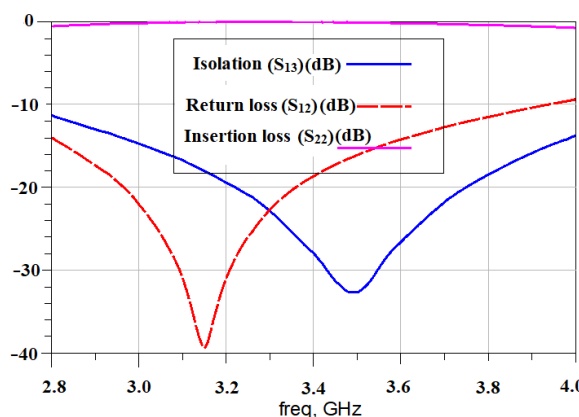
عملکرد کلید با تغییر ولتاژ کنترلی انجام می‌گیرد که باعث می‌شود پین‌دیود یا در حالت روشن و یا در حالت خاموش قرار گیرد.

هنگامی که پین‌دیود بازوی انتقال، در تغذیه موافق و پین‌دیود بازوی دریافت در تغذیه مخالف قرار می‌گیرد، باعث می‌شود که خطوط تبدیل مقاومت موجود در بازوی فرستنده دارای پاسخ تمام‌گذر و خطوط تبدیل مقاومت موجود در بازوی گیرنده دارای پاسخ میان‌نگذر باشد. که در این حالت بازوی انتقال فعال شده و سیگنال رادیویی از فرستنده به آنتن منتقل شود. بازوی گیرنده نیز به دلیل حضور خط انتقال ربع-موج $\lambda/4$ ، از درگاه ورودی جدا شده‌است. به عبارتی می‌توان بیان کرد که سیگنال از طریق روشن بودن پین‌دیود انتقال می‌یابد و با خاموش شدن پین‌دیود مسیر سیگنال اتصال کوتاه می‌شود و سیگنال از طریق خط انتقال $\lambda/4$ مسدود می‌شود.



شکل (۷): کلید SPDT شاخه مدار باز [۱۲]

همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌کنید، مقدار جداسازی در بسامد مرکزی $3/5$ گیگاهرتز برابر 33 دسی‌بل، تلفات عبور برابر $0/3$ دسی‌بل و تلفات بازگشتی برابر 20 دسی‌بل است.



شکل (۸): نمودار جداسازی، تلفات عبور و تلفات بازگشتی کلید

SPDT شاخه مدار باز [۱۲]

جدول (۱): خلاصه عملکرد مدار کلید SPDT

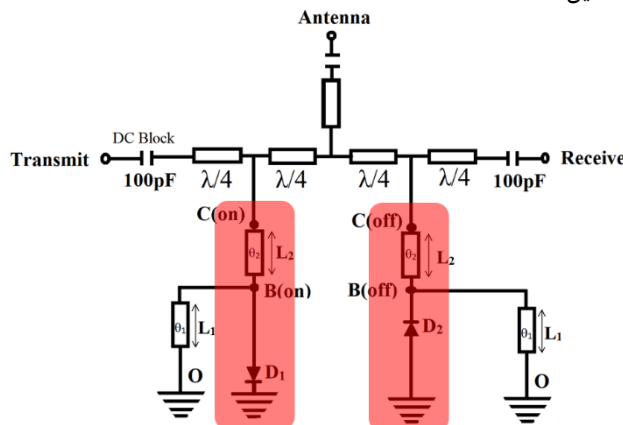
حالت گیرندگی	حالت فرستندگی	
$V_C = -5$	$V_C = +5$	ولتاژ کنترل (V_C)
خاموش	روشن	پین‌دیود D_1
روشن	خاموش	پین‌دیود D_2
پاسخ میان‌نگذر	پاسخ تمام‌گذر	خطوط تبدیل مقاومت فرستنده
پاسخ تمام‌گذر	پاسخ میان‌نگذر	خطوط تبدیل مقاومت گیرنده

در خطوط تبدیل مقاومت مطرح شده، پین‌دیود به صورت موازی با خطوط قرار گرفته است. طول الکتریکی خطوط L_1 و L_2 به ترتیب برابر θ_1 و θ_2 است و دارای مقاومت مشخصه 50Ω هستند. خطوط انتقال L_1 و L_2 ، عنصرهای انگلی پین‌دیود را از طریق تشدید موازی در حالت روشن که شامل یک ترکیب سری از مقاومت R_{on} و یک سلف L_{on} است جبران می‌کند. هم‌چنین این خطوط قادر هستند از طریق تشدید سری در حالت خاموش اثر خازنی دیود را نیز جبران کنند.

مقدار مقاومت ورودی خطوط تبدیل (A-C) در دو حالت روشن و خاموش بودن پین‌دیود، روی اسمیت چارت در شکل (۱۰) نشان داده شده‌است. در ابتدا از نقطه اتصال کوتاه O شروع می‌کنیم به عبارتی روی نمودار اسمیت چارت نقطه $Z=0$ مکان شروع است. خط انتقال L_1 با طول الکتریکی θ_1 مقدار مقاومت را به نقطه A هدایت می‌کند. این نقطه به لحاظ فیزیکی مربوط به تماس پین‌دیود است، سپس بسته به وضعیت روشن و خاموش بودن پین‌دیود مقاومت مربوطه به نقاط B(on) یا B(off) می‌رسد. سرانجام خط انتقال L_2 با طول الکتریکی θ_2 اضافه شده‌است که منجر به انتقال مقاومت به C(on) یا C(off) می‌شود.

۳- طرح کلید پیشنهادی

در شکل (۹) ساختار کلید پیشنهادی را مشاهده می‌کنید. این کلید شامل دو بازوی خروجی متقارن است که هرکدام، از یک تشدیدکننده به همراه یک شاخه اتصال کوتاه موازی شده با دیود تشکیل شده است.



شکل (۹): ساختار کلید پیشنهادی

در این طرح، خطوط عبور سیگنال از فرستنده به آنتن و از آنتن به گیرنده دارای مقاومت مشخصه 50Ω با طول الکتریکی $\lambda/4$ هستند.

$$= Z_0 \frac{\frac{jZ_0 \tan \theta_1}{1 - Z_0 \omega C \tan \theta_1} + jZ_0 \tan \theta_2}{Z_0 + j \tan \theta_2 \left(\frac{jZ_0 \tan \theta_1}{1 - Z_0 \omega C \tan \theta_1} \right)} \quad (7)$$

$$Z_{C(off)} = Z_0 \frac{jZ_0 \tan \theta_1 + jZ_0 \tan \theta_2 - jZ_0^2 \omega C \tan \theta_1 \tan \theta_2}{Z_0 - Z_0^2 \omega C \tan \theta_1 - Z_0 \tan \theta_1 \tan \theta_2}$$

باتوجه به این که موقعیت نقطه C مدار باز است، با صفر قرار دادن مخرج کسر، رابطه (۸) حاصل می شود.

$$Z_0 \tan \theta_1 + \omega L - \omega L \tan \theta_1 \tan \theta_2 = 0 \quad (8)$$

۴-۲- حالت خاموش بودن پین دیود

مقدار مقاومتی که از نقطه B مشاهده می شود، برابر است با:

$$Z_{B(off)} = Z_{PIN(off)} \parallel Z_{sc} \quad (9)$$

$$Z_{B(off)} = \frac{Z_{PIN(off)} \cdot Z_{sc}}{Z_{PIN(off)} + Z_{sc}} = \frac{1}{\frac{1}{j\omega C} + jZ_0 \tan \theta_1} \quad (10)$$

(۱۱)

$$Z_{B(off)} = \frac{jZ_0 \tan \theta_1}{1 - Z_0 \omega C \tan \theta_1}$$

باتوجه به این که موقعیت نقطه C اتصال کوتاه است، با صفر قرار دادن صورت کسر رابطه (۱۲) حاصل می شود.

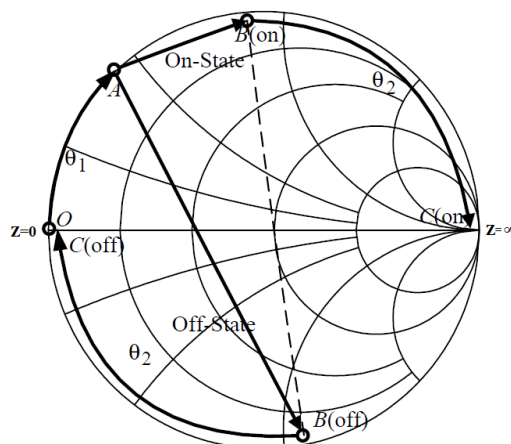
$$\tan \theta_1 + \tan \theta_2 - Z_0 \omega C \tan \theta_1 \tan \theta_2 = 0 \quad (12)$$

با حل دستگاه (۱۳) مقدار طول الکتریکی θ_1 و θ_2 نیز به دست می آید.

$$\begin{cases} Z_0 \tan \theta_1 + \omega L - \omega L \tan \theta_1 \tan \theta_2 = 0 \\ \tan \theta_1 + \tan \theta_2 - Z_0 \omega C \tan \theta_1 \tan \theta_2 = 0 \end{cases} \quad (13)$$

۵- نتایج شبیه سازی

در این طراحی، زیرلایه ریزنوار، از ضریب گذردهی نسبی ۳/۵۵، ضخامت مس ۳۵ میکرومتر و ضخامت برد ۰/۵ میلی متر برخوردار است. با توجه به ساختار تشدیدکننده و مقاومتی که از ورودی خطوط تبدیل مقاومت در دو حالت روشن و خاموش بودن پین دیود مشاهده می شود، می توان کمترین تلفات عبور و بیشترین جداسازی را انتظار داشت.



شکل (۱۰): روش تطبیقی جهت محاسبه طول الکتریکی L_1 و L_2

استفاده از اسمیت چارت برای محاسبه طول الکتریکی L_1 و L_2 یک روش تقریبی است و محاسبه دقیق این خطوط در ادامه بررسی خواهد شد.

۴- تجزیه و تحلیل کلید پیشنهادی

مقاومت ورودی پین دیود در دو حالت خاموش و روشن، برابر رابطه (۱) است.

$$\begin{cases} Z_{PIN(on)} = R_{on} + j\omega L_{on} \approx j\omega L_{on} \\ Z_{PIN(off)} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_{off}} \end{cases} \quad (1)$$

مقدار مقاومت شاخه اتصال کوتاه مطابق رابطه (۲) محاسبه می شود.

$$Z_{sc} = jZ_0 \tan \theta_1 \quad (2)$$

۴-۱- حالت روشن بودن پین دیود

مقدار مقاومتی که از نقطه B مشاهده می شود، برابر است با:

$$Z_{B(on)} = Z_{PIN(on)} \parallel Z_{sc} \quad (3)$$

$$Z_{B(on)} = \frac{Z_{PIN(on)} \cdot Z_{sc}}{Z_{PIN(on)} + Z_{sc}} = \frac{j\omega L \cdot jZ_0 \tan \theta_1}{j\omega L + jZ_0 \tan \theta_1} \quad (4)$$

$$Z_{B(on)} = \frac{jZ_0 \omega L \tan \theta_1}{\omega L + Z_0 \tan \theta_1} \quad (5)$$

مقدار مقاومتی که از نقطه C مشاهده می شود، برابر رابطه زیر است.

$$Z_{C(on)} = Z_0 \frac{Z_{B(on)} + jZ_0 \tan \theta_2}{Z_0 + jZ_{B(on)} \tan \theta_2} \quad (6)$$

۶- نتیجه گیری

در کلیدهای معمولی نوع سری و موازی، به دلیل این که پهن باند روی مسیر سیگنال نصب می‌شدند، تاثیر قابل توجهی را بر عملکرد سیگنال رادیویی می‌گذاشتند. در طرح پیشنهادی، پهن باند با استفاده از خطوط تبدیل مقاومت از مسیر اصلی سیگنال جدا شده‌اند و همین امر موجب کاهش تلفات عبور و افزایش جداسازی شده‌است. در طرح پیشنهادی از خطوط انتقال سری و موازی با دیود برای حذف اثر سلفی بسته‌بندی دیود در حال روشن و اثر خازنی ذاتی دیود در حالت خاموش بودن دیود استفاده شده است و ترکیب این دو خط انتقال، منجر به جداسازی خیلی بالا در کنار تلفات عبوری خیلی پایین شده است.

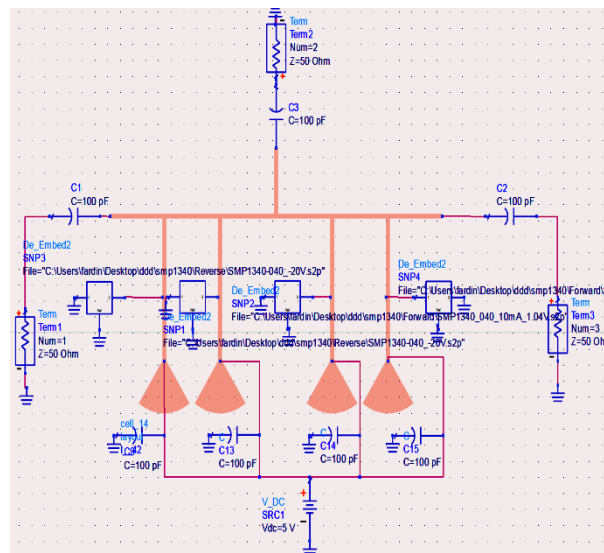
در این ساختار بر خلاف دیگر ساختارهای ارائه شده، تنها از یک منبع تغذیه برای تحریک دیودها استفاده شده‌است، لذا طرح پیشنهادی جریان مصرفی کم‌تری نسبت به دیگر طرح‌ها دارد. جدول (۲) به مقایسه‌ی بین طرح پیشنهادی و دیگر طرح‌های ارائه شده در سال‌های اخیر پرداخته است. همانطور که مشاهده می‌کنید، روش پیشنهادی از جداسازی، تلفات عبور و تلفات بازگشتی بهتری برخوردار است.

جدول (۲): مقایسه بین طرح پیشنهادی و دیگر طرح‌های ارائه شده

طراحی‌ها	روش	IL(dB)	RL(dB)	ISO(dB)
[15]	تشدیدکننده شاخه باز	۰٫۷	۲۳٫۲۲	۴۴٫۷۴
[13,14]	تشدیدکننده شاخه شعاعی	۰٫۶	۲۵٫۵۴	۵۰٫۶۸
[12]	تشدیدکننده شاخه موازی کوپل شده	۱٫۷۲	۲۶٫۴۷	۶۰
[18]	تشدیدکننده قابل تغییر	<۳	۱۴٫۱۵۴	۳۹
[16,17]	تشدیدکننده ربع موج	۱٫۴۱	۱۹٫۶۳	۳۲٫۱۴
پیشنهادی	تشدیدکننده استاب موازی	۰٫۰۲	۳۲٫۸	۱۰۸

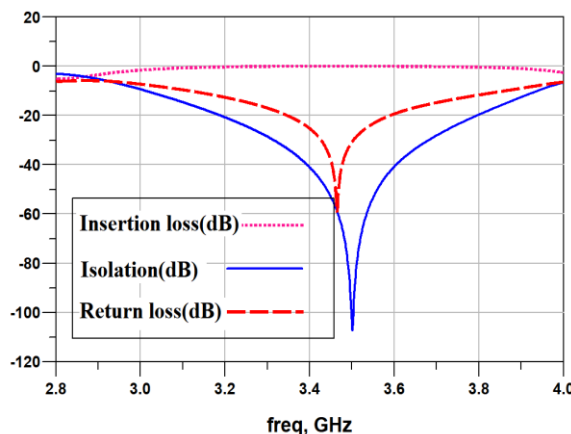
مراجع

- [۱] انصاری، حمیدرضا ؛ خسروآبادی، سعید ؛ مافی‌نژاد، یاسر. "طراحی و شبیه‌سازی یک سوئیچ خازنی موازی RF MEMS با ولتاژ تحریک کم، تلفات پایین و ایزولاسیون بالا". مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران. سال هجدهم- شماره اول- بهار ۱۴۰۰.
- [۲] دل آرام فریمانی، سعید ؛ حاج قاسم، حسن ؛ عرفانیان، علیرضا ؛ علی احمدی، مجیدرضا. "طراحی، شبیه‌سازی و ساخت سوئیچ خازنی RF MEMS بر روی بستر آلومینا". مجله انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران. سال دوازدهم- شماره اول- بهار ۱۳۹۴.



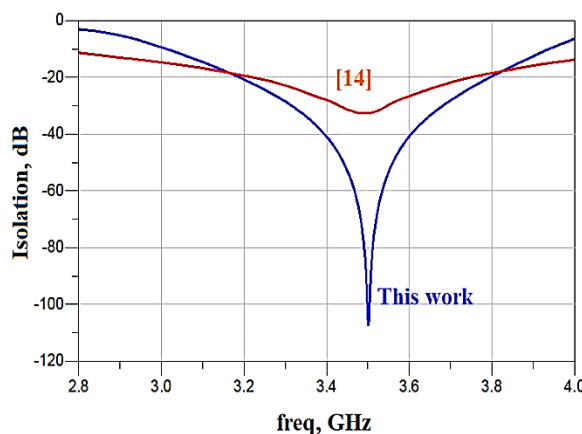
شکل (۱۱): شبیه‌سازی کلید پیشنهادی در محیط شماتیک

همانطور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌کنید، مقدار جداسازی در فرکانس مرکزی ۳/۵ گیگاهرتز برابر ۱۰۰ دسی‌بل، تلفات عبور برابر ۰/۱ دسی‌بل و تلفات بازگشتی برابر ۳۰ دسی‌بل است.



شکل (۱۲): نمودار جداسازی، تلفات عبور و تلفات بازگشتی کلید SPDT پیشنهادی

در شکل (۱۳) نمودار جداسازی روش پیشنهادی با روش ارائه شده در [14] مقایسه شده است.



شکل (۱۳): مقایسه جداسازی روش پیشنهادی با مرجع [۱۴]

- [3] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2005.
- [4] A. E. Ahmed, "Analysis and Design of Microstrip Array Antenna Using SPDT-T/R Switch for MIMO Antenna System Applications," pp. 763–766.
- [5] W. E. Doherty, Jr., R. D. Joos. *The PIN Diode Circuit Designers' Handbook*. Microsemi Corporation. 1998.
- [6] P. Sun, L. Wang, P. Upadhyaya, and D. Heo, "High Isolation 10GHz to 20GHz SPDT Switch Design using Novel Octagonal PIN Diode Structure," no. 1, pp. 38–41, 2005.
- [7] J. Lee, S. Member, D. Zych, E. Reese, D. M. Drury, and S. Member, "Monolithic 2-18 GHz Low LOSS, On-Chip Biased PIN Diode Switches," vol. 41, no. 2, pp. 250–256, 1995.
- [8] A. Kumar and N. Bisht, "An Investigation of new combination of PIN diode for RF/Microwave Switch," vol. 2, no. 2, pp. 974–976, 2014.
- [9] P. Phudpong, N. Youngthanisara, M. Kitjaroen, P. Rattanawan, and S. Siwamogsatham, "A High-Isolation Low-Insertion-Loss Filter-Integrated PIN Diode Antenna Switch," pp. 1585–1588, 2009.
- [10] N. A. Shairi, A. M. Zobilah, Z. Zakaria, and B. H. Ahmad, "An Overview of Filter Integrated Switch (FIS) for RF and Microwave Applications," vol. 10, no. 2, pp. 111–118, 2018.
- [11] A. M. Zobilah, Z. Zakaria, and N. A. Shairi, "Selectable multiband isolation of single pole double throw switch using transmission line stub resonator for WiMAX and LTE applications," pp. 844–851, 2017.
- [12] N. A. Shairi and B. H. Ahmad, "Absorptive SPDT Switch Design using Cascaded Switchable Parallel-Coupled Stub Resonator and Switchable Radial Stub Resonator," vol. 2, pp. 310–314, 2014.
- [13] L. Liu et al., "A Single-Pole-Double-Throw Switch Based on the Ring Structure," vol. 2, no. d, pp. 2221–2222, 2017.
- [14] N. A. Shairi, B. H. Ahmad, and P. W. Wong, "SPDT Discrete Switch Design using Switchable Radial Stub Resonator for WiMAX and LTE in 3 . 5 GHz Band," pp. 1–5, 2013.
- [15] N. A. Shairi, B. H. Ahmad, and P. W. Wong, "Analysis of Open Stub Resonator and its Application in Dual Isolation Band of SPDT Switch Design," no. May 2014, 2016.
- [16] N. A. Shairi, B. H. Ahmad, and Z. Zakaria, "Single Pole Double Throw Discrete PIN Diode Switch with Switchable Quarter Wave Stub Resonator," no. Cmc, pp. 4–7, 2012.
- [17] Singh, A., & Mandal, M. K. Parasitic Compensation and Hence Isolation Improvement of PIN Diode-Based Switches. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 68(1), 97-101, 2020.
- [18] Shairi, N. A., et al. "Design and analysis of a dual function of switchable resonator for RF switch." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1502. No. 1. IOP Publishing, 2020.
- [18] Stephanson, Barron. "Surface Effects in RF Switching PIN Diodes." PhD diss., Villanova University, 2020.

¹ Radio Frequency Switch

² Single Pole-Double Throw (SPDT)

³ MEMS Switch