

# طراحی و بهینه‌سازی یک تقویت‌کننده RF پهن باند بدون سلف با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه

مهدی شیخی<sup>۱</sup>

۱. کارشناسی ارشد مهندسی برق، الکترونیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

## چکیده

ربرد وسیع تقویت‌کننده‌های RF پهن باند در انواع مدارهای مخابراتی و الکترونیکی باعث شده است که طراحی بهینه آن‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد. مسئله مهم در طراحی تقویت‌کننده‌های RF توجه به مقادیر ترانزیستورها، مقاومتهای و ولتاژهای بایاس بوده و این مسئله محاسبات دستی طراحی را پیچیده می‌کند. در این مقاله ساختار یک تقویت‌کننده پهن باند بدون سلف توسط کاربر پیشنهاد می‌گردد و مقادیر اجزای مدار شامل پهنای ترانزیستورها، مقدار مقاومتهای و ولتاژهای بایاس به وسیله الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه طراحی و پیشنهاد شده و مقادیر بهره توان (S21)، تطبیق امپدانس ورودی (S11)، عدد نویز (NF) و توان مصرفی توسط این الگوریتم‌ها بهینه می‌شوند. نتایج به دست آمده با استفاده از مدل‌های دقیق عناصر در شبیه‌سازی نشان‌دهنده توانایی قابل توجه این الگوریتم‌ها در یافتن مقادیر اجزای مدار با بهترین مقدار هست. برنامه‌های الگوریتم با Matlab نوشته شده و شبیه‌سازی مدار به وسیله Hspice با تکنولوژی ۱۸۰nm انجام گرفته است. **واژه‌های کلیدی:** متامتریال، رزوناتور، فرامواد، زیرلایه، ضریب نفوذپذیری

## Design and Optimization of an Inductorless Wideband RF Amplifier Using Multi-Objective Heuristic Algorithms Engineering

### Abstract

The wide application of wideband RF amplifiers in a variety of telecommunication and electronic circuits has led researchers to optimize their design. An important issue in the design of RF amplifiers is the consideration of transistor values, resistors, and bias voltages, which complicate the design of manual calculations. In this paper, the structure of an inductorless wideband amplifier is proposed by the user and the values of the circuit components including transistor width, resistor values and bias voltages are designed and proposed by multi-objective algorithms and power gain (S21), input impedance (S11), noise number (NF) and power consumption are optimized by these algorithms. The results obtained by using detailed element models in the simulation show the considerable ability of these algorithms to find the values of the best-valued circuit components. The algorithm programs were written with Matlab and the circuit was simulated by Hspice with 0.18  $\mu\text{m}$  technology.

**Key words:** Wideband amplifier, Inductorless, Multi-objective heuristic algorithms, Optimization

بزرگ استفاده نمود. همچنین دقت بالا از دیگر مزایای این روش‌ها هست. چراکه از مدل‌های دقیق عناصر در بهینه‌سازی استفاده شده است. تاکنون پژوهش‌های مختلفی مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه برای طراحی و بهینه‌سازی تقویت‌کننده‌ها انجام شده است. به‌عنوان مثال، یک بهینه‌سازی بر روی یک تقویت‌کننده RF توسط Suvitha و همکاران [۱۳] با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه چند هدفه (MOALO) انجام شده است و بهینه‌سازی بهره و نویز و توان مصرفی صورت گرفته است اما این بهینه‌سازی فقط در یک فرکانس انجام شده است و در واقع طرح پیشنهادی برای تقویت‌کننده باند باریک انجام شده است. در پژوهش دیگری، آلکر و همکاران [۱۴] نیز با استفاده از الگوریتم MOPSO به طراحی و بهینه‌سازی یک تقویت‌کننده پرداخته‌اند اما فقط در فرکانس میانی پهنای باند این طراحی انجام شده است. اگرچه به بهره نسبتاً بالایی در مدار دست‌یافته‌اند اما طرح پیشنهادی دارای تطبیق امپدانس ورودی و پهنای باند وسیعی نیست.

تحقیقاتی که تاکنون در زمینه طراحی تقویت‌کننده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه انجام شده است تنها در یک فرکانس مرکزی انجام شده است و تاکنون پژوهشی برای کاربردهای پهن باند ارائه نشده است. در این مقاله طراحی و بهینه‌سازی یک تقویت‌کننده برای کاربردهای پهن باند با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه MOIPO، MOPSO و MOALO جهت دستیابی به بهره و تطبیق امپدانس ورودی و نویز و توان مصرفی مناسب ارائه شده است.

در ادامه مقاله ابتدا در بخش ۲ ساختار تقویت‌کننده پهن باند بدون سلف پیشنهادی را بررسی می‌کنیم و سپس در بخش ۳ الگوریتم‌های بهینه‌سازی MOPSO و MOIPO و MOALO مرور می‌شود. در بخش ۴ نحوه بهینه‌سازی بهره توان، تطبیق امپدانس ورودی، عدد نویز و توان توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای Matlab و Hspice ارائه می‌شود. در بخش ۵ نیز به تحلیل نتایج پرداخته می‌شود و در نهایت در بخش ۶ به نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

## ۲- ساختار تقویت‌کننده RF پهن باند بدون سلف پیشنهادی

شکل ۱ مدار تقویت‌کننده پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ورودی از آرایش گیت مشترک جهت فراهم کردن تطبیق امپدانس در پهنای باند مورد نظر استفاده شده است. همچنین در طرح پیشنهادی بهره از دو مسیر مختلف به خروجی منتقل می‌گردد که یک مسیر از طریق ترانزیستورهای M1 و M5 است و مسیر دیگر انتقال بهره با استفاده از ترانزیستورهای M3 و M4 انجام می‌شود. همچنین از یک طبقه بافر در خروجی استفاده شده است. خازن‌های C1-3 برای جداسازی بایاس DC هستند و VB1، VB2، VB3 و VB4 نیز به ترتیب جهت بایاس ترانزیستورهای M1، M2، M3 و M4 است.

استانداردهای مخابرات بی‌سیم به‌واسطه ظهور کاربردهای جدید و نیاز به ارسال نرخ داده بالا به‌طور مداوم در حال رشد هستند [۱]. تمایل به سمت یکپارچه کردن چندین تابع رو تراشه وجود دارد. بنابراین گیرنده‌هایی که استانداردهای متفاوت را به کار می‌برند مورد نیاز هست. معماری‌های رایج در گیرنده‌ها، تقویت‌کننده پهن باند یا تقویت‌کننده چند باند را مورد استفاده قرار می‌دهند. تقویت‌کننده چند باند از چندین تقویت‌کننده باند باریک که در فرکانس سیگنال ورودی کار می‌کنند تشکیل شده است [۲]. اما ایراد استفاده از تقویت‌کننده‌های چند باند این است که هر طراحی برای یک باند فرکانسی مخصوص باید انجام شود و همچنین مساحت تراشه زیاد، پیچیدگی و هزینه بالا از چالش‌های دیگر این نوع پیاده‌سازی هست. به همین دلیل یک تقویت‌کننده پهن باند برای کاهش هزینه و پیچیدگی ترجیح داده می‌شود [۳].

امروزه تقاضا برای بلوک تقویت‌کننده پهن باند به دلیل سرعت پیشرفت سیستم‌های مخابراتی و سنسورهای بی‌سیم برای اینترنت اشیا افزایش پیدا کرده است. برای فراهم کردن این تقاضا ساختارهای بدون سلف مطالعات وسیعی را در زمینه‌های صنعتی و آموزشی به خودش اختصاص داده است [۴،۵]. چراکه تقویت‌کننده‌های بدون سلف در مقایسه با تقویت‌کننده‌های مرسوم (دارای سلف) فضای کمتری از تراشه را اشغال می‌کند [۶،۷]. هرچند طراحی‌های بدون سلف برای داشتن عملکرد مناسب توان بیشتری را در مقایسه با طراحی‌هایی که از سلف استفاده می‌کنند مصرف می‌کند اما ایجاد مصالحه میان توان و عملکرد (سایر پارامترهای خروجی) به‌ویژه در کاربردهایی مانند تلفن همراه و سنسورهای بی‌سیم یک مسئله مهم تلقی می‌شود [۸]. ایجاد مصالحه میان پارامترهای خروجی در تقویت‌کننده‌ها با چالش‌هایی روبه‌رو هست. چون در طراحی تقویت‌کننده تطبیق امپدانس، بهره، عدد نویز و توان مصرفی با توجه به پیشرفت تکنولوژی هنوز در مواجهه و مصالحه با یکدیگر هستند. پس لازم هست در طراحی تقویت‌کننده یک مصالحه مناسبی بین بهره، عدد نویز، توان مصرفی و تطبیق امپدانس ورودی در نظر گرفته شود [۹].

به همین دلیل طراحی و بهینه‌سازی مدارهای تقویت‌کننده یک مسئله چندهدفه [۱۰،۱۱] هست و این اهداف مانند بهره، تطبیق امپدانس، عدد نویز و توان مصرفی با یکدیگر در تعارض هستند و این سبب می‌شود دستیابی به این هدف‌ها با روش‌های طراحی دستی پیچیده و زمان‌بر باشد و به آسانی نمی‌توان بهترین جواب ممکن را به دست آورد. باید برای رسیدن به این اهداف مصالحه‌ای شایسته میان آن‌ها برقرار شود که با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه این امکان میسر می‌شود [۱۲]. از این جهت طراحی تقویت‌کننده را فرایندی پیچیده و چالش‌برانگیز می‌دانند که با روش‌های طراحی خودکار دیگر به روش‌های دستی و کند نیازی نیست و به راحتی می‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه در طراحی و بهینه‌سازی مدارهایی در مقیاس

## ۲-۳- عدد نویز

به دلیل عملکرد در فرکانس‌های بالا و سادگی محاسبات، از دو منبع نویز حرارتی در گیت و نویز فلیکر  $i$  در تحلیل نویز تقویت‌کننده پیشنهادی صرف‌نظر می‌شود. بنابراین، بیشترین سهم نویز ترانزیستور MOS ناشی از نویز حرارتی کانال است

$$NF \approx 1 + \frac{g_{m5} + g_{m4} + g_{m4}^2 R_3 + g_{m3} R_3^2}{g_{m3} g_{m4} R_3^2} + \frac{g_{m2}}{g_{m1} g_{m4}^2 (1 + g_{m2} R_1^2)} \quad (۶)$$

در رابطه عدد نویز پارامترهای مختلفی تعیین‌کننده نویز مدار پیشنهادی هستند که بعضی از این پارامترها در تعیین بهره تقویت‌کننده نیز مؤثر هستند بنابراین ایجاد یک مصالحه به صورت دستی میان این پارامترها برای رسیدن به نتایج مطلوب بسیار سخت و وقت‌گیر خواهد بود. به همین دلیل در طراحی و بهینه‌سازی مدار باید از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده کرد.

## ۳- الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه

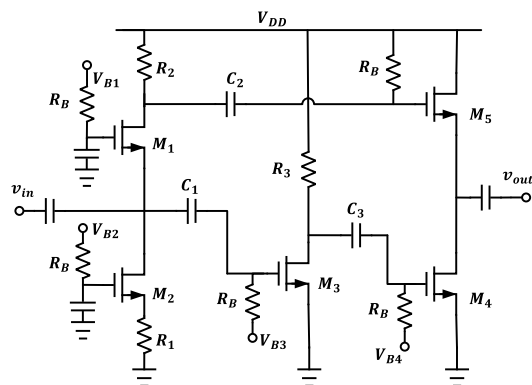
این بخش مفهوم بهینه‌سازی چند هدفه و نسخه چند هدفه الگوریتم‌های مفروض را به اختصار بیان می‌کند. در بهینه‌سازی چند هدفه برخلاف بهینه‌سازی تک هدفه [۱۵] یک پاسخ واحد نمی‌تواند بهترین راه‌حل معرفی شود بنابراین آن‌ها مجموعه از راه‌حل‌ها را پیشنهاد می‌دهند. در مسائل بهینه‌سازی مدارهای الکترونیکی مانند تقویت‌کننده‌ها نیز که بیش از یک تابع هدف را شامل می‌شوند نیاز به الگوریتم‌های چندهدفه هست.

## ۳-۱- الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه ازدحام ذرات

بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است که برای اولین بار توسط کندی و ابرهات ارائه شده است [۱۶]. این روش با تجزیه و تحلیل رفتار طبیعی پرندگان و یا ماهی‌ها برای پیدا کردن غذا به دست آمده است. آن‌ها در تلاش بودند تا با بهره‌گیری از مدل‌های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی نوعی هوش محاسباتی پدید آورند که به توانایی‌های فردی ویژه‌ای نیازمند نباشد. برای بسیاری از مسائل و مشکلات دنیای واقعی، در نظر گرفتن تمام جوانب در شرایط هدف واحد بسیار دشوار است. لذا به نظر می‌رسد استفاده از یک فرم چند هدفه برای مدل‌سازی با توجه به معیارهای متضاد، ایده بسیار بهتری خواهد بود [۱۷]. کوئلو<sup>۱</sup> برای اولین بار رویکرد حل MOPSO را ارائه نموده است که در آن، الگوریتم PSO از آرشیو خارجی ذرات استفاده می‌کند. این آرشیو بعداً توسط ذرات دیگر برای هدایت روند جستجو مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۸]. نسخه چند هدفه الگوریتم PSO در مرجع [۱۹] توسعه داده شده و در مسائل کاربردی مورد استفاده قرار گرفته است.

روند شبه کد MOPSO به صورت زیر است:

مرحله اول- ایجاد جمعیت اولیه و مقداردهی پارامترها



شکل ۱- مدار تقویت‌کننده پیشنهادی

## ۲-۱- تطبیق امپدانس ورودی

با انجام تحلیل سیگنال کوچک و با صرف‌نظر از خازن  $C_{gd}$  ترانزیستورها، امپدانس ورودی ( $Z_{in}$ ) به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود و در این رابطه پارامتر  $Z_S$ ، توسط روابط (۲) مشخص می‌گردد.

$$Z_{in} = \frac{1}{C_{gs1}s} \parallel \left( \frac{R_2 + r_o}{1 + g_{m1}r_o} \right) \parallel Z_S \quad (۱)$$

$$Z_S = \left( r_o + 1 + g_{m1}r_o \left( R_2 \parallel \frac{1}{C_{gs2}s} \right) \right) \quad (۲)$$

روابط (۱) و (۲) نشان می‌دهد که برای فراهم کردن تطبیق امپدانس در ورودی و در پهنای بلند موردنظر باید پارامترهای مختلفی را مدنظر قرار دهیم و به همین دلیل طراحی دستی می‌تواند دشوار و کند باشد این در حالی هست که از خازن  $C_{gd}$  ترانزیستورها نیز برای سادگی در محاسبات صرف‌نظر کرده‌ایم.

## ۲-۲- بهره و پهنای باند

در ساختار تقویت‌کننده پیشنهادی سیگنال از دو مسیر مختلف تقویت شده و به خروجی منتقل می‌شود که با صرف‌نظر از ظرفیت‌های خازنی  $C_{gd}$ ، پاسخ فرکانسی بهره (AV) با روابط زیر بیان می‌گردد.

$$A_V = A_{V1} + A_{V2} \quad (۳)$$

$$A_{V1} \cong g_{m1} R_2 \left( \frac{r_o C_{gs5}s + g_{m5} r_o + 1}{R_2 + r_o C_{gs5}s + g_{m5} r_o + 1} \right) \quad (۴)$$

$$A_{V2} \cong \frac{g_{m3} g_{m4} R_3 r_o}{1 + R_3 C_{gs4}s} \quad (۵)$$

در روابط بالا  $\Gamma_{o4}$  به صورت  $\Gamma_{o4} \parallel \Gamma_{o5}$  تعریف می‌گردد و قطب‌های تعیین‌کننده پهنای باند تقویت‌کننده  $\omega_{H2} = 1/R_2 C_{gs5}$  و  $\omega_{H1} = (1 + g_{m5} \Gamma_{o4}) / (R_2 + r_o) C_{gs5}$  هستند. بنابراین مشخص می‌شود که بهره و پهنای باند مدار نیز تابع المان‌های مختلفی از مدار هست که نیاز به طراحی مقادیر این المان‌ها به صورت دقیق احساس می‌شود. به همین دلیل کاربرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری چندهدفه برای یافتن بهترین جواب ممکن در کمترین زمان بیشتر نمایان می‌گردد.

مرحله دوم- محاسبه تابع برازندگی برای هر ذره

مرحله سوم- جدا کردن اعضای نامطلوب جمعیت و ذخیره کردن آنها در مخزن

مرحله چهارم- تا زمانی که شرط تکرار برقرار است

مرحله پنجم- بهروزرسانی موقعیت هریک از ذرات با استفاده از روابط (۷) و (۸):

$$V_i(t+1) = W \times V_i(t) + C_1 r_1 (X_b - X_i(t)) + C_2 r_2 (X_g - X_i(t)) \quad (7)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (8)$$

در روابط بالا  $V_i(t+1)$  سرعت ذره  $i$  در تکرار  $t+1$  هست و  $X_i(t+1)$  موقعیت ذره  $i$  در تکرار  $t+1$  هست. همچنین  $X_b$  بهترین تجربه شخصی هر ذره و  $X_g$  بهترین ذره در بین تمام ذرات هست.  $W$ ،  $C_1$  و  $C_2$  پارامترهای کنترلی الگوریتم هستند و  $r_1$  و  $r_2$  اعداد تصادفی هستند.

مرحله ششم- بهروزرسانی بهترین خاطره هریک از ذرات

مرحله هفتم- انتخاب یک رهبر از میان مخزن برای هر ذره

مرحله هشتم- اعضای نامطلوب جمعیت فعلی به مخزن اضافه می شود  
مرحله نهم- در صورتی که شرایط خاتمه الگوریتم محقق نشده است به مرحله چهارم بازگردد و در غیر این صورت الگوریتم پایان می پذیرد.

### ۳-۲- الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه صفحات شیب دار

مظفری و همکاران [۲۰] الگوریتم بهینه‌سازی صفحات شیب‌دار را معرفی کرده‌اند این الگوریتم الهام گرفته از حرکت اجسام کروی روی سطح شیب‌دار بدون اصطکاک هست [۲۱]. روند شبه کد MOIPO به صورت زیر هست

مرحله اول- تعیین جمعیت اولیه و مقداردهی پارامترها

مرحله دوم- محاسبه تابع برازندگی برای هر عامل جستجو

مرحله سوم- تا زمانی که شرط تکرار برقرار است

مرحله چهارم- بهروزرسانی روابط  $K_1$  و  $K_2$  مطابق روابط (۹) و (۱۰):

$$K_1(t) = \frac{C_1}{1 + \exp(t - \text{shift}1) \times \text{scale}1} \quad (9)$$

$$K_2(t) = \frac{C_2}{1 + \exp(t - \text{shift}2) \times \text{scale}2} \quad (10)$$

در روابط بالا  $C_1$ ،  $C_2$ ،  $\text{shift}1$ ،  $\text{shift}2$ ،  $\text{scale}1$  و  $\text{scale}2$  مقدارهای ثابتی هستند که به صورت تجربی تعیین می گردند.

مرحله پنجم- محاسبه شتاب توسط روابط (۱۱) و (۱۲):

$$a_{ij}^d(t) = \sum U f_j(t) - f_i(t) \times \sin \varphi_{ij}^d \quad (11)$$

$$\varphi_{ij}^d = \tan^{-1} \left( \frac{f_j(t) - f_i(t)}{X_j^d - X_i^d} \right) \quad (12)$$

در روابط بالا  $a_i^d$  شتاب توپ  $i$  در بعد  $d$  هست و  $\phi_{ij}^d$  زاویه بین توپ  $i$  و توپ  $j$  در بعد  $d$  هست همچنین  $f_i$  مقدار تابع هدف است (ارتفاع برای توپ  $i$ )

مرحله ششم- محاسبه سرعت طبق رابطه (۱۳):

$$V_i^d(t) = \frac{X_{best}^d(t) - X_i^d(t)}{\Delta t} \quad (13)$$

در روابط بالا  $V_i^d$  سرعت توپ  $i$  در بعد  $d$  و  $X_{best}^d$  بهترین توپ با کمترین ارتفاع در کل تکرارها هست.

مرحله هفتم- بهروزرسانی موقعیت هر یک از توپ‌ها به وسیله رابطه (۱۴):

$$X_i^d(t+1) = K_1 \times \text{rand}1 \times a_i^d(t) \times \Delta t^2 \quad (14)$$

$$+ K_2 \times \text{rand}2 \times V_i^d(t) \times \Delta t + X_i^d(t)$$

مرحله نهم- محاسبه تابع برازندگی برای هر عامل جستجو

مرحله دهم- بهروزرسانی محتویات مخزن

مرحله یازدهم- بازگشت به ابتدای مرحله سوم

مرحله دوازدهم- بازگرداندن مخزن به عنوان پاسخ نهایی و بهینه

### ۳-۳- الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه شیر مورچه

میر جلیلی الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه (ALO) را در سال ۲۰۱۵ با الهام از مکانیسم شکار شیر مورچه در طبیعت ارائه کرده است. سازوکار

اجرائی MOALO به صورت زیر است [۲۲، ۲۳]

مرحله اول- تعیین جمعیت مورچه‌ها و شیر مورچه‌ها

مرحله دوم- تا زمانی که شرط تکرار برقرار باشد

مرحله سوم- انتخاب یک شیر مورچه تصادفی از مخزن

مرحله چهارم- انتخاب نخبه با مکانیزم چرخ گردان از مخزن

مرحله پنجم بهروزرسانی روابط  $c$  و  $d$  با روابط (۱۵) و (۱۶):

$$C^t = \frac{C^t}{I} \quad (15)$$

$$d^t = \frac{d^t}{I} \quad (16)$$

در روابط (۱۵) و (۱۶)  $C_t$  کمترین مقدار در بین تمامی متغیرها در تکرار  $t$ ام و  $d_t$  نشان دهنده برداری شامل بیشینه تمام متغیرها در تکرار  $t$ ام است همچنین  $I$  یک نسبت محاسبه شده است که مطابق رابطه (۱۷) به دست می آید:

$$I = 1 + 10^w \times \left( \frac{t}{T} \right) \quad (17)$$

ثابت  $w$  به تعداد تکرار بستگی داشته و سطح بهره‌وری به وسیله آن تنظیم می شود

مرحله ششم- ایجاد یک پیاده‌روی تصادفی و نرمال سازی آن

مرحله هفتم- بهروزرسانی موقعیت مورچه توسط رابطه (۱۸):

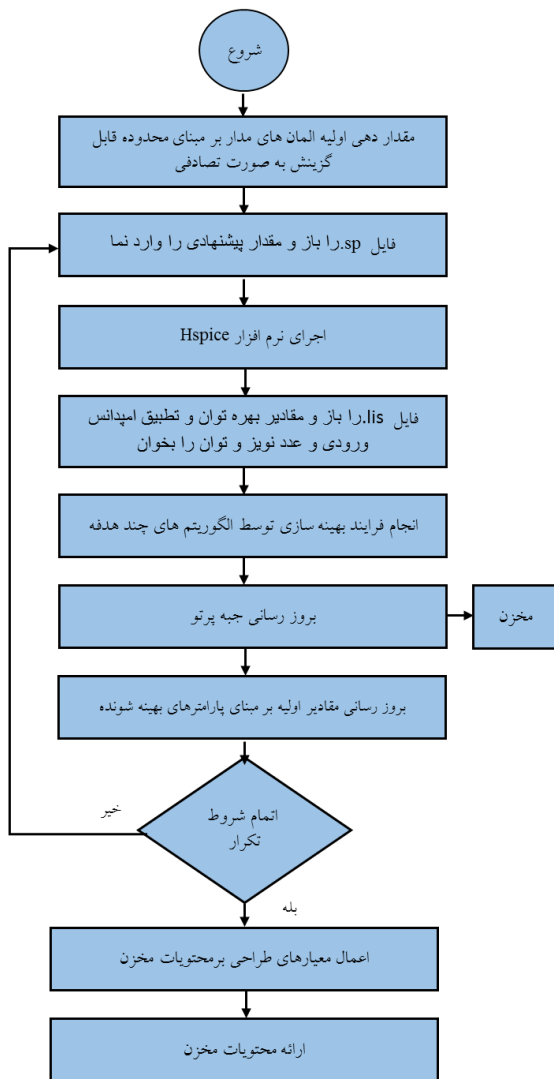
$$X_i^t = \frac{X_i^t - a_i - d_i - C_i^t}{d_i^t - a_i} + C_i \quad (18)$$

مرحله هشتم- محاسبه تابع برازندگی برای همه مورچه‌ها

لینک بین نرم افزار matlab و hspice در نمودار شکل (۲) خلاصه شده است مقدار تکرار ۲۰ و ابعاد مخزن ۲۰ و تعداد جمعیت ۴۰ است.

جدول ۱- مقدار پارامترهای کنترلی الگوریتمها

الگوریتم پارامترها	MOPSO	MOIPO	MOALN
C <sub>1</sub>	۲	۱	
C <sub>2</sub>	۲	۲	
W	۱		
Wdamp	۰/۹		
shift1		۱۵	
Shift2		۲۰	
scale1		۰/۵	
scale1		۰/۶	
C			55
d			۶۵
10 <sup>w</sup>			۵۰۰۰



شکل ۲- نمای کلی ابزار پیشنهادی

مرحله نهم- به روز رسانی مخزن  
مرحله دهم- در صورت پر شدن مخزن حذف تعدادی از پاسخها با مکانیسم چرخ گردان و رابطه (۱۹) به منظور جایگزینی پاسخها جدید:

$$P_i = \frac{N_i}{C} \quad (19)$$

به گونه ای که در رابطه (۱۹) C یک ثابت بزرگتر از یک و Ni تعداد پاسخهای مجاور پاسخ Am است.  
مرحله یازدهم- بازگشت به ابتدای مرحله دوم  
مرحله دوازدهم- بازگرداندن مخزن به عنوان پاسخ نهایی و بهینه

#### ۴- بهینه سازی تقویت کننده پیشنهادی توسط الگوریتم های بهینه سازی

اکنون که ساختار مدار مشخص شده قرار است با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی MPPSO، MOIPO و MOALO قرار است مقادیر المان های تقویت کننده به گونه ای طراحی گردد که مقادیر مطلوب برای بهره توان، تطبیق امپدانس ورودی، عدد نویز و توان به دست آید. هنگام استفاده از الگوریتم های بهینه سازی باید به دو مطلب توجه داشت نحوه بیان عوامل جستجو و تابع برازندگی در هر الگوریتم باید به صورت مناسب تعریف گردد

#### ۴-۱- تعریف عوامل جستجو در هر الگوریتم

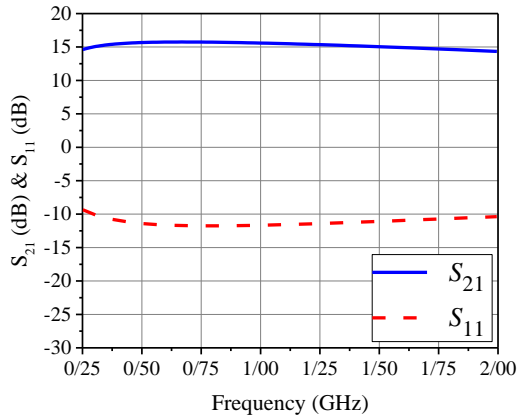
در الگوریتم بهینه سازی ذرات (MPPSO) عوامل جستجو ذرات می باشند که ابعاد هر ذره توسط تعداد متغیرها مشخص می شود. در الگوریتم بهینه سازی صفحات شیب دار (MOIPO) عوامل جستجو توپ های حرکت کننده بر روی سطح بدون اصطکاک می باشند که ابعاد توپها توسط تعداد متغیرها مشخص می شود. در الگوریتم بهینه سازی شیر مورچه (MOALO) عوامل جستجو شیر مورچه ها می باشند که توسط تعداد متغیرها مشخص می شود. در همه این الگوریتم ها نوع و تعداد متغیرها بر اساس تقویت کننده پیشنهادی شامل پهنای ترانزیستورها، مقدار مقاومت ها و ولتاژهای بایاس هستند.

#### ۴-۲- تعریف تابع برازندگی

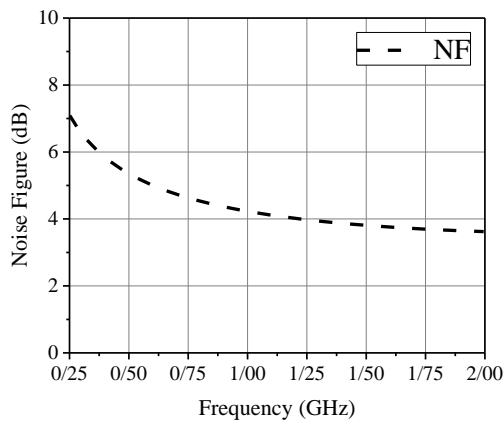
بهینه سازی تقویت کننده پیشنهادی بر خلاف کارهای گزارش شده که تاکنون تنها به بهینه سازی در یک فرکانس پرداخته اند و فقط برای کاربردهای باریک بوده اند اما در این مقاله بهینه سازی یک تقویت کننده برای کاربردهای پهن باند ارائه شده است به همین سبب بهینه سازی در یک باند فرکانسی انجام خواهد شد. تنظیمات کنترلی الگوریتم های مفروض در جدول (۱) نمایش داده شده است. برای الگوریتم MOPSO مقدار ضریب اینرسی W به صورت خطی با ضریب اصطکاک Wdamp متناسب با تعداد گام های الگوریتم کاهش می یابد در الگوریتم MOIPO دو تابع K1 و K2 متناسب با ثابت های C<sub>1</sub>، C<sub>2</sub>، shift1، shift2، scale1، scale2 و تکرار جاری تغییر می کند. در تعریف تابع برازندگی چهار پارامتر بهره توان، تطبیق امپدانس ورودی و عدد نویز و توان مصرفی در نظر گرفته می شود، به گونه ای که رویکرد ما دستیابی به بهترین مصالحه میان این پارامترها و مقداردهی هوشمند المان های مدار هست. روند کار ابزار بهینه سازی چند هدفه با روش های بهینه سازی هوشمند مبتنی بر

### ۵- نتایج شبیه‌سازی

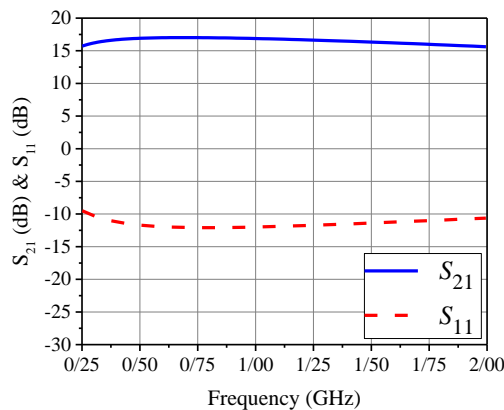
مقادیر پهنای ترانزیستورهای، مقادیر مقاومت‌ها و ولتاژهای بایاس به ازای به‌کارگیری هر کدام از الگوریتم‌ها در جدول (۲) ذکر شده‌اند. نتایج طراحی با استفاده از الگوریتم MOPSO در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است که به ترسیب بهره‌توان و تطبیق امپدانس ورودی و عدد نویز بهینه‌شده را در باند فرکانسی ۰/۲۵ تا ۲/۵ گیگاهرتز نشان می‌دهد.



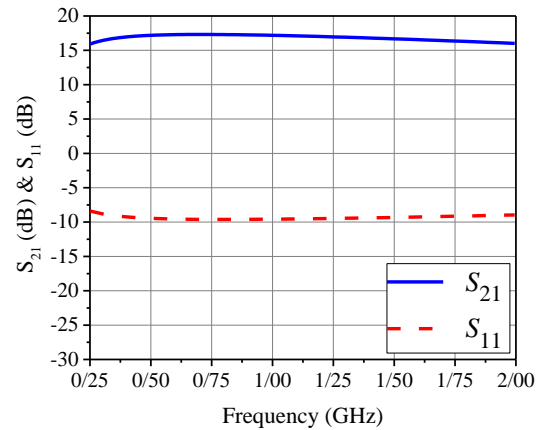
شکل ۵-  $S_{21}$  و  $S_{11}$  با استفاده از الگوریتم MOIPO



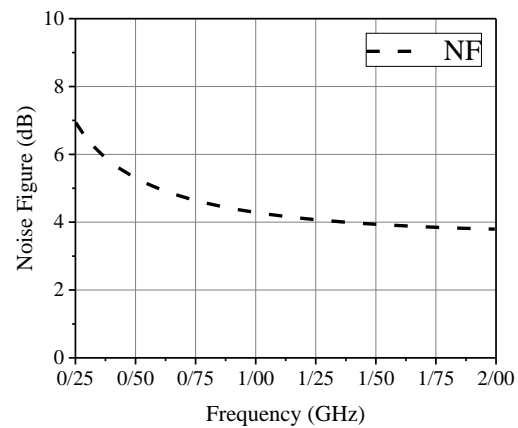
شکل ۶- عدد نویز با استفاده از الگوریتم MOIPO



شکل ۷-  $S_{21}$  و  $S_{11}$  با استفاده از الگوریتم MOALO



شکل ۳-  $S_{21}$  و  $S_{11}$  با استفاده از الگوریتم MOPSO



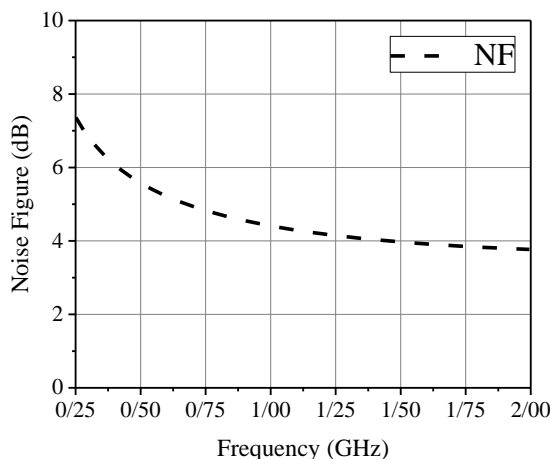
شکل ۴- عدد نویز با استفاده از الگوریتم MOPSO

نتایج حاصل از طراحی با استفاده از الگوریتم MOIPO در شکل‌های ۵ و ۶ و همچنین نتایج حاصل از بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم MOALO در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است.

جدول ۲- مقادیر المان‌های مدار تقویت‌کننده پیشنهادی به ازای به‌کارگیری هر کدام از الگوریتم‌های مفروض

المان مدار الگوریتم	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$V_{B1}$	$V_{B2}$	$V_{B3}$	$V_{B4}$
MOPSO	۱۰۱/۴	۶۰/۲۵	۱۲۰	۳۷/۹	۴۷/۵	۲۴۸/۷۴	۵۳۸/۳۳	۲۵۰	۱/۲	۱/۱	۰/۶۳	۰/۶۸
MOIPO	۱۱۸/۲۴	۳۷/۲۵	۱۵۱/۸	۳۵/۴	۶۰	۲۵۳/۹۳	۵۱۹/۴۷	۳۴۸/۲۹	۱/۱	۱/۱۵	۰/۶۷	۰/۷۱
MOALO	۱۳۱/۵۲	۳۹/۲۳	۱۴۰/۵۷	۴۷/۹	۶۳/۵	۲۵۳/۵	۵۳۶/۸۹	۳۳۵/۵۳	۱/۳۲	۱/۱	۰/۶۱	۰/۶۶

فرا ابتکاری چند هدفه ارائه شده در حوزه باند باریک (فرکانس میانی) است اما طرح ارائه شده در این مقاله در پهنای باند مورد نظر انجام شده است. مجموعه جواب‌های حاصل از این روش‌ها دارای کیفیت و تنوع بیشتری بوده و از نظر زمان مورد نیاز طراحی نیز این روش‌ها خیلی سریع‌تر از روش‌های طراحی دستی هستند. در روش‌های محاسبه دستی برای رسیدن به جواب مطلوب نیاز به سعی و خطای زیاد است که زمان‌بر است چراکه تقابل بین پارامترهای خروجی زیاد است، به طوری که بهبود یک پارامتر باعث تضعیف پارامتر دیگر می‌شود. از طرف دیگر در محاسبات دستی طراح مطمئن نیست که جواب به دست آمده بهترین جواب ممکن باشد در حالی که در این روش‌ها تا حد زیادی این اطمینان وجود دارد که جواب به دست آمده بهترین جواب ممکن است.



شکل ۸- عدد نویز با استفاده از الگوریتم MOALO

## مراجع

- [1] S. Arshad, R. Ramzan, K. Muhammad and Q. Wahab, "A sub-10mW, noise cancelling, wideband LNA for UWB applications", *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 69, No. 1, pp. 109-118, 2015.
- [2] Y. Hwang, S. Wang and J. Chen, "A differential multi-band CMOS low noise amplifier with noise cancellation and interference rejection", *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 64, No. 10, pp. 897-903, 2010.
- [3] Z. Zhang, A. Dinh and L. Chen, "A 0.1–8 GHz wideband low-noise amplifier exploiting gain-enhanced noise-cancelling technique", *IEICE Electronics Express*, Vol. 13, No. 2, pp. 1-10, 2016.
- [4] J. Kim, J. S.-Martinez, "Low-power, low-cost CMOS direct-conversion receiver front-end for multistandard applications", *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol. 48, No. 9, pp. 2090–2103, Sept 2013.
- [5] M.-T. Lai and H.-W. Tsao, "Ultra-low-power cascaded CMOS LNA with positive feedback and bias optimization", *IEEE Trans Microw Theory Techn*, Vol. 61, No. 5, pp. 1934–1945, May 2013.
- [6] M. Parvi.zi, K. Allidina and M. El-Gamal, "An ultra-Low-power wideband inductorless CMOS LNA with tunable. active shunt-feedback.", *IEEE Trans.Microw.Theory Techn.*, Vol. 64, No. 6, pp. 1843-1853, June 2016.
- [7] E.-A. Sobhy, A.-A. Helmy, S. Hoyos, K. Entesari, E.-S. Sinencio, "A 2.8-mW Sub-2-dB noise-figure inductorless wideband CMOS LNA employing multiple feedback", *IEEE Trans. Microw Theory Techn.*, Vol. 59, No. 12, pp. 3154–3161, Dec 2011.
- [8] M. Anwar, "A novel noise cancelling technique for CMOS low noise amplifier", M.S. thesis, Hyderabad University, Hyderabad, India, 2015.
- [9] F. Belmas, F. Hameau, and J.-M. Fournier, "A low power inductorless LNA with double Gm enhancement in 130 nm CMOS", *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol. 47, No. 5, pp. 1094–1103, May 2012.
- [10] A. Abraham, L. Jain, R. Goldberg, "Evolutionary multi-objective optimization", *Theoretical Advances and Applications*, London, 2005.
- [11] G. horbani and M. Rabbani, "A new multi-objective algorithm for a project selection problem", *Advances in Engineering Software*, Vol. 40, No. 1, pp. 9-14, 2009.
- [12] K. Deb, "Multi-objective optimization", Search methodologies, Boston, pp. 403-449, 2014.
- [13] S. Suviatha and J. Mathana, "A novel automated MOALO algorithm aided RF low-noise amplifier design for wireless applications", *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, Vol. 31, No. 14, May 2018.

## جدول ۳- مقایسه عملکرد تقویت کننده پیشنهاد شده با دیگر

مراجع	تقویت کننده ها			
	[۶]	[۱۳]	[۲۴]	مدار پیشنهادی
پارامترها				
فناوری (μm)	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸
BW(GHz)	۰/۲-۱/۲	۲/۴	۱-۰/۴	۰/۲-۲۵
S <sub>21</sub> (dB)	۱۲/۳	۱۸/۵	۱۶/۴	۱۶/۵
S <sub>11</sub> (dB)	<-۹	<-۱۰	<-۱۰	<-۱۰
NF(dB)	۶	۲	۳/۵	۳/۷
Power(mW)	۰/۴	۴/۱	۱۲/۸	۱۲/۷
V <sub>DD</sub> (V)	۱	۱/۸	۱/۲	۱/۸

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله بعد از ارائه ساختار پیشنهادی تقویت کننده پهن باند بدون سلف با استفاده از لینک دو نرم افزار matlab و hspice طراحی و بهینه سازی پارامترهای مدار انجام می‌شود. مقادیر پهنای ترانزیستورها، مقاومت‌ها و ولتاژهای بایاس باید به نحوی طراحی گردد که مصالحه مطلوبی بین بهره، تطبیق امپدانس ورودی، نویز و توان مصرفی ایجاد گردد.

شبیه سازی در تکنولوژی RF-CMOS ۰/۱۸ μm با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری MOIPO، MOPSO و MOALO انجام شده است. در شبیه سازی از عناصر واقعی با در نظر گرفتن عناصر پارازیتیکی استفاده شده است. برخلاف کارهایی که تاکنون ارائه شده و بر اساس طراحی‌های دستی هستند و امکان در نظر گرفتن مدل مداری دقیق برای ترانزیستورها وجود ندارد اما در این روش از مدل دقیق عناصر استفاده شده و هیچ گونه تقریبی استفاده نشده است. لذا نتایج شبیه سازی به نتایج واقعی بسیار نزدیک خواهد بود. همچنین کارهایی که تا کنون در زمینه طراحی مدار با استفاده از الگوریتم‌های

- [20] M.-H. Mozaffari, H. Abdy, and S.-H. Zahiri, "IPO an inclined planes system optimization algorithm", *Computing & Informatics*, Vol. 35, No. 1, pp.222-240, 2016.
- [21] A Mohanuadi, M. Mohammadi and S.-H. Zahiri, "Design of optimal CMOS ring oscillator using an intelligent optimization tool", *Soft Computing*. Vol. 22, No. 24, pp. 8151-8166, 2017.
- [22] S. Mirjalili, "Ant lion optimizer". *Advances in Engineering Software*, Vo. 183, pp. 80-98, 2015.
- [23] S. Mirjalili, P Jangir and S. Sareoni, "Multi- objective ant lion optimizer: a multi-objective optimization algorithm for solving engineering problems", *Applied Intelligence*, Vol. 46, No. 1, pp. 79-95, 20 17.
- [24] J.-C. Liu, J.-S. Cheu, C. Hsia, P.-Y. Yiu, and C.-W. Lu, "A wideband inductorless single-to-differential LNA in 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS technology for digital TV receive", *IEEE Mierow. Wire/Compon.Lett.*, Vol. 24, No. 7, pp. 472-474, Jul 2014.
- [14] S. Ulker, "Design of low noise microwave amplifiers using particle swarm optimization", *International Journal of Artificial Intelligence & Applications*, Vol. 3, No. 4, pp. 99-106, 2012.
- [15] X.-S. Yang, S. Deb, Y.-X. Zhao and S. Fong, "Swarm intelligence: past, present and future", *Soft Computing*, pp. 1-11, 2018.
- [16] J. Kennedy, R. Eberhart, "Particle swarm optimization", *IN proceedings of IEEE international conference on neural networks*, Vol. 4, No. 2, pp. 1942-1948, 1995.
- [17] R.-T. Marler and J.-S. Arora, "Survey of multi- objective optimization methods for engineering", *Structural and multidisciplinary optimization*, Vol. 26, No. 6, pp. 369-395, 2004.
- [18] C. Coello Coello, M. Lechuga, "MOPSO: A proposal for multiple objective particle swarm optimization", *IEEE*, pp. 1051-1056, 2002.
- [19] M. Reyes-Sierra, C. Coello Coello, "Multi- objective particle swarm optimizers: a survey of the state – of – the – art", *International Journal of Computational Intelligence Research*, Vol. 2, No. 3, pp. 287-308, 2006.