مجله علمی- پژوهشی «رادار»

سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴؛ ص ۶۹ –۶۳

# طراحی فیلتر میان‌گذر با تکنولوژی خازن فعال و تنظیم با شبکه عصبی

آرش رضاپور[1*]، پگاه رضاپور[2]

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک ۲- کارشناس ارشد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمین

(دریافت: ۹۳/۱۱/۰۵، پذیرش: ۹۴/۰۶/۳۱)

## چکیده

در این مقاله یک نوع فیلتر میان‌گذر طراحی و به‌طور مفصل مدار خازن فعال و ویژگی مقاومت منفی، تحلیل و آنالیز و سرانجام فیلتر فعال جدیدی، براساس مدار خازن فعال ارائه گردیده است. از نرم‌افزارهای ADS و MATLAB برای شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است. فیلتر فعالRF پیشنهادی یک فیلتر باند باریک می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی به نکات مثبتی از جمله پایداری و ویژگی نویز اندک آن، اشاره دارد. مدار در محدوده فرکانسی GHz ۷-۲ دارای مقاومت منفی است. در این گستره فرکانسی، مقاومت منفی با شبکه عصبی هوشمند قابل تنظیم می‌باشد. فرکانس مرکزی GHz ۵/۵۰ و پهنای باند MHz ۲۷۸ می‌باشد. در فرکانس مرکزی بهره dB ۱ می‌باشد و فاکتور کیفیت (Q) ۲۴ است. همچنین عدد نویز فیلتر فعال در فرکانس مرکزی dB ۱/۵۱ است. به‌طور کلی فاکتور k (فاکتور پایداری) بزرگتر از واحد است یعنی مدار در گستره فرکانسی مورد نظر کاملاً پایدار است. نتایج حاصل از تنظیمات با شبکه عصبی دارای خطای کمتر از % ۱ در فرکانس مرکزی می‌باشند.

## واژگان کلیدی

**فیلتر فعال، فیلتر میان‌گذر (BPF)، مدار خازن فعال، مقاومت منفی و شبکه عصبی.**

## ۱. مقدمه

یکی از ساختارهای اساسی در سیستم‌های مخابراتی فیلتر است. فیلتر یک عملیات الکتریکی برای انتخاب فرکانس انجام می‌دهد. ممکن است این فرآیند حفظ یک باند فرکانسی باشد که در این‌حالت فیلترهای پایین‌گذر، بالاگذر و میان‌گذر مطرح می‌شوند. همچنین ممکن است این فرآیند شامل رد باند فرکانسی باشد که در این‌حالت فیلترهای میان‌نگذر مطرح می‌شوند. اخیراً فیلترهای میان‌گذر زیادی طراحی شده‌اند این فیلترها باید دارای تلفات کم و پهنای باند مناسبی باشند [۱]. ساختار اکثر فیلترهایی که می‌شناسیم در فرکانس‌های بالا کاربردی ندارند. از طرفی سیستم‌های مخابراتی نوین الزاماً در حال کوچک‌تر شدن هستند. بنابراین به فیلترهای میان‌گذر با قابلیت انتخاب وسیع نیاز دارند. برای این منظور تکنولوژی‌های MMIC، RFIC و RFMEMS توسعه داده شده‌اند [۴-۲].

مدار مجتمع میکروویو یکپارچه (MMIC) و تکنولوژی مدار مجتمع RF (RFIC) امروزه به‌عنوان فرآیندهایی بر اساس Si و GaAS مشهور هستند. تا به‌حال تلاش‌های زیادی انجام گرفته تا یک تراشه واحد را با کل سیستم ادغام کنند. در این زمینه یکی از مشکلات مهم و اصلی نبود فیلتر میان‌گذر RF خوب می‌باشد (BPF). با کوچک کردن حجم یک فیلتر RF جمع عملکردهای آن ضعیف می‌شود. بنابراین برای استفاده و کاربرد تجاری به پیشرفت بیشتری نیاز دارد. البته برای حل این مشکل طرح‌های زیادی مانند تشدیدگرهای فعال از دهه ۱۹۶۰ و طرح‌های فیلتر سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی RF (با تکنولوژی MEMS) ارائه شده است [۸-۵].

تکنولوژی‌های MMIC، RFIC و RFMEM در مصارف تجاری موفق نبودند و کاربرد زیادی ندارند زیرا علیرغم اندازه کوچک و ضریب کیفیت بالا دارای عدد نویز بالا و همچنین ناپایداری می‌باشند. نکات اصلی در طراحی فیلترهای میان‌گذر باریک، داشتن افت کم،

*رایانامه نویسنده پاسخگو: Arash.rezapour@gmail.com

عدد نویز کم‌تر پایداری مناسب می‌باشد. همچنین باید نوسان‌گر با ضریب کیفیت بالایی داشته باشند. هر چه تشدیدکننده کوچک‌تر باشد مقدار ضریب کیفیت (Q) آن کوچک‌تر می‌شود. بنابراین در طراحی فیلتر میان‌گذر (BPF) مجتمع ضمن این‌که به‌دنبال کوچک‌تر کردن اندازه تشدیدکننده هستیم باید ضریب کیفیت نیز افزایش یابد.

از طرفی فیلترهای غیر فعال به‌طور گسترده در طی ۵۰ سال گذشته مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند. در طی ده سال گذشته محققان و پژوهشگران زیادی روش‌های طرح فیلتر فعال را بر اساس تشدیدکننده‌های فعال[۱۰- ۸]، کوپلینگ فعال [۱۶ -۱۱] و طرح‌های دیگر [۲۸- ۱۷] ارائه داده‌اند. برای آنکه فیلترهای میان‌گذر فعال جایگزین فیلترهای غیرفعال شوند باید در پارامترهایی مانند عدد نویز و پایداری نسبت به نوع غیرفعال برتری داشته باشند [۲۹]. متاسفانه برخی از BPF های فعال عدد نویز خوبی ندارند و برخی دیگر قابلیت طراحی پهنای باند باریک را ندارند.

در این تحقیق جستجوی فراوانی در شبکه اینترنت انجام شد و کتابخانه چند دانشگاه داخلی را مورد بررسی قرار گرفت ولی موردی که بر روی خازن فعال کار شده باشد مشاهده نشد. لذا این پروژه نخستین طراحی در داخل کشور می‌باشد. همچنین با توجه به جستجوهای بسیار در شبکه اینترنت و سایت‌های علمی خارجی فیلتر مرجع [۳۰] آخرین موردی بود که با مدار خازن فعال کار شده بود که جزو مقالات IEEE2005 می‌باشد.

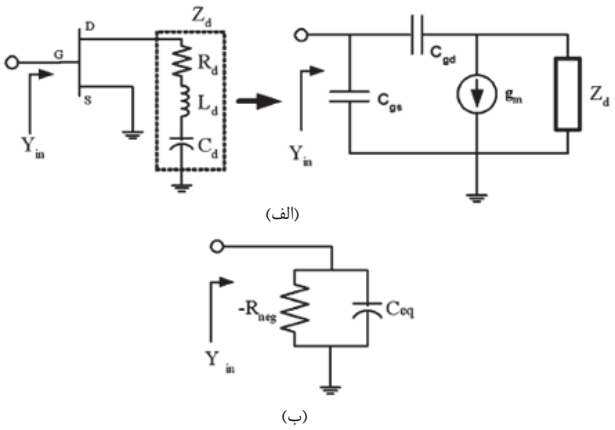
در مرجع [۲۹] یک فیلتر فعال با استفاده از یک مدار مقاومت منفی طراحی شده است.این فیلتر دارای عدد نویز نسبتاً خوبی است. در این مقاله نوع جدیدی از تشدیدکننده فعال بر اساس مدار خازن فعال به‌طور مفصل تجزیه و تحلیل شده است. همچنین روشی برای طراحی فیلتر میان‌گذر غیرفعال میکروویو عادی ارائه شده است.

## ۲. تئوری مقاومت منفی

اکثر توپولوژی‌های مقاومت منفی از ساختارهای بازخورد سری گیت‌مشترک یا سورس‌مشترک تشکیل شده‌اند. این ساختارهای فیدبک معمولاً برای طراحی نوسان‌گر به‌کار می‌روند. در حالت کلی ساختار فیدبک سری باعث کاهش عملکرد نویز مدار می‌شود. توپولوژی پیشنهادی در مقاله مورد نظرمان یک سورس‌مشترک با ساختار فیدبک سری R-L-C می‌باشد. شکل (۱-الف) ساختار مداری این توپولوژی را نشان می‌دهد. این ساختار با سایر روش‌های طراحی اسیلاتور متفاوت است و از یک ساختار فیدبک سری گیت‌مشترک یا هر درین اضافه یا مسیرهای فیدبک موازی سورس به گیت استفاده نمی‌کند، زیرا این‌ها باعث کاهش عملکرد نویز می‌شوند. این ساختار دارای یک فیدبک (RLC) روی پایه سورس ترانزیستور می‌باشد. پاسخ فرکانسی این مدار در مقاله مذکور به‌طور کامل تحلیل شده است. نتایج اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در این مقاله می‌تواند به طراحی یک فیلتر فعال کمک کند علاوه بر آن فیلتر فعال RF پیشنهادی می‌تواند برای طراحی یک فیلتر میان‌گذر فعال باریک قابل اجرا باشد.

بنابراین، توپولوژی پیشنهادشده می‌تواند عملکرد نویز را ارتقاء دهد. خازن فعال که شامل یک ترانزیستور اثر میدان (FET) می‌باشد دارای ویژگی مقاومت منفی و ویژگی خازنی است. ساختار این توپولوژی ساده است و برای طراحی فیلتر باند باریک مناسب است. شکل (۱- ب) مدار معادل شکل (۱- الف) را نشان می‌دهد.

حال به تحلیل تئوری مدار مربوطه می‌پردازیم. بعبارت دیگر از دید نشان داده‌شده با استفاده از مدار معادل ترانزیستور مقدار $Y_{in}$ را بدست می‌آوریم.




**شکل ۱.** الف) مدارخازن فعال پیشنهادی، ب) مدار معادل مدار خازن فعال مورد نظر

$$Y_{in}=\frac{Z_1+Z_2+Z_d+g_m.Z_1.Z_3}{Z_1(Z_2+Z_3)} \qquad (۱)$$

که در آن $Z_1=\frac{1}{jwC_{gs}}=-jX_1$ ، $Z_2=\frac{1}{jwC_{gd}}=-jX_2$ ، $Z_3=\frac{1}{jwC_{ds}}=-jX_3$ و

$Z_d=R_d+j\left(w\ L_d\ \frac{1}{jwC_d}\right)=R_d+jX_d$ می‌باشد.

## ۲. روش کار

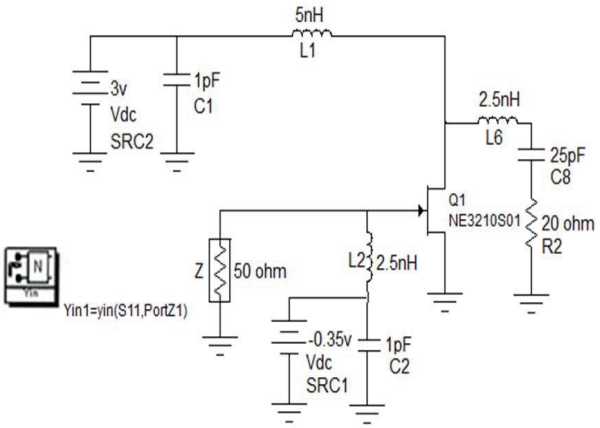
### ۲-۱. طراحی BPF

از آنچه که در قسمت قبل گفته شد نتیجه می‌گیریم امکان طراحی یک فیلتر میکروویو فعال نویز اندک وجود دارد. ابتدا یک مدار خازن فعال ساده مانند شکل (۱- الف) در نظر می‌گیریم. می‌توان از پارامترهای مدار معادل سیگنال کوچک یک FET استفاده کرد و ضریب هدایت معادل یک خازن فعال را محاسبه کرد برای سهولت، ابتدا مقادیر اولیه پارامترهای فیدبک سری تعیین می‌شوند و طبق این مقادیر می‌توان ضریب هدایت معادل مدار خازن فعال را به‌دست آورد البته لازم است یک گستره فرکانسی تعریف کنیم که در آن مدار خازن فعال باید مقاومت منفی داشته باشد. برای این‌که پایداری و نویز اندکی داشته باشیم باید تغییر مقادیر عناصر شاخه فیدبک به‌صورت هماهنگ انجام شود تا یک خازن فعال را ایجاد کند که مقاومت منفی اندکی داشته باشد و دامنه فرکانس را با مقاومت منفی کاهش دهد. هنگام طراحی یک شبکه فیدبک سری، این ویژگی‌ها در نظر گرفته می‌شوند و سپس مقادیر اولیه تعیین می‌شوند. فرکانس رزونانس باید هماهنگ با افزایش مقادیر مقاومت منفی تنظیم شود. با استفاده از روش گفته‌شده، یک تشدیدکننده فعال جدید می‌تواند جایگزین یک تشدیدکننده غیرفعال شود.

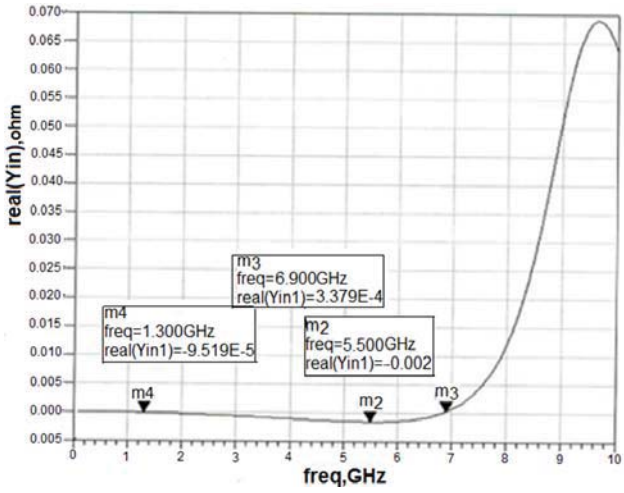
مطابق آنچه گفته شد، یک نوع جدید BPF فعال RF با استفاده از نرم افزار ADS طراحی می‌کنیم. در شکل ۲ به‌صورت شماتیک یک BPF فعال مرتبه اول با استفاده از یک مدار خازن فعال نشان داده شده است.

این مدار خازن فعال از یک ترانزیستور NE3210s01 تشکیل شده است که این ترانزیستور از نوع GaAs FET می‌باشد. از نظر تجاری تمامی المان‌های مدار مذکور در دسترس هستند. برای ترانزیستور مورد نظر شرایط بایاس $V_{ds}$ = ۳ v، $V_{gs}$ = ۰/۳۵ v، $I_{ds}$ = ۲۸mA می‌باشند. مطابق این شرایط بایاس می‌توان گفت ترانزیستور عملکرد پایداری دارد و دارای ویژگی نویز اندک می‌باشد. آنچه که در طراحی این مدار حائز اهمیت است تعیین مقادیر المان‌های شاخه فیدبک سری می‌باشد یعنی تعیین مقادیر المان‌های $L_f$، $C_A$ و $R_2$ که در ساختار شکل ۲ نشان داده شده‌اند. این مقادیر المان‌ها باید تنظیم و هماهنگ شوند به‌ویژه زمانی‌که پارازیت خطوط میکرواستریپ غیر صفر در نظر گرفته می‌شود یعنی خطوط میکرواستریپ پارازیتی فرض می‌شوند. در حقیقت اگر پارازیت خطوط میکرو استریپ را در طراحی ماکزیمم مقاومت منفی در نظر نگیریم دراین‌صورت به هدف اصلیمان نمی‌رسیم زیرا هدف اصلی ما طراحی فیلتر میان‌گذر در محدوده ۲ GHz تا۷ GHz است که تا به‌حال در این محدوده فرکانسی طراحی نشده بود بنابراین به‌ازای مقادیر مختلف المان‌های $L_f$، $C_A$ و $R_2$ نمودار هدایت ورودی مدار خازن فعال را بر حسب فرکانس رسم می‌کنیم این‌کار توسط نرم افزار ADS صورت می‌گیرد. نهایتاً می‌بینیم که به‌ازای $L_f$ = ۲/۵ nH، $C_A$ = ۲۵ pf، $R_2$ = ۲۰ Ω مدار خازن فعال پایداری تقریباً مناسبی دارد و مقدار مقاومت منفی نسبتاً خوبی دارد .نمودار هدایت ورودی مدار خازن فعال شکل ۲، در شکل ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که از نمودار شکل ۳ پیداست در فرکانس $f_{low}$ = ۱/۲ GHz مقدار مقاومت ورودی صفر می‌شود سپس مقاومت ورودی کاهش می‌یابد و در فرکانس $f_{max}$ = ۵/۵ GHz مقاومت ورودی به کمترین مقدار خود می‌رسد سپس دوباره مقاومت ورودی افزایش می یابد و در فرکانس $f_{up}$ = ۶/۷ GHz به مقدار صفر می‌رسد بنابراین محدوده فرکانسی که مدار از خود خاصیت مقاومت



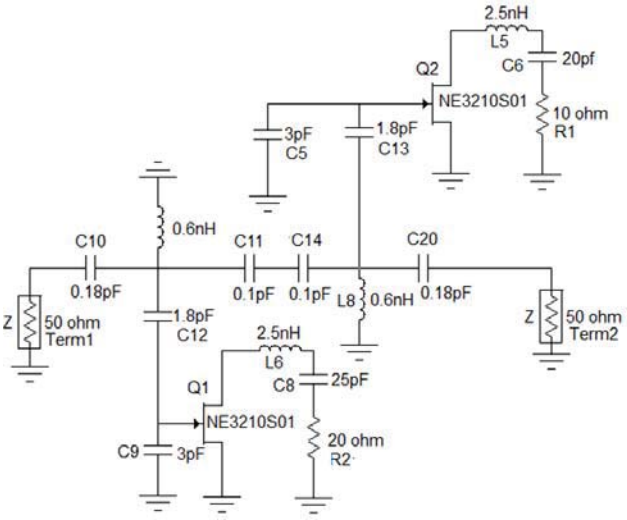

**شکل ۲.** فیلتر میان‌گذر با مدار خازن فعال طراحی‌شده مرتبه اول




**شکل ۳.** نمودار هدایت ورودی مدار خازن فعال شکل۲

منفی از ۲ GHz تا ۷ GHz نشان می‌دهد و فرکانس مرکزی تقریباً ۵/۵ GHz است.

برای این‌که نوسانگر فعال مقدار مقاومت منفی بهتر و ضریب پایداری (K) مناسب‌تری داشته باشد از نتایج به‌دست‌آمده در قسمت نتیجه کار استفاده کرده و مدار شکل ۴ را با نرم افزار ADS طراحی می‌کنیم.




**شکل ۴.** مدار خازن فعال طراحی‌شده مرتبه دوم

در ساختار شکل۴ دو نوع نوسانگر فعال وجود دارد که توپولوژی مشابه و یکسانی دارند. این دو نوسانگر فقط مقادیر المان‌های مدار فیدبکشان متفاوت است.چون می‌خواهیم باند عبور هموار و فیلتر پایداری داشته باشیم به همین دلیل مقادیر المان‌های شاخه فیدبک دو مدار خازن فعال را متفاوت در نظر می‌گیریم. پارامترهای جزئی و کامل مدار در جدول ۱ آمده است.

**جدول ۱.** پارامترهای مدار فیدبک

| | $R_d$ | $L_d$ | $C_d$ |
|---|---|---|---|
| I | ۱۰ Ω | ۲/۵ nH | ۲۰ Pf |
| II | ۲۰ Ω | ۲/۵ nH | ۲۵ Pf |

حال به تحلیل تئوری مدار شکل۴ می‌پردازیم. با استفاده از مدارمعادل ترانزیستورها مقدار $Y_{in}$ را به‌دست می‌آوریم. از روابط به‌دست‌آمده در رابطه (۱) نیز استفاده می‌کنیم.

$$Y_{in}=\frac{R_d}{R_d^2+(X_d-X_2)^2}+\frac{g_m}{R_d^2+(X_d-X_2)^2}\left(R_d^2+(X_d-X_2)^2X_d\right)$$
$$+j\left(\frac{1}{X_1}-\frac{X_d-X_2}{R_d^2+(X_d-X_2)^2}+\frac{g_m X_2 R_d}{R_d^2+(X_d-X_2)^2}\right) \qquad (۲)$$

با توجه به قسمت حقیقی رابطه (۲) می‌توان باند فرکانسی مدار خازن فعال را به‌صورت $f_{up}=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_d\,C_{up}}}$ و $f_{low}=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_d\,C_{low}}}$ نشان داد.

که در آن:

$$C_{up}=\frac{2C_d C_{gd}}{2C_{gd}+C_d\left(1-\frac{C_{gd}}{g_m L_d}\left(R_d+g_m R_d^2\right)\right)+\sqrt{\left(1-\frac{C_{gd}}{g_m L_d}\left(R_d+g_m R_d^2\right)\right)^2-\frac{2C_{gd}^2}{g_m C_d L_d}\left(R_d+g_m R_d^2\right)}} \qquad (۳)$$

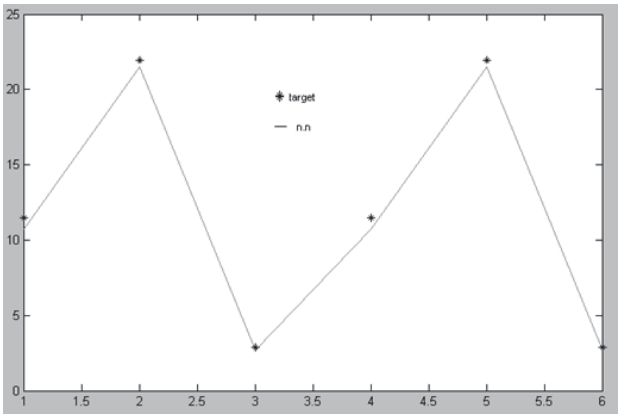
$$C_{low}=\frac{2C_d C_{gd}}{2C_{gd}+C_d\left(1-\frac{C_{gd}}{g_m L_d}\left(R_d+g_m R_d^2\right)\right)-\sqrt{\left(1-\frac{C_{gd}}{g_m L_d}\left(R_d+g_m R_d^2\right)\right)^2-\frac{2C_{gd}^2}{g_m C_d L_d}\left(R_d+g_m R_d^2\right)}} \qquad (۴)$$

## ۲-۲. شبیه‌سازی با شبکه عصبی

شبکه عصبی روش متفاوتی برای پردازش و آنالیز اطلاعات ارائه می‌دهد به‌عبارت دیگر شبکه‌های عصبی قادر به یافتن الگوهایی در اطلاعات هستند که هیچکس، هیچ‌گاه از وجود آنها اطلاع نداشته است، که این امر با آموزش صحیح اطلاعات به شبکه محقق می‌شود، ابتدا تعدادی از پارامترها را به‌عنوان ورودی و سایر پارامترها را به‌عنوان خروجی به شبکه عصبی آموزش می‌دهیم. حال با دادن مقادیر خروجی دلخواه به‌عنوان ورودی، شبکه عصبی در خروجی مقادیری را ارائه می‌دهد که همان مقادیر پارامترهای ورودی لازم جهت خروجی مطلوب می‌باشند. لازم به‌ذکرست جهت آموزش مدل‌های متفاوتی وجود دارد، در این مقاله از مدل (MLP) multilayer feed-forward perceotron در شبکه عصبی استفاده می‌شود. این مدل محدودیت‌ها و مزایایی دارد. به هرحال ما به‌دنبال قابلیت‌های این مدل هستیم. با استفاده از این مدل از یک شبکه عصبی چهارلایه برای فیلتر استفاده می‌کنیم. در حقیقت ما در طراحی فیلتر از شبکه عصبی استفاده می‌کنیم تا در مواقع ضروری بتوانیم مقادیر دقیق المان‌ها را در فرکانس مرکزی به‌دست آوریم و این مقادیر را با نتایج به‌دست آمده از نرم افزار ADS مقایسه کنیم و مقادیر المان‌ها را تایید کنیم.

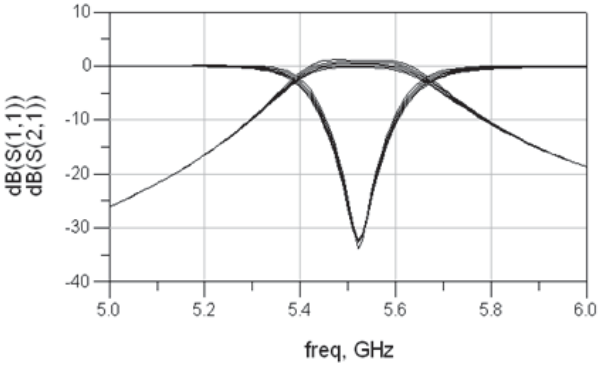
## ۳. نتایج

نتیجه خروجی شبکه عصبی برای ۱۰۰۰ دور در شکل ۵ آمده است که در آن نقاط target همان اهداف می‌باشند یعنی هرچه خروجی شبکه عصبی به این نقاط نزدیک‌تر باشند خطا کمتر و به خروجی مطلوب نزدیک‌تر خواهیم بود. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در نمودار ارائه‌شده، خطا کمتر از یک درصد می‌باشد که بیانگر آموزش صحیح شبکه عصبی و اطمینان به عملکرد آن است.



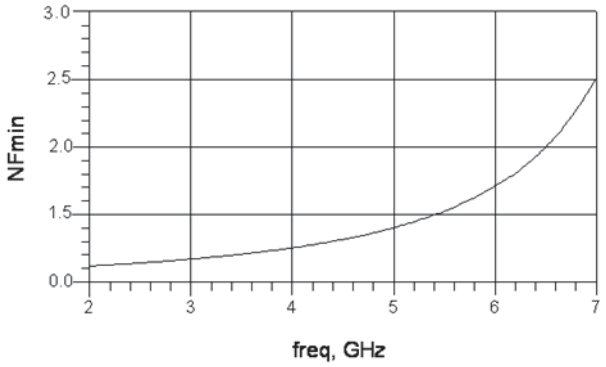

**شکل ۵.** خروجی شبکه عصبی

شکل۶ نتیجه شبیه‌سازی‌شده مدار نوسانگر فعال مذکور با استفاده از نرم افزار ADS را نشان می‌دهد که دارای فرکانس مرکزی ۵/۵ GHz می‌باشد. این نمودار بیان می‌کند که فیلتر مورد نظر دارای تطبیق ورودی و خروجی و همچنین پایداری مناسبی می‌باشد.




**شکل ۶.** نمودارهای $S_{11}$ و $S_{22}$ فیلتر میان‌گذر

پهنای باند ۳- dB مدار طراحی‌شده تقریباً ۲۷۸ MHz می‌باشد. شکل ۷ عدد نویز اندازه‌گیری‌شده BPF فعال مورد نظر را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینیم عدد نویز اندازه‌گیری‌شده در فرکانس مرکزی ۱/۵۱ dB می‌باشد. ضریب کیفیت (Q) نیز به‌وسیله مدار مقاومت منفی افزایش می‌یابد زیرا مقاومت منفی مدار خازن فعال باعث جبران افت مدار نوسانگر می‌شود. ضریب کیفیت به‌دست آمده Q =۲۴ است.




**شکل ۷.** نمودار نویز فیلتر میان‌گذر

نتیجه نهایی شبیه‌سازی با شبکه عصبی و ADS در جدول ۲ نشان داده شده است.که در اینجا توضیح مختصری راجع به آن می دهیم. ابتدا مقادیر المان‌های $R_1$، $L_1$، $C_1$، $R_2$، $L_2$ و $C_2$ را به‌صورت دلخواه به مدار طراحی شده می‌دهیم البته این مقادیر باید به مقادیر به‌دست‌آمده در جدول ۱ نزدیک باشند. سپس با استفاده از نرم‌افزار ADS مقدار فرکانس مرکزی (f.) و پهنای باند (BW) و پارامترهای S را به‌دست می‌آوریم (البته مقادیر R-L-C را باید به‌گونه‌ای تعیین کنیم که پهنای باند مطلوب و مقدار تقریبی فرکانس مرکزی مدنظرمان را در خروجی ADS داشته باشیم. لازم بذکر است اگر مقادیر R-L-C را نزدیک به مقادیر جدول ۱ در نظر بگیرم این اتفاق خواهد افتاد) این پروسه را چندین بار با مقادیر مختلف R-L-C تکرار می‌کنیم و هر بار با استفاده از نرم افزار ADS مقدار فرکانس مرکزی و پهنای باندو پارامترهای S را بدست می‌آوریم. بنابراین مقادیر R-L-C به‌عنوان ورودی نرم افزار ADS می‌باشند و مقادیر $f_0$، BW و S بعنوان خروجی این نرم‌افزار می‌باشند حال نتایج به‌دست‌آمده را به شبکه عصبی آموزش می‌دهیم. سپس در مرحله آخر مقدار فرکانس مرکزی مدنظرمان و پهنای باند و پارامترهای S مطلوب را که باعث پایداری بیشتر مدار می‌شوند، بعنوان ورودی به شبکه عصبی می‌دهیم و شبکه عصبی از مهندسی معکوس استفاده می‌کند و مقادیر دقیق‌تر المان‌های $R_1$ و $L_1$ و $C_1$ و $R_2$ و $L_2$ و $C_2$ را با خطای کمتر از ۱ درصد به‌عنوان خروجی می‌دهد. نتیجه نهایی همه موارد ذکر شده، در جدول ۲ آمده است.

**جدول ۲.** نتیجه حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار ADS و شبکه عصبی

| | S۲۱ | | S۱۱ | S۲۲ | BW | $f_0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Input Neural Network and Output ADS** | ۰/۹۰۹ (dB) | | −۳۲/۵ (dB) | −۳۲/۵ (dB) | ۲۷۸ (MHz) | ۵/۵۰ (GHz) |
| | R۱ | C۱ | L۱ | R۲ | C۲ | L۲ |
| **ADS Input** | ۱۰/۵ | ۲۲ | ۲/۸ | ۱۰/۵ | ۲۲ | ۲/۶ |
| **Neural Network output** | ۱۰/۴ | ۲۲/۴ | ۲/۸ | ۱۰/۴ | ۲۲/۵ | ۲/۷ |
| **Error** | <۱٪ | <۱٪ | <۱٪ | <۱٪ | <۱٪ | <۱٪ |

**جدول ۳.** مقایسه طراحی انجام‌گرفته با سایر طراحی های صورت گرفته مشابه

| نوع فیلتر | فرکانس مرکزی (GHz) | پهنای باند (%) | of order | بهره (dB) | عدد نویز (dB) | مرجع |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Transversal | ۲/۵ | ۱۰ | ۴ | ۰ | ۶ | [۱۰] |
| Recursive | ۱۰ | ۱ | ۱ | ۲ | ۴/۵ | [۱۲] |
| Active inverter | ۰/۹ | ۲۰ | ۳ | ۲۴/۴ | ۲/۵ | [۱۵] |
| Negative Resistance | ۰/۹ | ۴/۵ | ۲ | +۰ | ۵/۶ | [۱۸] |
| Negative Resistance | ۱/۸۸ | ۵ | ۲ | −۰/۱ | ۲/۴ | [۲۵] |
| نتایج این کار | ۵/۵۰ | ۳/۶ | ۲ | ۱ | ۱/۵۱ | - |

مدار طراحی‌شده با چند مدار فیلتر غیر فعال و فیلتر فعال با تکنولوژی‌های دیگر و یک مدار فیلتر فعال با همین تکنولوژی مقایسه شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است.

## ۴. نتیجه‌گیری

در خاتمه به‌عنوان، ویژگی‌های این پژوهش میتوان به موارد زیر اشاره می‌گردد:

۱. با بررسی انجام شده درکتابخانه چند دانشگاه داخلی موردی که بر روی خازن فعال کار شده باشد مشاهده نشد. لذا این پروژه نخستین طراحی از نوع خود، در داخل کشور می‌باشد.

۲. با توجه به جستجوهای بسیار در شبکه اینترنت فیلتر مرجع [۲۹] آخرین موردی بود که با مدار خازن فعال کار شده بود که جزو مقالات IEEE2005 می باشد.

۳. فیلتر طراحی‌شده ما نسبت به فیلتر مرجع [۲۹] در فرکانس مرکزی دارای ۱ dB گین نیز می‌باشد.

۴. فیلتر طراحی‌شده ما نسبت به فیلتر مرجع [۲۹] دارای عدد نویز بسیار پایین‌تری می‌باشد که عدد نویز ۱/۵۱ dB یک عدد نویز بسیار عالیست.

۵. در مقایسه با دیگر روش‌های طراحی فیلترهای فعال، طراحی ما در چندین مورد مانند پیچیدگی و حجم کمتر، قابلیت عملکرد در یک پهنای باند باریک و عملکرد بهتر نویز ، بهینه تر است.

## ۶. مراجع


[1] M. G. Madhan, G. A. Fatima Rani, K. Sridhar, and J. S. Kumar, “Design and Fabrication of Transmission line based wideband band pass filter,” ELSEVIER, vol. 30, pp. 646-653, 2012.

[2] J. L. Lopez, J. Verd, A. Uranga, G. Murillo, J. Giner, E. Marigo, F. Torres, G. Abadal, and N. Barniol, “VHF band-pass filter based on a single CMOS-MEMS doublended tuning fork resonator,” ELSEVIER, vol. 1, pp. 1131-1134, 2009.

[3] C. Nguyen, “Frequency-selective MEMS for miniaturized lowpower communication devices,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 8, pp. 1486–1503, Aug. 1999.

[4] R. Aigner, J. Ella, W. Nessler, and S. Marksteiner, “Advancement of MEMS into RF-filter applications,” in Int. Electron Devices Meeting Dig., pp. 897–900, Dec. 2002.

[5] D. K. Adams and R. Y. C. Ho, “Active filters for UHF and microwave frequencies,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-17, no. 9, pp. 662–670, Sep. 1969.

[6] R. V. Snyder and D. L. Bozarth, “Analysis and design of a microwave transistor active filter,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-18, no. 1, pp. 2–9, Jan. 1970.

[7] D. K. Adams and R. Y. C. Ho, “Filtering, frequency multiplexing and other microwave applications with inverted-common-collector transistor circuits,” in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 1, pp. 14–20, 1969.

[8] J.-R. Lee, Y.-H. Chun, and S.-W. Yun, “A novel bandpass filter using active capacitance,” in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 3, 2003, pp. 1747–1750.

[9] Y. Chang and T. Itoh, “Microwave active filters based on coupled negative resistance method,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 38, no. 9, pp. 1879–1884, Sep. 1990.

[10] S. R. Chandler, I. C. Hunter, and J. G. Gardiner, “Active varactor tunable bandpass filter,” IEEE Microw. Guided Wave Lett, vol. 3, no. 3, pp. 70–71, Mar. 1993.

[11] K. M. Cheng and Y. Chan, “Noise performance of resistance compensated microwave bandpass filters,” IEEE Trans. Microw.Theory Tech., vol. 49, no. 5, pp. 924–927, 2001.

[12] I. C. Hunter and A. Kennerley, “Miniature microwave filters for communication systems,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 43, no. 9, pp. 1751–1757, Sep. 1995.

[13] L. Billonnet, G. Tann’e, C. Person, and S. Toutain, “Recent advances in microwave active filter design-Part 2: Tunable structures and frequency control techniques,” in Int. J. RF Microwave Computer-Aided Design, vol. 12, pp. 177–189, 2002.

[14] W. Schwab and W. Menzel, “A low-noise active bandpass filter,” IEEE Microw. Guided Wave Lett., vol. 3, no. 1, pp. 1–2, Jan. 1993.

[15] F. Sabouri-S, “AGaAs MMIC active filter with low noise and high gain,” in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 3, 1998, pp. 1177–1180.

[16] Y.-H. Chun, S.-W. Yun, and J.-K. Rhee, “Active impedance inverter: Analysis and its application to the bandpass filter design,” in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 3, 2002, pp. 1911–1914.

[17] K. M. Strohm, O. Yaglioglu, J. F. Luy, and W. Heinrich, “3-D silicon micro machined RF resonator,” in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 3, 2003, pp. 1801–1804.

[18] R. Aigner, J. Ella, W. Nessler, and S. Marksteiner, “Advancement of MEMS into RF-filter applications,” in Int. Electron Devices Meeting Dig., pp. 897–900, Dec. 2002.

[19] W. Schwab and W. Menzel, “A low-noise active bandpass filter,” IEEE Microw. Guided Wave Lett., vol. 3, no. 1, pp. 1–2, Jan. 1993.

[20] F. Sabouri-S, “AGaAs MMIC active filter with low noise and high gain,” in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 3, 1998, pp. 1177–1180.

[21] Y.-H. Chun, S.-W. Yun, and J.-K. Rhee, “Active impedance inverter: Analysis and its application to the bandpass filter design,” in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 3, 2002, pp. 1911–1914.

[22] C. Rauscher, “Microwave active filters based on transversal and recursive principles,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-33, no. 12, pp. 1350–1370, Dec. 1985.

[23] M. Schindler and Y. Tajima, “A novelMMIC active filter with lumped and transversal elements,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 37, no. 12, pp. 2148–2153, Dec. 1989.

[24] K. V. Chiang and R. P. Martins, “Noise performance of CMOS transversal bandpass filters,” in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 3, 2002, pp. 871–874.

[25] L. Billonnet, and B. Jarry, “Microwave, biquadratic , active -RC filter development,” in Int. J. Microwave Millimeter-Wave Computer-Aided Eng., pp. 102–115, 1998.

[26] H. Ezzedine, L. Billonnet, and P. Guillon, “Optimization of noise performance for various topologies of planar microwave active filters using noise wave techniques,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 46, no. 12, pp. 2484–2492, Dec. 1998.

[27] J. Everad, “Fundamentals of RF Circuit Design with Low Noise Oscillators,” New York: Wiley, 2001.

[28] S. B. Cohn, “Direct-coupled-resonator filters,” Proc. IRE, vol. 45, no. 2, pp. 187–196, Feb. 1957.

[29] C. Rauscher, “Microwave active filters based on transversal and recursive principles,” IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-33, no. 12, pp. 1350–1370, Dec. 1985.

[30] Y. H. Chun, J. R. Lee, S. W. Yun, and J. K. Rhee, “Design of an RF Low-Noise Bandpass Filter Using Active Capacitance Circuit,” IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 53, no. 2, Feb 2005.

*Journal of "Radar"*
Vol. 3, No. 2, 2015 (Serial No. 8)

# Design of Band-Pass Filter Based on Active Capacitance Circuit and Tunability with Neural Network

**A. Rezapour*, P. Rezapour**

*Islamic Azad University of Arak
(Received: 25/01/2015, Accepted: 22/09/2015)

## Abstract

In this research, active capacitance circuit and the feature of negative resistance are analysed in details. Also, a new active filter is presented based on active capacitance circuit. For simulations, we used MATLAB and Advanced Design System(ADS). proposed active filter (RF) is a narrow band filter. The results of simulation shows some aspects of sustainability and low noise feature. The circuit has negative resistance at frequency range of 2-7 GHz, in which negative resistance is adjusted with neural network. The central frequency is 5.50 GHz, and band width is 278 MHz. In the central frequency the gain is 1 dB and quality factor(Q) is 24. The active filter noise figure in central frequency is 1.51 dB. Generally, K factor (stability factor) is greater than one meaning circuit is completely stable in the considered frequency range. The results from regulations with neural network has an error less than 1% in central frequency.

**Keywords:** Active Filter, Band Pass Filter, Active Capacitance Circuit, Negative Resistance, Neural Network.

*Corresponding author E-mail: Arash.rezapour@gmail.com