

افزایش پهنای باند آنتن الکتریکی کوچک با استفاده از مدارات فعال غیر فاستری به عنوان شبه فراماده

محمد جواد حسنی^۱، امیر جعفرقلی^۲، محمد تندرو^۳

۱ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲ پژوهشکده علوم و فناوری فضایی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳ دانشگاه صنعتی شریف

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۳۰

چکیده

امروزه استفاده از روش هایی برای کوچک سازی ادوات مخابراتی در سیستم های ارتباطی جدید از جمله انواع رادیوهای دستی، تطبیق پذیر و نرم افزاری از موارد مهم تحقیقاتی در صنایع ارتباطی محسوب می شود. یکی از به روزترین و کاربردی ترین این روش ها، استفاده از فرامواد به منظور کوچک سازی ادوات مخابراتی و به خصوص آنتن است. از اشکالات مهم روش های مرسوم مبتنی بر فراماده افزایش شدید ضریب کیفیت و کاهش محسوس پهنای باند آنتن می باشد. در این مقاله ایده استفاده از مدارات فعال به منظور جبران سازی ادمیتانس آنتن های کوچک در پهنای باند وسیع به عنوان یک راه حل اساسی در افزایش پهنای باند مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله استفاده از مدار فعال به عنوان جایگزین شبه فراماده، شبیه سازی و پیاده سازی شده و مورد تست و ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور از دو نوع مدار منفی کننده امیدانس ترانزیستوری و آپ-امپی استفاده شده است. این مدارات، امیدانسی معادل یک ساختار با خازن منفی تولید می کنند. نتایج اندازه گیری نشان می دهد که روش پیشنهادی موجب بهبود در کاهش فرکانس رزونانس تا ۱۰ برابر فرکانس رزونانس روش های مرسوم و درصد پهنای باند نسبی بیش از ۶۶٪ در مدار ترانزیستوری و ۱۰۰٪ در مدار آپ-امپی شده است.

کلیدواژه

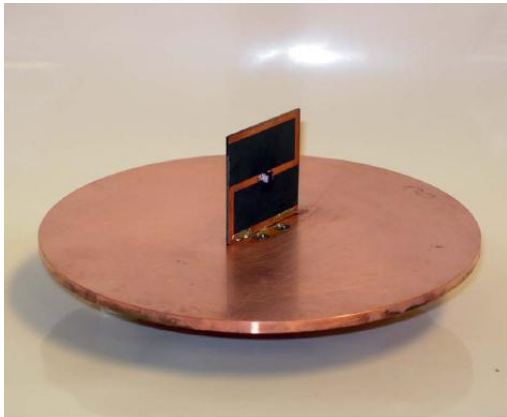
آنتن پهن باند، تطبیق امیدانس غیر فاستری، آنتن فعال، منفی کننده امیدانس.

مقدمه

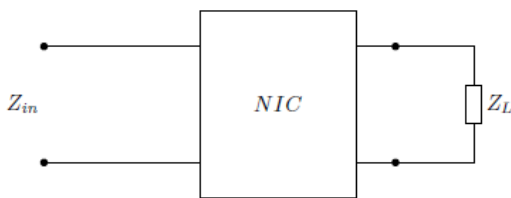
شد، تنها در یک نقطه ادمیتانس آنتن جبران می شود، و بنابراین پهنای باند گزارش شده از آن ها بسیار کوچک است. در [۵] ایده استفاده از مدارات فعال جهت تولید قرینه ادمیتانس آنتن توسط ساختار پارازیتیک، مطرح شد و البته هیچگاه مورد پیاده سازی قرار نگرفت. در این مقاله پیشنهاد شد تا از مدارات فعال منفی ساز امیدانس به منظور ایجاد خازن منفی و جبران سازی ادمیتانس خازنی آنتن استفاده شود.

این مقاله پیرو فعالیت تحقیقاتی صورت گرفته در [۶]-[۱۲]-[۱۴] ارائه شده است. در این راستا استفاده از دو نوع مدار منفی کننده امیدانس ترانزیستوری و آپ-امپی مورد بررسی و نتیجه مطالعات، شبیه سازی ها و ساخت این مدارات ارائه شده است. این مدارات، امیدانسی معادل یک ساختار با خازن منفی تولید می کنند. نتایج اندازه گیری نشان می دهد که روش پیشنهادی موجب بهبود در کاهش فرکانس رزونانس تا ۱۰ برابر فرکانس رزونانس روش های مرسوم و درصد پهنای باند نسبی به بیش از ۸٪ در مدار ترانزیستوری و ۱۰۰٪ در مدار آپ-امپی شده است. علاوه بر این با

از مشکلات مهم در کوچک سازی آنتن ها افزایش خاصیت خازنی آنهاست که تطبیق آنتن را به شدت مشکل می سازد. ایده استفاده از لایه کروی از جنس ENG یا DNG به عنوان راهی برای تطبیق آنتن به فضای آزاد مطرح شد [۱]. در این شیوه با انجام طراحی صحیح، لایه کروی به دلیل ϵ منفی، تبدیل به سلفی معادل خازن آنتن کوچک می شود. به این ترتیب خاصیت خازنی آنتن در پهنای باند باریکی توسط امیدانس این لایه کروی خنثی شده و آنتن در این پهنای باند به خوبی تطبیق می شود. در راستای پیاده سازی این ایده، ابتدا از ساختارهای فرماده استفاده شد [۲]. پس از آن ساختارهای دو بعدی و سه بعدی بر اساس القای الکتریکی و مغناطیسی طراحی شدند که تنها در یک نقطه با جبران ادمیتانس خازنی یا سلفی ذاتی، سبب رزونانس آنتن می شدند [۳]. آنتن رزونانسی میدان نزدیک پارازیتیک Z شکل، صورتی از این نوع آنتن است که بر اساس القای الکتریکی طراحی شده و از عنصر فشرده سلفی نیز برای تامین ادمیتانس سلفی استفاده شده است [۴]. در این نوع ساختارها همانطور که پیشتر نیز اشاره



شکل ۱ آنتن رزنانسی میدان نزدیک پارازیتیک Z شکل (از [۴])



شکل ۲ منفی کننده امیدانس (از [۵])

مروری بر منفی کننده های امیدانس

در مقالات ارائه شده در زمینه منفی سازهای امیدانس [۶-۹]، منفی سازهای مختلف امیدانسی با ساختارهای متفاوت ارائه شده است، مدارهای منفی کننده امیدانس، مدارهایی هستند که امیدانس دیده شده از یکسوی آن‌ها منفی امیدانس سوی دیگر آن‌هاست. به این ترتیب برای منفی سازی لازم است یکی از پارامترهای ولتاژ و یا جریان ثابت مانده و دیگری قرینه شود. مدار معادل‌های هیبرید منفی کننده‌های امیدانس و معکوس کننده‌های ولتاژ و جریان در [۷] ارائه شده‌اند. از نظر پیاده‌سازی، منفی کننده‌های امیدانس به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: منفی کننده‌های آپ-امپی و ترانزیستوری.

منفی کننده مبتنی بر Op-amp

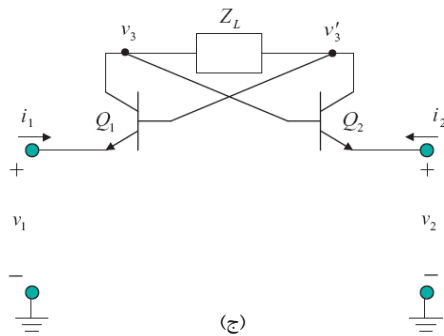
نمونه ساده و معمول منفی کننده‌های امیدانس که توسط تقویت کننده عملیاتی طراحی شده است مشابه شکل ۳ است. در این ساختار به دلیل یکسان بودن ولتاژهای پایه‌های مثبت و منفی تقویت کننده عملیاتی، جریان ورودی و جریان بار قرینه هم خواهند شد. بنابراین امیدانس دیده شده از دهانه مدار، منفی شده امیدانس بار خواهد بود. شکل (۳-ب) نتیجه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری این مدار را برای آپ-امپ مدل THS3202 نشان می‌دهد (که در فرکانس‌های زیر 200MHz قابل استفاده است).

استفاده از تکنیک بارگذاری خازنی آنتن، پهنای باند نسبی در مدار ترانزیستوری از ۸٪ به بیش از ۶۶٪ افزایش یافته است.

فراماده فعال (مدارات غیر فاستری)

آنتن رزنانسی میدان نزدیک پارازیتیک Z شکل [۵]، در شکل ۱ نشان داده شده است. در این ساختار از عنصر فشرده سلفی برای جبران ادمیتانس آنتن استفاده شده است. این ساختار شامل آنتنی تک قطبی است که توسط کابل کوآکسیال تغذیه می‌شود. این ساختار در کنار ساختار پارازیتیک الکتریکی به شکل Z، قرار گرفته است که از دو قسمت J شکل و سلفی که بین آن‌ها است تشکیل شده است. نتیجه این کار، تطبیق آنتن در پهنای باند بسیار باریک ولی با بهره بسیار بالا است. برای غلبه بر مشکل پهنای باند و در عین حال بهره‌مندی از تطبیق و بهره عالی، جایگزینی عنصر فشرده با مدار فعال پیشنهاد شده است [۵]، که نه در یک نقطه، بلکه در بازه وسیعی از فرکانس، ادمیتانس مورد نیاز برای تشدید آنتن را فراهم آورد. برای تطبیق آنتن رزنانسی میدان نزدیک پارازیتیک Z شکل نیاز به مدار فعالی است که امیدانس دیده شده از دهانه آن معادل امیدانس سلف و خازنی باشد که به صورت سری در کنار هم قرار گرفته‌اند و مقادیر آن‌ها نیز منفی است.

وجود خازن منفی در این امیدانس، به دلیل خاصیت خازنی آنتن، مورد انتظار است و سبب خنثی‌سازی امیدانس خازنی آنتن می‌شود و جمله ای که امیدانس سلف منفی را می‌دهد وظیفه خنثی‌سازی امیدانس سلفی عنصر پارازیتیک را بر عهده دارد که البته این جمله از نظر اندازه نسبت به امیدانس خازنی بسیار کوچک است. بنابراین منفی کننده امیدانس همان مدار فعالی است که می‌تواند امیدانس لازم برای تطبیق آنتن به فضا را تولید کرده و سبب تطبیق آنتن گردد. برای این منظور مطابق شکل ۲ می‌توان از منفی کننده استفاده کرد. به گونه‌ای که سلف و خازن مورد نظر در یک سوی این مدار دو سوپیه قرار گرفته و دهانه دیگر به جای عنصر فشرده سلفی روی عنصر پارازیتیک به گونه‌ای قرار می‌گیرد که یک سر آن به نوار J شکل بالای و سر زمین به نوار پایینی متصل شود. ساختار آنتن مورد استفاده در این مقاله در [۴] به طور مشروح مشخص گردیده است.



شکل ۴ منفی-کننده امپدانسی ترانزیستوری Linvill. (الف) نمونه موسوم به OCS. (ب) نمونه موسوم به SCS. (ج) نمونه شناور، [۷] و [۱۱]

در [۱۱] مدار شکل (۴-الف) پیاده سازی شده و پاسخ شبیه-سازی و اندازه‌گیری در بازه ۲۰-۱۰۰ MHz نشان داده شده است. مشکل عمده این مدار بالای آن است. در [۱۱] چگونگی استفاده از این مدار برای تطبیق آنتن‌های الکتریکی کوچک مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. مدار شکل (۴-ج) نیز در [۷] شبیه‌سازی شده و برای تطبیق آنتن، در مسیر تغذیه آنتن قرار داده شده‌است.

شبیه‌سازی رفتار منفی-کننده

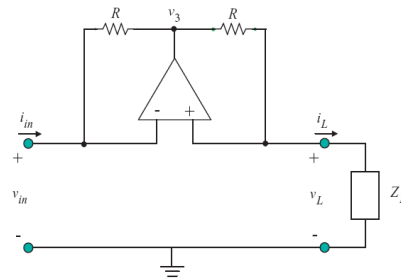
در بررسی رفتار منفی‌کننده‌ها، دو عامل ضریب کیفیت و پایداری اهمیت بسیار دارند. از آنجاکه در این مقاله هدف اصلی افزایش پهنای باند آنتن است، بنابراین مدار فعال مورد نظر باید از ضریب کیفیت پایین برخوردار باشد. پایداری نیز معمولاً مشکل عمده در استفاده از منفی‌کننده به شمار می‌آید.

مدار منفی‌کننده شناور Linvill هم از نظر پایداری و هم از نظر پهنای باند پاسخ خوبی از خود نشان می‌دهد. به منظور بررسی منفی‌کننده ترانزیستوری شناور، مداری مطابق شکل (۵-الف)، مشابه [۷]، در نظر گرفته شده و خازن ۵۰ pF، به عنوان بار مدار، برای منفی‌سازی استفاده شده است. مطابق انتظار، امپدانس خازن منفی شده از دید امیتر ترانزیستور، باید امپدانس خازنی که در پورت ۱ قرار گرفته است را خنثی کند. بر اساس آنچه در شکل (۵-ب) نشان داده شده است، پاسخ $|S_{11}|$ مدار در گستره وسیعی از فرکانس، از ۲۰ MHz تا ۱ GHz مطلوب است. از سوی دیگر منحنی پایداری این مدار، مطابق شکل (۵-ج)، در بازه مشابهی بالاتر از ۱ قرار می‌گیرد که نشان دهنده پایداری مدار است. انواع دیگر منفی‌کننده‌های ترانزیستوری معرفی شده، چنانچه نمونه‌ای از آن‌ها در [۱۱] شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده‌اند، Q بالایی دارند و به همین دلیل در این مقاله به آن‌ها پرداخته نشده است.

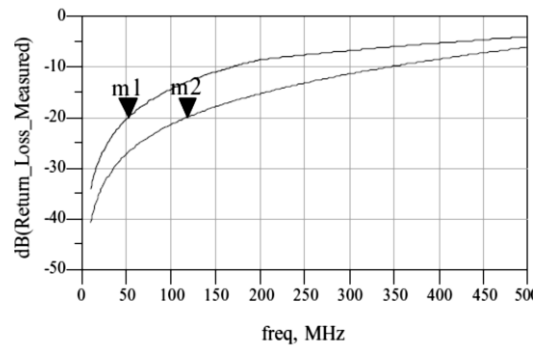
مدار منفی‌کننده مبتنی بر آپ-امپ، مشابه [۷]، در فرکانس‌های پایین پاسخ خوبی از خود نشان می‌دهد. چنانچه شکل (۳-ب) و شکل ۶ نشان می‌دهند، این مدار در فرکانس‌های VHF امپدانس

منفی‌کننده امپدانس با استفاده از ترانزیستور BJT

اولین منفی‌کننده‌های ترانزیستوری توسط Linvill، [۹] در سال ۱۹۵۴ طراحی، ساخته و اندازه‌گیری شد. نمونه شناور و تک پورت این نوع منفی‌کننده در شکل ۴ نشان داده شده است. شکل (۴-الف) ساختاری است که باید به صورت سری (OCS) مورد استفاده قرار گیرد تا مدار نهایی پایدار باقی بماند. شکل (۴-ب) ساختاری است که می‌باید به صورت موازی (SCS) به کار گرفته شود. تعدادی از مدارهای ارائه شده در [۹]، توسط [۷]، [۱۰] و [۱۱] شبیه‌سازی و ساخته شده‌اند.

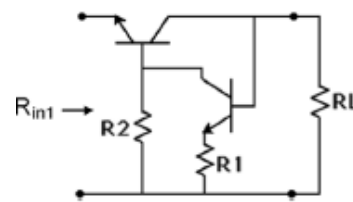


(الف)

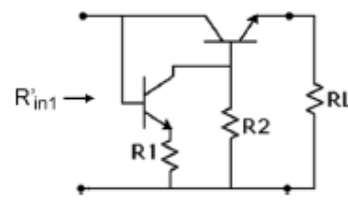


(ب)

شکل ۳ مدار منفی-کننده امپدانس آپ-امپی با استفاده از تقویت کننده عملیاتی THS3202؛ (الف) مدار، (ب) پاسخ شبیه سازی شده و اندازه‌گیری شده (از [۷])

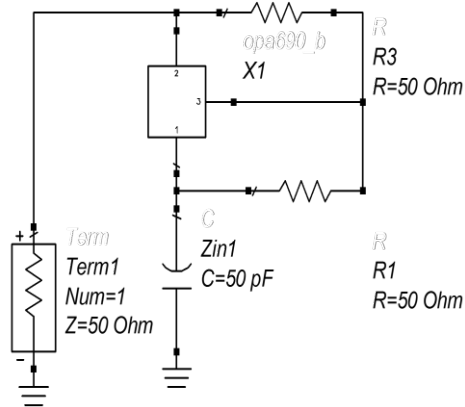


(الف)

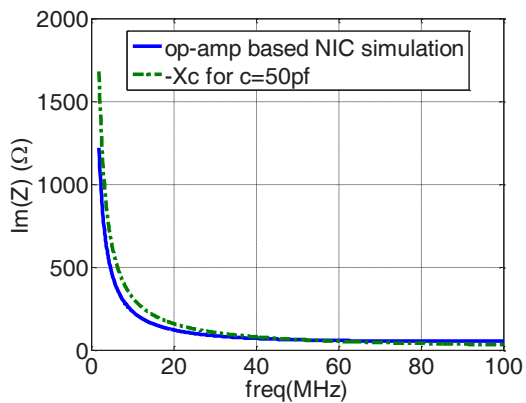


(ب)

بر اساس شکل (۳-ب)، مقدار تئوری راکتانس و مقدار نتیجه شده در شبیه‌سازی تصدیق می‌شود. نکته بسیار مهم دیگر، آهنگ کم تغییرات قسمت حقیقی امپدانس مدار، مطابق با شکل (۳-الف)، است، که شرایط را برای استفاده از این مدار برای تطبیق امپدانس در گستره فرکانسی وسیع‌تر، فراهم می‌آورد. این ویژگی، استفاده از این مدار را برای فرکانس‌های مختلف، با تنظیم مقدار خازن، فراهم می‌کند.



(الف)



(ب)

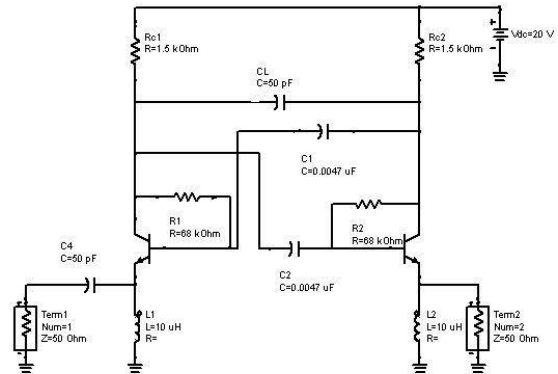
شکل ۶ مدار منفی‌کننده مبتنی بر آپ-امپ که امپدانس خازن ۵۰ پیکوفارادی را قرینه می‌کند، (الف) شماتیک مدار، (ب) بخش موهومی امپدانس ورودی

شبیه‌سازی آنتن پهن باند تطبیق شده به روش مدار فعال غیر فاستری

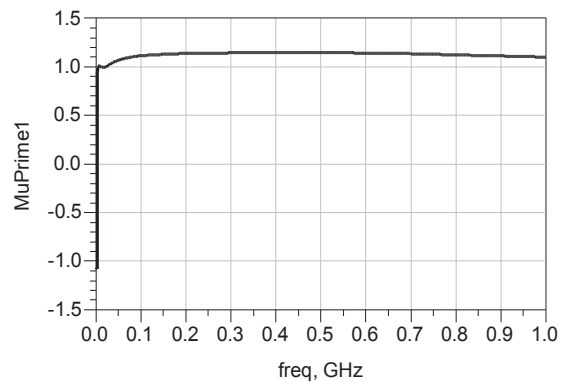
مدار فعال ترانزیستوری

برای انجام شبیه‌سازی منفی‌کننده به همراه آنتن، باید پارامترهای S آنتن دو پورتی از نرم‌افزار شبیه‌ساز آنتن خروجی شده و فایل خروجی در محیط شبیه‌ساز مدار، نرم‌افزار ADS، آدرس‌دهی شود. این عنصر دو پورتی در محیط شبیه‌ساز باید بین پورت اول و مدار منفی‌کننده قرار گیرد. نتایج شبیه‌سازی مدار شکل (۵-الف)، به همراه پارامتر S دو نوع آنتن، از آنتن‌های ارائه شده در [۶]، در شکل ۷ نشان داده است. شکل (۷-الف) امپدانس هر دو آنتن را

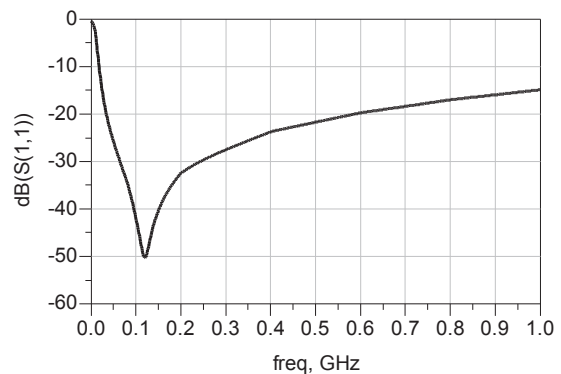
منفی مورد نظر را در حد مطلوبی تولید می‌کند. پاسخ‌های ارائه شده در شکل ۶ مربوط به شبیه‌سازی مدار منفی‌کننده آپ-امپی شکل (۳-الف) است که توسط نرم‌افزار ADS و به ازای خازن 10 pF ، مقاومت فیدبک پایه منفی $33\ \Omega$ و پایه مثبت $100\ \Omega$ شبیه‌سازی شده است. آپ-امپ مورد استفاده در این شبیه‌سازی OPA690 است. اثر زیرآیند نیز در شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است: ارتفاع زیرآیند 1.53 mm ، نفوذپذیری الکتریکی 3.38 و تانژانت تلفات 0.0025 می‌باشد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵ نتایج شبیه‌سازی منفی‌کننده ترانزیستوری شناور Linvill، با بار خازنی ۵۰ پیکوفارادی که با خازن دیگری با همین مقدار سری شده است، (الف) شماتیک مدار، (ب) نتیجه شبیه‌سازی افت بازگشتی (چپ) و پایداری بر حسب فرکانس (راست)

و البته در فرکانس ۳۸۹ MHz نتیجه می‌شود. مقایسه بخش موهومی امپدانس دو آنتن روشن می‌سازد که آهنگ کم تغییرات بخش موهومی امپدانس آنتن بارگذاری شده با عنصر فشرده خازنی، پهن باند بودن تطبیق را تسهیل می‌کند.

مدار فعال آپ-امپی

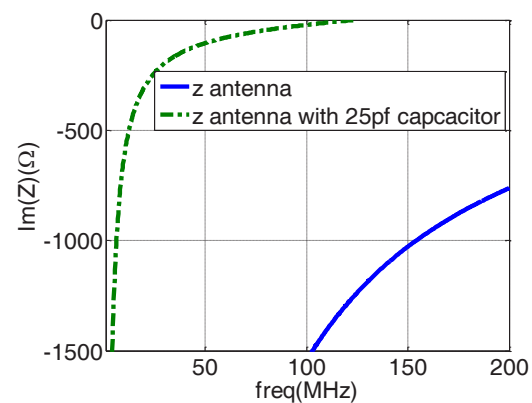
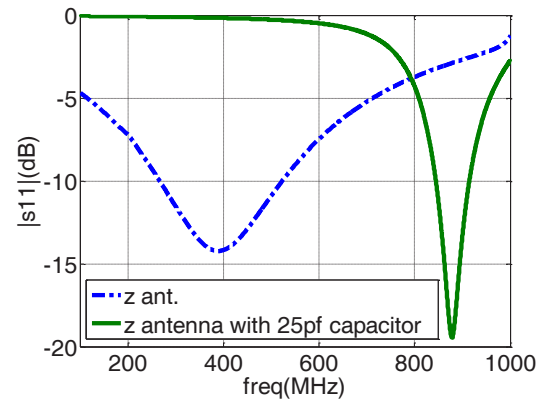
پاسخ فرکانسی آنتن با استفاده از مدار تطبیق فعال آپ-امپی در نرم‌افزار ADS مورد بررسی قرار گرفت. مجدداً در انجام شبیه‌سازی مدار منفی‌کننده، از پارامتر S آنتن با عنصر فشرده خازنی استفاده شد و با توجه به آهنگ کم تغییرات بخش موهومی امپدانس آنتن، مقادیر جدید برای پارامترهای مدار منفی‌کننده طراحی شد. جدول ۱ لیستی از پارامترهای ممکن برای مدار و درصد پهنای باند نسبی پاسخ متناظر را جمع‌بندی نموده است. در این جدول R_n مقدار مقاومت فیدبک منفی و R_p مقدار مقاومت فیدبک مثبت و C مقدار خازنی است که امپدانس آن توسط مدار منفی‌کننده، قرینه می‌شود. با توجه به اینکه آنتن مورد استفاده، فرکانس رزونانس ۱۲۵ MHz و پهنای باند نسبی ۶۴٫۵٪ دارد، پاسخ‌های جدول ۱ بسیار قابل تامل هستند. نتایج ارائه شده، گویای عملکرد صحیح منفی‌کننده در تامین امپدانس لازم جهت پهن باند کردن آنتن می‌باشند. جابجایی فرکانس رزونانس و افزایش درصد پهنای باند نسبی، مشخصه مشترک نتایج شبیه‌سازی‌ها است.

جدول ۱. لیستی از مقادیر پارامترهای مدار منفی‌کننده به همراه پاسخ نهایی آنتن با استفاده از مدار مربوطه

طرح	C (pf)	Rp (Ω)	Rn (Ω)	BW (MHz)	Fr (MHz)	FBW (%)
I	10	450	220	9.6	8.9	108
II	10	100	33	60	80	75
III	10	200	75	41	52	78.85
IV	12	150	50	47	70	67

ردیف ابتدایی جدول ۱ درصد پهنای باند بسیار بالایی را در فرکانس پایین نشان می‌دهد. در واقع مدار طراحی شده ما را قادر می‌سازد که از یک سو فرکانس رزونانس را کاهش دهیم و از سوی دیگر پهنای باند را متناسب با فرکانس (و با توجه به امپدانس آنتن در آن فرکانس) افزایش دهیم. این مسئله از امتیازات استفاده از فرامواد فعال است که در هر بازه با تامین راکتانس قرینه (به شرط تطبیق قسمت حقیقی امپدانس آنتن) می‌تواند آنتن را تطبیق نماید. منحنی‌های پاسخ‌های متناظر جدول ۱ در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود؛ با تنظیم دقیق پارامترهای مدار می‌توان امپدانس مورد نظر را تامین کرد. البته باید به این نکته توجه داشت که با وجود اینکه راکتانس دیده شده

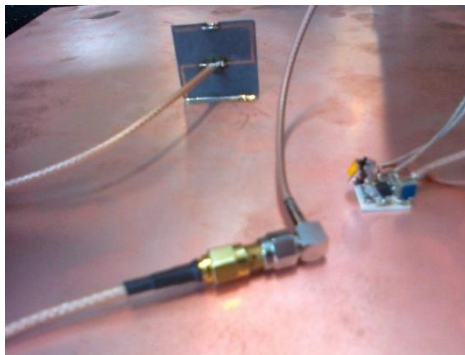
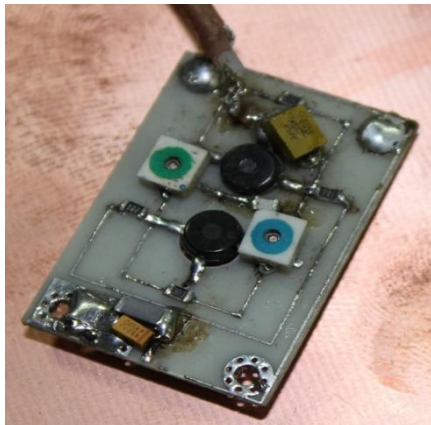
نشان می‌دهد. یکی مربوط به آنتن رزنانشی میدان نزدیک پارازیتیک Z شکل و دیگری آنتن Z در وضعیتی که عنصر فشرده خازنی نیز روی آن قرار داده شده است. نکته حائز اهمیت در مورد این منحنی، مقدار راکتانس آنتن است.



شکل ۷ مقایسه نتایج شبیه‌سازی آنتن به همراه مدار فعال؛ (الف) افت بازگشتی آنتن وقتی مدار فعال غیرفاستری جایگزین شبه فراماده می‌شود، (ب) بخش موهومی پاسخ مدار.

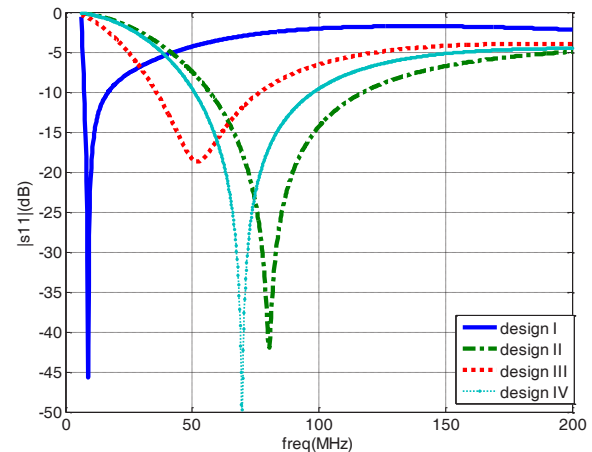
مقایسه این دو منحنی، تفاوت زیاد راکتانس‌های دو آنتن را نشان می‌دهد. راکتانس نزدیک به صفر به معنای مقدار خازن کم است. مطابق با [۶]، مقدار خازن معادل برای آنتن رزنانشی میدان نزدیک پارازیتیک Z شکل مورد نظر، در حدود ۱ pF است. کوچکی مقدار خازن، طراحی منفی‌کننده را به چالش می‌کشد. خازن‌های پیوندی ترانزیستورها و اثرات میکروواستریبی زیرآیند مدار منفی‌کننده در فرکانس‌های بالا، تامین امپدانس منفی‌شده این خازن را بسیار مشکل می‌سازد. بنابراین بارگذاری آنتن رزنانشی میدان نزدیک پارازیتیک Z شکل با عنصر فشرده خازنی، که راکتانس آن در شکل (۷-الف) آمده است، طراحی و پیاده‌سازی منفی‌کننده متناظر را تسهیل می‌کند. شکل (۷-ب) این واقعیت را به خوبی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با استفاده از منفی‌کننده ترانزیستوری، پهنای باند نسبی آنتن ۸٪ در فرکانس ۷۷۸ MHz خواهد بود، حال آنکه با استفاده از بارگذاری خازنی آنتن و سپس استفاده از منفی‌کننده ترانزیستوری، پهنای باند ۶۶٪

این تفاوت را باید در تفاوت پاسخ شبیه‌سازی و ساخت آنتن دانست.



شکل ۹ (بالا) مدار فعال ترانزیستوری، (پایین) مدار فعال مبتنی بر آپ-امپ و نحوه اتصال مدار آن به آنتن

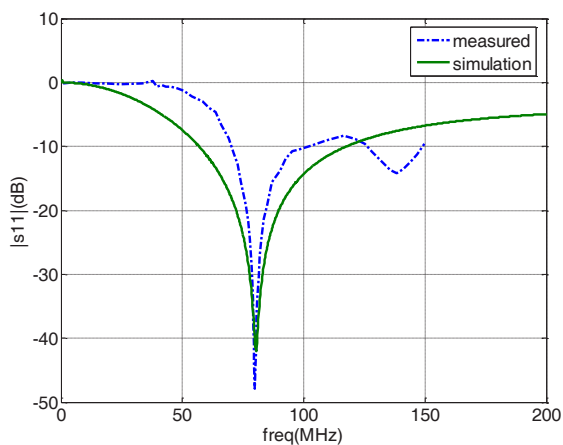
از منفی‌کننده با نسبت مقاومت‌های فییدک متناسب است، ولی تغییر آن مقاومت معادل مدار را نیز تغییر خواهد داد. بنابراین تنظیم این مقادیر به دقت باید صورت گیرد تا نتیجه مطلوب حاصل شود.



شکل ۸ پاسخ آنتن تطبیق شده با فرامواد فعال مبتنی بر آپ-امپ بر حسب فرکانس‌های، جدول ۱

پیاده‌سازی آنتن و اندازه‌گیری مشخصات آن

به منظور بررسی صحت نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌های انجام شده، نمونه‌ای از آنتن پیاده‌سازی شده است. برای انجام اندازه‌گیری و با توجه به ابعاد بسیار کوچک آنتن بر حسب فرکانس و به منظور حذف اثرات کابل کوآکسیال بر امپدانس ورودی آنتن، کابل کوآکسیال $50\ \Omega$ و با طول بلند در نظر گرفته شده است. کابل کوآکسیال به گونه‌ای به آنتن متصل می‌گردد که زمین کابل به بخش پایینی و مغزی به بخش بالایی عنصر پارازیتیک Z شکل، در محل انفصال دو تکه از هم، متصل می‌شود. تصاویر آنتن پیاده‌سازی شده، مدار ساخته شده و نحوه اتصال آن به آنتن در شکل ۹ آورده شده‌اند. به منظور حذف اثرات مخرب زمین محدود بر اندازه‌گیری، زمین با ابعاد بزرگ در نظر گرفته شده است. علی‌رغم تلاش‌های صورت گرفته، نتیجه استفاده از مدار شکل ۹ و اتصال آن به آنتن، مدار فعال ترانزیستوری، موفقیت‌آمیز نبوده است که علت اصلی آن حساسیت بسیار زیاد پاسخ مدار به پارامترهای محیطی، زیرآیند و بارگذاری انجام شده می‌باشد. این در حالی است که پاسخ مدار منفی‌کننده مبتنی بر آپ-امپ تطابق نسبتاً خوبی با نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده دارد، شکل ۹. چنانچه شکل ۱۰ نشان می‌دهد، فرکانس رزونانس شبیه‌سازی و ساخت دقیقاً یکسان بوده و البته تفاوت محسوسی در پهنای باند مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰ مقایسه پاسخ شبیه‌سازی و پیاده‌سازی آنتن بازگشتی آنتن تطبیق شده با مدار فعال مبتنی بر آپ-امپ

جدول ۲ مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. مقادیر، همانطور که نمودار نشان می‌دهد، تفاوت در پهنای باند شبیه‌سازی با پیاده‌سازی را نشان می‌دهد. یکی از علت‌های مهم

همانطور که در [۶] بحث شد، پاسخ شبیه‌سازی آنتن با ساخت آن تفاوت اندکی دارد و با توجه به اینکه شبیه‌سازی‌های مدار بر اساس پارامتر S آنتن در شبیه‌سازی انجام شده است، تفاوت پاسخ آنتن تطبیق شده با تطبیق مدار فعال قابل توجیه است.

مرجع‌ها

- [1] R. W. Ziolkowski and A. D. Kipple, "Reciprocity between the effects of resonant scattering and enhanced radiated power by electrically small antennas in the presence of nested metamaterial shells," *Phys. Rev. E.*, vol. 72, Sep. 2005.
- [2] A. Erentok, "Metamaterial-Based Electrically Small Antennas," *PhD Thesis, University of Arizona*, 2007.
- [3] A. Erentok and R. W. Ziolkowski, "An efficient metamaterial-inspired electrically-small antenna," *Microw. Opt. Tech. Lett.*, vol. 49, no. 6, 1287–1290, 2007.
- [4] P. Jin and R. W. Ziolkowski, "Broadband, Efficient, Electrically Small Metamaterial-Inspired Antennas Facilitated by Active Near-Field Resonant Parasitic Elements," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, No. 2, pp. 318–327, 2010.
- [4] R. W. Ziolkowski, "An efficient, electrically small antenna designed for VHF and UHF applications," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 217–220, 2008.
- [5] M. J. Hassani, "Wide-band electrically small antenna with active metamaterial," *Ms Thesis, K. N. Toosi University of Technology*, Jul. 2011.
- [6] J. T. Aberle and R. Loepsinger-Romak, "Antennas with Non-Foster Matching networks," *Arizona State University*, 2007.
- [7] A. Antoniou, "Floating negative-impedance converters," *IEEE Trans. Circuit Theory (Corres.)*, Vol. CT-19, No. 2, pp. 209–212, Mar. 1972.
- [8] J. G. Linvill, "Transistor Negative Impedance Converters," *Proc. IRE*, vol. 41, pp. 725–729, 1953.
- [9] A. I. Larky, "Negative Impedance Converters," *IRE Trans. On Circuit Theory*, vol. 4, no. 3, September 1957, 124 – 131.
- [10] A. F. Podell and E. G. Cristal, "Negative impedance converters (NIC) for VHF through microwave circuit applications," *IEEE-GMTT, Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 182-183, 1971.
- [11] J. Long, D. Sievenpiper, "Stable Multiple Non-Foster Circuits Loaded Waveguide for Broadband Non-Dispersive Fast-Wave Propagation," *Elect. Lett.*, vol. 50, no. 23, pp. 1708-1710, 2014.
- [12] M. Jacob, J. Long, D. Sievenpiper, "Non-Foster Loaded Parasitic Array for Broadband Steerable Patterns," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 62, no. 12, pp. 6081 - 6090, 2014.
- [13] J. Long and D. F. Sievenpiper, "Low-Profile and Low-Dispersion Artificial Impedance Surface in the UHF Band Based on Non-Foster Circuit Loading," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 7, pp. 3003-3010, July 2016

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، اگر معیار dBA را برای محاسبه پهنای باند در نظر بگیریم، درصد پهنای باند نسبی در اندازه گیری بیش از ۱۰۵٪ خواهد بود که هم از نظر مقدار و هم از نظر تطابق با شبیه سازی ۱۰۲٪ قابل قبول است.

جدول ۲. مقایسه مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری آنتن تطبیق شده با مدار فعال مبتنی بر آپ-امپ. محاسبه پهنای باند با دو معیار 8dB و 10dB.

مقدار پارامتر	FBW (%)	BW(MHz)	Fr(MHz)
شبیه سازی (10dB)	75	60	80
شبیه سازی (8dB)	102	81.87	80
اندازه گیری (10dB)	37.5	30	80
اندازه گیری (8dB)	>105	>85	80

نتیجه گیری

در این مقاله راه‌های پیاده سازی مدار فعال در ساختار آنتن پارازیتیک رزنانسی میدان نزدیک Z شکل، به عنوان جایگزینی برای شبه فرامواد در تولید امپدانس منفی، مورد بررسی قرار گرفت. دو دسته عمده از مدارهای فعال منفی کننده امپدانس، یکی ترانزیستوری و دیگری مبتنی بر آپ-امپ بعد از بررسی، طراحی، شبیه سازی و پیاده سازی شدند. آنتن استفاده شده برای این منظور، آنتن پارازیتیک رزنانسی میدان نزدیک Z شکل است که امپدانس آن با مونتاژ عنصر فشرده خازنی بر روی آن تعدیل شده است. نتیجه قرار دادن پورت مدار فعال مبتنی بر آپ-امپ بر روی ساختار آنتن، تامین راکتانس قرینه آنتن و افزایش چشم گیر در پهنای باند نسبی آنتن به بیش از ۱۰۵٪ است. بر خلاف مدار فعال مبتنی بر آپ-امپ، مدار فعال مبتنی بر ترانزیستور دو قطبی، در پیاده سازی با موفقیت همراه نبوده است که علت اصلی آن حساسیت بسیار زیاد پاسخ مدار به پارامترهای محیطی، زیرآیند و بارگذاری انجام شده می باشد. مشکل دیگر مدار ترانزیستوری مورد بحث در این مقاله، پایدار مدار در فرکانس‌های زیر ۱۰۰ MHz بوده است که از جمله چالش های همیشگی مدارات تطبیق غیرفاستری است. همچنین این نوع منفی کننده ها، به جز مدل شناور مورد بحث در این مقاله، غالباً باریک باند بوده و ضریب تشدید بالایی دارند و بنابراین استفاده از آنها در پهن باند وسیع محدود می شود.