

## شبیه‌سازی آنتن موج نشستی با پترن مجذور کسکانت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

فرنوش حیدری<sup>۱</sup>، زهرا عادل پور<sup>۲\*</sup>، ناصر پرهیزگار<sup>۳</sup>

۱: دانشجوی کارشناسی ارشد/دکتری مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شیراز، ایران، fmsh\_heidari@yahoo.com

۲: \*استاد گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران، adelpour@aut.ac.ir

۳: استاد گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران، nasserpar@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۲۱

### چکیده

دستیابی به الگوی مجذور کسکانت، چالشی در حوزه‌ی کاربرد سیستم‌های رادار جستجوگر هوایی است که در آن خصوصیات تابشی آنتن، قواعد قابل توجهی را در جستجوی هدف دنبال می‌کند. از آنجایی که تا کنون کمتر مطالعاتی بر روی دستیابی به الگوی مربع کسکانت در آنتن‌های موج نشستی انجام شده است در این مقاله نویسندگان روشی جهت سنتز الگوی مذکور با روش بهینه‌سازی و با استفاده از آنتن‌های موج نشستی ارائه می‌دهند. جهت دستیابی به این الگو آنتن به بخش‌هایی تقسیم می‌گردد که هر بخش دارای طول، دوره تناوب و نرخ نشت معینی است. طول هر بخش با در نظر گرفتن سمتگرایی یکسان جهت بخش‌ها تعیین می‌گردد و به دنبال طرح‌بندی مناسب برای زاویه بیم هر بخش، دوره تناوب آن بخش به دست می‌آید. موضوع اصلی تعیین مقادیر نرخ نشت هر بخش از آنتن است که در روش پیشنهادی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک قابل دستیابی خواهد بود. در نهایت با تعریف یک تابع هزینه مناسب این مقادیر نهایی شده و معین می‌گردند. روش پیشنهادی با استفاده از یک موج‌بر مجتمع شده بر پایه زیرلایه شرح داده، نمونه‌ای از این آنتن شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی بیانگر این است که روش پیشنهادی نمایه مورد نظر را با ریبیل کمتر از ۲dB در ناحیه مشخص شده و گلبرگ‌های کناری کمتر از -۱۸dB به دست می‌آورد که آنتن را برای سیستم‌های رادار جستجوگر هوایی مناسب می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: آنتن موج نشستی، مجذور کسکانت، سطح گلبرگ‌های کناری، موج‌بر مجتمع شده زیرلایه، نرخ نشت.

### ۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر آنتن‌های موج نشستی به دلیل بهره بالا، ساختار و شبکه تغذیه ساده و قابلیت اسکن فرکانس و سادگی ساختار آنها را برای کاربردهای ریزموج و باندهای فرکانسی میلیمتری مناسب می‌سازد از این رو نظرات زیادی را به خود جلب کرده است [۱-۳]. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با کنترل ثابت نشت و ثابت فاز در طول ساختار آنتن‌های موج نشستی می‌توان به سنتز الگوهای تشعشی مورد نظر دست یافت [۴-۱۰]. در این راستا تکنولوژی موج‌بر مجتمع زیرلایه نیز به دلیل مزایای مقطع عرضی کم و قابلیت مجتمع شدن آسان با مدارات مسطح پیشنهاد می‌شود [۱۱-۱۹] که برخی مطالعات بر روی کاهش SLL و برخی جهت کاهش قطبش متعامد و تعدادی نیز جهت یافتن بیم‌های شکیل مورد نظر انجام گرفته است [۲۰-۲۵].

معمولاً آنتن‌ها با الگوهای تشعشی مربوطه برای پوشش فضایی محدود مورد استفاده قرار می‌گیرند و همان‌طور که مشخص است پوشش موج در فضا به سرعت تضعیف می‌گردد، بنابراین چنانچه به پوشش موج یکنواخت بدون در نظر گرفتن فاصله از آنتن نیاز باشد طراحی آنتنی با نمایه تشعشی مربع کسکانت مورد نیاز خواهد بود [۲۶، ۲۷].

در این مقاله روشی جهت سنتز الگوی مجذور کسکانت با استفاده از آنتن موج نشستی متناوب بر مبنای موج‌بر زیرلایه ارائه شده است که در آن آنتن به بخش‌هایی تقسیم شده که هر کدام از بخش‌ها ثابت فاز و نرخ نشت معینی را جهت دستیابی به الگوی

موردنظر دارا هستند. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که الگوی هدف دارای ریبیل‌های کوچک‌تر از ۲dB و با سطح گلبرگ‌های کناری پایین‌تر از ۱۸dB است که این نوع آنتن را برای سیستم‌های رادار مراقبتی هوایی نیز مناسب می‌سازد.

## ۲- تئوری مود موج نشتی

عملکرد آنتن موج نشتی بر اساس تضعیف موج از طریق نشت توان و تشعشع هم‌زمان در طول ساختار است. ویژگی‌هایی از قبیل سادگی ساختار، ظرفیت توان بالا و اسکن پرتو با تغییر فرکانس، آنتن‌ها را برای کاربردهای راداری مناسب می‌سازد. یک آنتن موج نشتی متناوب از ساختار تشعشعی متناوب تشکیل شده است که در آن مد بنیادی موج آهسته است و براین‌اساس تابش نمی‌کند. با این حال، ماهیت متناوب این نوع آنتن منجر به تحریک حالت‌های فلوکه می‌شود. در نتیجه، با طراحی مناسب، یکی از این هارمونی‌ها (معمولاً  $n=-1$ ) یک موج سریع خواهد بود. ثابت فاز این حالت به صورت زیر تعیین می‌شود [۲]:

$$\beta_{-1} = \beta_0 - \frac{\pi}{c} \quad (1)$$

که در آن  $c$  نصف دوره تناوب و  $\beta_0$  ثابت فاز مد بنیادی موج بر است. برای نرخ نشت ناچیز  $\alpha$ ، زاویه بیم با رابطه (۲) مشخص می‌گردد [۲]:

$$\cos \theta_0 = \frac{\beta - 1}{k_0} \quad (2)$$

که در آن  $k_0$  عدد موج فضای آزاد است. عرض پرتو برای دستیابی به بازده ۹۰٪ از رابطه (۳) به دست می‌آید [۱۶]:

$$\Delta \theta \cong \frac{1}{\frac{L}{\lambda_0} \cos(\theta_m)} \quad (3)$$

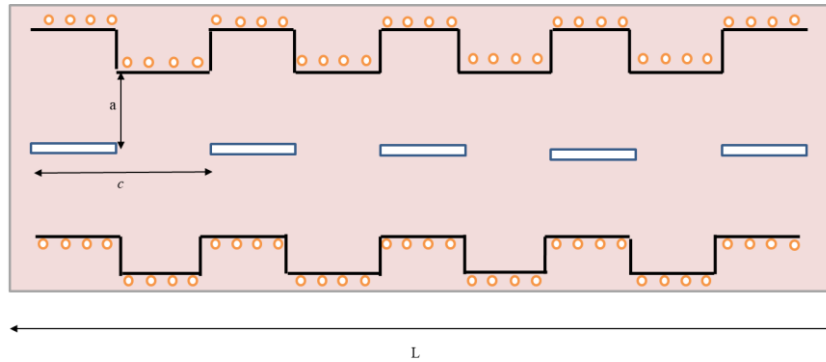
که  $L$  بیانگر طول ساختار است.

تا هنگامی که شکل ساختار در مسیر طولی ثابت بماند، میزان نشت در طول ساختار ثابت می‌ماند و تغییرات دامنه به صورت نمایی [۱۹] بوده که در نتیجه الگوی تابشی و به صورت بیم نمایی خواهد داشت. برای دستیابی به الگوی موردنظر، ثابت نشت در طول ساختار می‌بایست کنترل شود که این با تحریک مناسب شکاف‌ها قابل حصول است. در بخش بعد، روش پیشنهاد شده جهت دستیابی به الگوی مجذور کسکانت با استفاده از آنتن موج نشتی بر پایه موج‌بر مجتمع شده بر زیرلایه شرح داده می‌شود.

## ۳- روش پیشنهادی جهت دستیابی به الگوی مجذور کسکانت با استفاده از آنتن موج نشتی بر پایه موج‌بر زیرلایه<sup>۱</sup>

در شکل ۲ بخشی از ساختار پیشنهادی آنتن موج نشتی بر پایه موج‌بر زیرلایه نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود شکاف‌ها روی خط مرکزی موج‌بر قرار داده شده‌اند و جهت تحریک آنها دیواره موج‌بر در فواصل یکسان  $a$  نسبت به خط مرکزی تعبیه شده است. آنتن شامل ۳ بخش است که بخش‌ها دارای طول  $L_i$  و دوره تناوب  $c_i$ ،  $i=(1,2,3)$  هستند. طول هر بخش باتوجه به عرض بیم آن بخش و از رابطه ۳ تعیین می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است تناوب شکاف‌ها تعیین‌کننده زاویه بیم هر بخش و فاصله شکاف‌ها از دیواره موج‌بر در هر بخش تعیین‌کننده می‌زنان نشت ( $\alpha_i$ ) آن بخش است. برای اینکه نمایه تشعشعی ساختار به صورت مجذور کسکانت به دست آید دو پارامتر  $a$  و  $c$  برای هر بخش طوری تعیین شود که زاویه بیم بخش‌ها نمایه مجذور کسکانت را دنبال کنند.

<sup>۱</sup> Substrated Integrated Wave Guid-Leaky Wave Antenna



شکل ۱: نمای یک بخش از ساختار SIW\_LWA پیشنهادی برای دستیابی به الگوی مجذور کسکانت

روش پیشنهادی برای به‌دست‌آوردن الگوی مجذور کسکانت و در فرکانس طراحی ۱۰GHz این است که عرض بیم همه قسمت‌ها طوری تعیین گردد که همه بیم‌ها به طور مناسب در ناحیه مجذور کسکانت واقع شوند. با توجه به در نظر گرفتن زاویه بیم هر بخش به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه با استفاده از روابط ۱ تا ۳ و در نظر گرفتن عرض بیم یکسان جهت تک‌تک بخش‌ها، دوره تناوب و طول هر بخش تعیین می‌گردد و مقادیر  $a$  در فرایند بهینه‌سازی معین می‌شوند. طول هر بخش طوری تعیین می‌گردد که بیم بخش‌ها دارای مقدار سمت‌گرایی یکسان باشند. با توجه به طول به‌دست‌آمده هر بخش و طول تعیین شده جهت شکاف‌ها و دوره تناوب حاصل، تعداد شکاف‌ها در هر بخش تعیین می‌گردد. همان‌طور که در قبل اشاره شد پارامتر  $a$  در هر بخش تعیین‌کننده‌ی نرخ نشت ( $\alpha_i$ ) آن بخش است که با فرایند بهینه‌سازی تعیین می‌گردند.

از آنجایی که الگوریتم ژنتیک جزء شناخته‌شده‌ترین روش‌های بهینه‌سازی هوشمند و الگوریتمی تکاملی است و کاربردهای فراوانی در رشته‌های مختلف علمی و مهندسی دارد، لذا در این مقاله برای بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک بکار گرفته شده است. در حین بهینه‌سازی، مقادیر میزان نشت به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که الگوی موردنظر به دست آید. فرض کنید از محدوده‌ی موردنظر به تعداد  $M$  نقطه نمونه‌برداری شده است، بهینه‌سازی بر روی این نمونه‌ها انجام می‌گردد. فاصله بین نمونه‌ها ۱ درجه در نظر گرفته شده است. میدان هر بخش در هر نمونه یعنی  $E_i(\theta)$  باید محاسبه شود. این را می‌توان با انجام شبیه‌سازی به دست آورد.

میدان دور حاصله از ۳ بخش آنتن در  $m$ مین نمونه را می‌توان با استفاده از رابطه (۴) محاسبه نمود:

$$\bar{E}(\theta) = \sum_{i=1}^3 A_i \bar{E}_i(\theta) \quad (4)$$

تابع هزینه  $F(X)$  با رابطه (۵) مشخص می‌گردد:

$$F(X) = RMSE(E(\theta), E_d(\theta)) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (E(\theta_m) - E_d(\theta_m))^2} \quad (5)$$

که در آن:

$$X = [A_1, A_2, A_3, a_1, a_2, a_3] \quad (6)$$

تابع هزینه جهت دستیابی به میزان خطایی که از پیش تعیین شده است تخمین زده می‌شود. نکته قابل‌توجه این است که رابطه ۵ به‌وسیله هر الگوریتم جستجوی تصادفی می‌تواند به حداقل برسد.

#### ۴- شبیه‌سازی و نتایج

در این بخش مطابق با طرح پیشنهادی آنتن موج نشستی طراحی و شبیه‌سازی شده است. با در نظر گرفتن هر بخش آنتن SIW با زیرلایه RO4003، ضریب دی‌الکتریک ۳/۳۵ و ارتفاع ۰/۸ میلی‌متر و طول و عرض اسلات‌ها به ترتیب ۹mm و ۱mm در نهایت مجموعه‌ای از SIW\_LWA شبیه‌سازی می‌شود [۱۶] که هر کدام بخشی از ساختار پیشنهادی هستند. همان‌طور که در بخش قبل گفته شد با در نظر گرفتن زاویه بیم هر بخش به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه با استفاده از روابط ۱ و ۲

دوره تناوب هر بخش و یا فاصله شکافها مطابق با جدول ۱ در هر بخش به دست می آید. با استفاده از رابطه ۳ و در نظر گرفتن عرض بیم یکسان جهت تک تک بخشها، طول هر بخش نیز تعیین می گردد و در ادامه می توان تعداد شکافها را در هر بخش مشخص نمود. نتایج در جدول ۱ درج شده است.

جدول شماره ۱: فاصله و تعداد شکافها در هر بخش، طول هر بخش

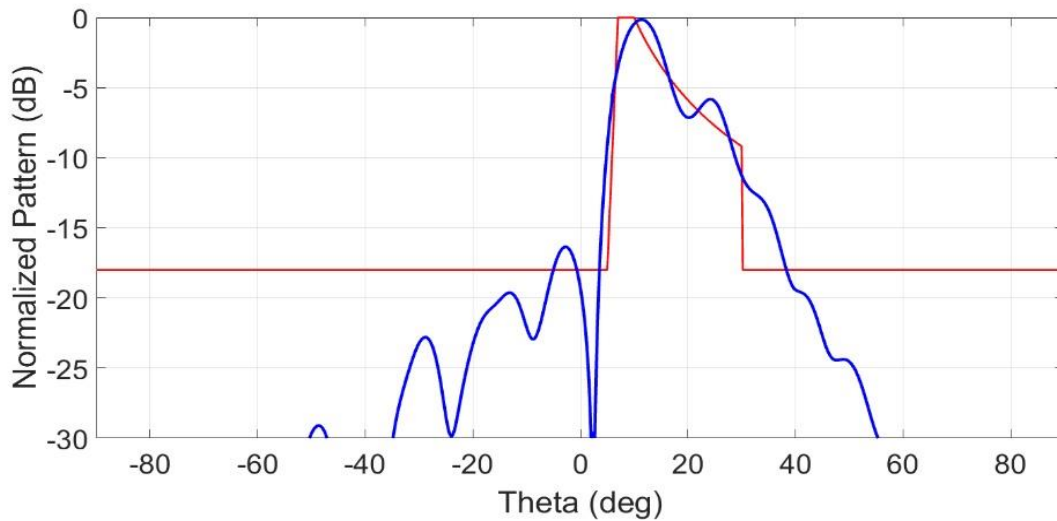
| $i$          | ۱     | ۲  | ۳   |
|--------------|-------|----|-----|
| $c_i$ (mm)   | ۱۱/۲  | ۱۲ | ۱۳  |
| تعداد شکافها | ۱۰    | ۸  | ۸   |
| $l_i$ (mm)   | ۱۱۴/۱ | ۹۳ | ۱۰۵ |

حال با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک میزان نشت و پارامتر  $a$  در هر بخش تعیین می گردد. پارامترهای بهینه سازی در این الگوریتم شامل تعداد نسل یا تعداد تکرار است که به طور پیش فرض عدد ۵۰۰ انتخاب می شود لازم است تعداد نسل عدد بزرگی باشد که همگرایی تضمین گردد. اندازه ی جمعیت، تعداد نقاط و یا تعداد بردار متغیر در نظر گرفته شده برای شروع مسئله هست [۲۸]. تعیین این مقدار بین مدت زمان و دقت بهینه سازی تعادل ایجاد می کند. جهت این پارامتر عدد ۲۰۰ انتخاب شده است. حد هزینه، در تعیین درستی حل مسئله تابع هزینه معرفی می گردد. این تابع در حالت ایده آل می بایست صفر شود؛ لذا حداقل مقدار در نظر گرفته شده جهت این پارامتر به طور معمول  $10^{-6}$  است. دقت تکرار، زمانی که اختلاف نتایج حاصل از مرحله  $i$  ام و  $i-1$  ام به میزان دقت تکرار یعنی  $10^{-12}$  شود حل مسئله به اتمام می رسد. در مسئله مطرح شده، ورودی الگوریتم دامنه و فاز میدان الکتریکی بخشها و خروجی میزان نشت و فواصل شکافها تا دیواره موجبر در هر بخش است که منجر به دستیابی به الگوی مورد نظر می گردد. کروموزوم  $X$  خروجی الگوریتم است که به عنوان پارامتر متغیر محسوب می شود. با به روز رسانی مقدار کروموزوم تعریف شده در رابطه ۶، تابع هزینه رابطه ۵ برای رسیدن به خطای  $10^{-6}$  که از قبل معین شده تخمین زده می شود. نتایج حاصل از این بهینه سازی در جدول ۲ آورده شده است.

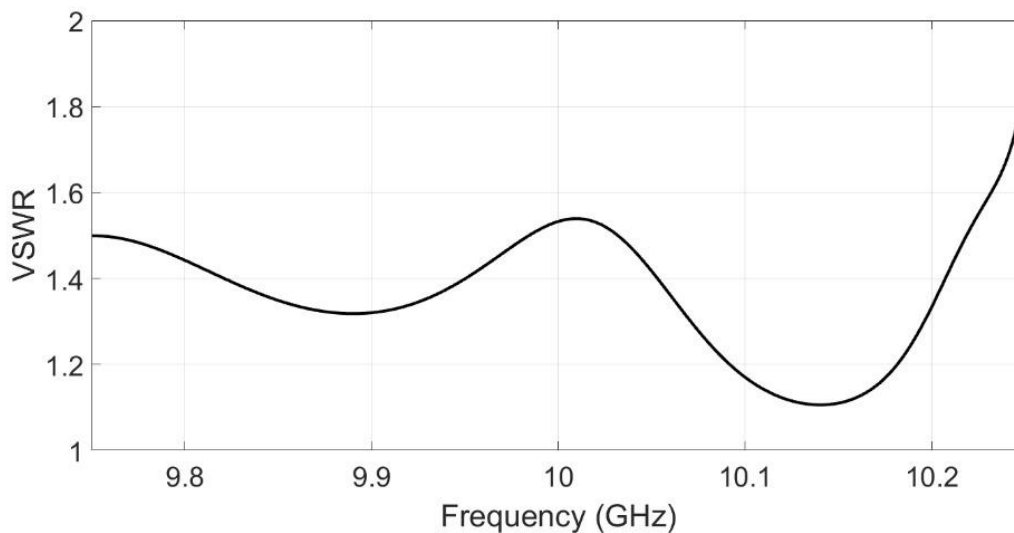
جدول شماره ۲: میزان نشت در هر بخش

| $i$             | ۱   | ۲   | ۳   |
|-----------------|-----|-----|-----|
| $\alpha_i$ (mm) | ۳/۳ | ۱/۹ | ۱/۶ |
| $a_i$ (mm)      | ۴   | ۵/۳ | ۵/۹ |

شکل ۲ و ۳ الگوی تشعشعی و نسبت موج ایستاده ولتاژ در شبیه سازی با روش سنتز پیشنهادی را نشان می دهد. باتوجه به شکل ۲، می توان گفت که الگوی مجذور کسکانت در ناحیه زاویه ای مورد نظر با تقریب قابل قبولی به دست آمده است. موجدار شدن در ناحیه شکل کمتر از ۲dB هست. خارج از ناحیه، گلبرگهای کناری تقریباً زیر ۱۸dB قرار دارند که این موضوع آنتن را برای استفاده در سیستمهای رادار جستجوگر هوایی و همچنین برای پوشش منطقه ای یکسان در نقاط هم ارتفاع مناسب می سازد.

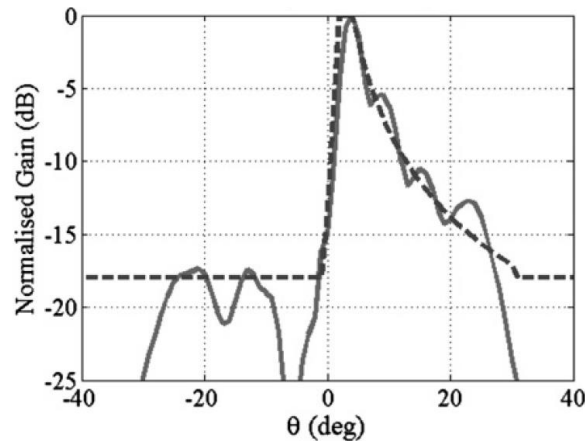


شکل ۲: الگوی تشعشی در شبیه‌سازی آنتن موج نشستی بر مبنای موج بر مجتمع شده بر زیرلایه



شکل ۳: نسبت موج ایستاده ولتاژ در شبیه‌سازی آنتن موج نشستی بر مبنای موج بر مجتمع شده بر زیرلایه

شکل ۴ پترن مجذور کسکانت بدست آمده از آنتن رفلکتوری را نشان می‌دهد. طرح پیشنهادی به دلیل ساختار ساده در مقایسه با آنتن رفلکتوری، ساختی آسان و ارزان داشته و همچنین به دلیل سطح مقطع کوچک، مزیت مجتمع سازی آسان با مدارهای مسطح را دارا است. و این در حالیست که آنتن رفلکتوری به دلیل حجم بزرگتر از ساختار پیشنهادی در این مقاله جهت بسیاری از مکان‌ها مناسب نیست.



شکل ۴: نسبت موج ایستاده ولتاژ در شبیه‌سازی آنتن موج نشستی بر مبنای موج‌بر مجتمع شده بر زیرلایه [۲۹]

## ۵- نتیجه‌گیری

یک روش سنتز جهت دستیابی به الگوی مجذور کسکانت در آنتن‌های موج نشستی پیشنهاد شده است. آنتن به سه بخش تقسیم می‌شود که هر بخش دارای ثابت فاز، طول و نرخ نشت معینی است. ثابت فاز هر بخش زاویه بیم آن بخش را تعیین می‌کند. با داشتن نمایه موردنظر و زاویه بیم هر بخش، ثابت فاز آن بخش به دست می‌آید. با در نظر گرفتن عرض بیم یکسان جهت بخش‌ها طول هر بخش معین می‌گردد. با قراردادن شکاف‌ها روی خط مرکزی موج‌بر با تغییر فاصله دیواره از خط مرکزی شکاف‌ها تحریک شده و میزان نشت موردنظر جهت دستیابی به نمایه مجذور کسکانت حاصل می‌شود. در اینجا از الگوریتم ژنتیک جهت به دست آوردن مقادیر نشت برای دستیابی به مرزهای الگوی موردنظر استفاده شده است. الگوی سنتز شده نشان‌دهنده‌ی ریپل کوچک‌تر از  $2\text{dB}$  در ناحیه شکلی و گلبگ‌های کناری کمتر از  $-18\text{dB}$  بوده که آنتن را برای سیستم‌های رادار هوایی مناسب می‌سازد.

## مراجع

- [1] F. Vipiana, G. Vecchi and M. Sabbadini, "A multiresolution approach to contoured-beam antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 3, pp. 684–697, 2007, doi: 10.1109/TAP.2007.891567.
- [2] H.T. Chou., Y.T. Hsaio, P.H. Pathak, P. Nepa and P. Janpugdee, "A fast DFT planar array synthesis tool for generating contoured beams", *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 3, pp. 287–290, 2004, doi:10.1109/LAWP.2004.837504.
- [3] I. Aryanian and MH. Amini, "Synthesis of contoured beam multifeed reflector antenna for optimum coverage" *Microw. Opt. Tech. Lett.*, pp. 1-7, Sep. 2020, doi:10.1002/mop.32611.
- [4] M. H. Amini, I. Aryanian and S. Mirhadi, "Multi-feed Reflector Antenna Design using RADS", in *International Symposium on Telecommunications (IST)*, 2018, pp. 686-689, doi: 10.1109/ISTEL.2018.8660803.
- [5] T. Carberry, "Analysis theory for the shaped-beam doubly curved reflector antenna" *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 17, no. 2, pp. 131-138, March 1969, doi: 10.1109/TAP.1969.1139405.
- [6] S. Junhao, "On the Improvement of Shaped-Beam Doubly Curved Reflector Antenna" in *International Symposium on Antennas, Propagation & EM Theory, Guilin*, 2006, pp. 1-3, doi: 10.1109/ISAPE.2006.353478.
- [7] A. Haddadi, A. Ghorbani and J. Rashed-Mohassel, "Cosecant-squared pattern synthesis using a weighted alternating reverse projection method" in *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 5, no. 15, pp. 1789-1795, 9 December 2011, doi:10.1049/iet-map.2011.0056.
- [8] A. Dastranj, H. Abiri and A. Mallahzadeh "Design of a Broadband Cosecant Squared Pattern Reflector Antenna Using IWO Algorithm," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 7, pp. 3895-3900, July 2013, doi: 10.1109/TAP.2013.2254439.
- [9] A. Foudazi and A. R. Mallahzadeh, "Pattern synthesis for multi-feed reflector antennas using invasive weed optimisation" *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 6, no. 14, pp. 1583-1589, Nov. 2012, doi:10.1049/iet-map.2012.0045
- [10] Z. Hao and M. He, "Developing Millimeter-Wave Planar Antenna With a Cosecant Squared Pattern" *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 10, pp. 5565-5570, Oct. 2017, doi: 10.1109/TAP.2017.2735460.

- [11] M. Milijić, A. D. Nešić and B. Milovanović, "Design, Realization, and Measurements of a Corner Reflector Printed Antenna Array With Cosecant Squared-Shaped Beam Pattern" in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 421-424, 2016, doi: 10.1109/LAWP.2015.2449257.
- [12] X. Yang, L. Chang, J. Zhang, D. Li and M. Zhang, "A Cosecant Squared Beam Antenna Array Operating at 5.85-7.6GHz" *Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC), Taiyuan, China, 2019*, pp. 1-3, doi: 10.1109/CSQRWC.2019.8799290.
- [13] H. Chu, P. Li and Y. Guo, "A Beam-Shaping Feeding Network in Series Configuration for Antenna Array With Cosecant-Square Pattern and Low Sidelobes" *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 4, pp. 742-746, Feb. 2019, doi: 10.1109/LAWP.2019.2901948.
- [14] A. Morini, D. Mencarelli, M. Farina, L. Pierantoni and V. Malaspina, "Cosec2 hybrid travelling/resonant antenna for maritime surveillance applications" *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 14, no. 4, pp. 223-232, March 2020, doi:10.1049/iet-map.2019.0125.
- [15] Y. Yu, Z. H. Jiang, H. Zhang, Z. Zhang and W. Hong, "A Low-Profile Beam forming Patch Array With a Cosecant Fourth Power Pattern for Millimeter-Wave Synthetic Aperture Radar Applications" *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 68, no. 9, pp. 6486-6496, Sept. 2020, doi: 10.1109/TAP.2020.2999669.
- [16] L. O. Goldstone and A. A. Oliner, "Leaky Wave Antennas I: Rectangular Waveguides", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 7, no. 4, pp. 307-319, Oct. 1959, doi: 10.1109/TAP.1959.1144702.
- [17] F. Whetten and C. A. Balanis, "Meandering long slot leaky-wave antennas" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 39, no. 11, pp. 1553-1559, Nov. 1991, doi: 10.1109/8.102768.
- [18] J. Joubert and J. A. G. Malherbe, "Moment method calculation of the propagation constant for leaky-wave modes in slotted rectangular waveguide" *IEE Proc. Microw. Antennas Propag.*, vol. 146, no. 6, pp. 411-415, Dec. 1999, doi:10.1049/ip-map:19990431.
- [19] R. S. Elliott, *Antenna Theory and Design*, revised ed. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2003.
- [20] J. L. Gómez-Tornero, A. T. Martínez, D. C. Rebenaque, M. Gugliemi, and A. Álvarez-Melcón, "Design of tapered leaky-wave antennas in hybrid waveguide-planar technology for millimeter wave band applications" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 8, pp. 2563-2578, Aug. 2005, doi: 10.1109/TAP.2005.850741.
- [21] M. Khadom Mohsen, M.s.B. Mohamad Isa, A. Bin Awang Md Isa, M. Kaml Abdulhameed, M. Lafta Attiah and A.M. Dinar, "Design for radiation broadside direction using half-width microstrip leaky-wave antenna array" *International J. of Electronincs & Communications*, vol. 110, pp. 1-22, Oct. 2019, doi:10.1016/j.aeeu.2019.152839
- [22] J. Zehentner, J. Machac and P. Zabloudil, "Novel entire top surface planar leaky wave antenna" in *Proc. 37th European Microw. Conf.*, Munich, Oct. 2007, pp. 372-375, doi: 10.1109/EUMC.2007.4405204.
- [23] J. L. Volakis, *Antenna Engineering Handbook*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- [24] A. A. Oliner and D. R. Jackson, "Leaky-wave antennas", in *Antenna Engineering Handbook*, J. Volakis, Ed., 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2007, ch. 10.
- [25] A. Kiani, F. Geran, S.M. Hashemi and K. Forooghi, "Mathematical Analysis of a Modified Closed-Form Formula for Design a Uniform Leaky-Wave Antenna With Ultra-Low SLL", *Sci. Rep.* vol. 9, no. 9372, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-44967-w.
- [26] F. Scattone, M. Ettorre, R. Sauleau, N. T. Nguyen and N. J. G. Fonseca, "Optimization procedure for planar leaky-wave antennas with flat-topped radiation patterns", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 12, pp. 5854-5859, Dec. 2015, doi: 10.1109/TAP.2015.2479242.
- [27] M. Rahimi kazeroni and G. Ravaei, "Synthesis of linear array of antennas by Newton binomial method to reduce the level of lateral petals of the beam" *Journal of Communication Engineering*, vol.6, no.24,2017(in persian).
- [28] E. Azarkish and M. Esmailbeig, "Using genetic optimization algorithm in coordination of capacitor banks, transformer tap changers and storage devices in the presence of solar systems" *Journal of Communication Engineering*, vol.6, no.24,2021 (in persian).
- [29] A. Foudazi and A. R. Mallahzadeh, "Pattern synthesis for multi-feed reflector antennas using invasive weed optimisation," in *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 6, no. 14, pp. 1583-1589, Nov. 2012, doi: 10.1049/iet-map.2012.0045.

## Simulation of Leaky Wave Antenna with Cosecant Squared Pattern Using Genetic Algorithm

---

Farnoosh Heidari<sup>1</sup>, Zahra Adelpour<sup>2\*</sup>, Naser parhizgar<sup>3</sup>

---

1: Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

2\*: Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

3: Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

### ABSTRACT:

Realizing a cosecant-squared pattern is a challenging research area due to its widespread use in air-surveillance radar systems wherein the radiation characteristics of the tracking antenna play a significant role in accurate tracking of the targets. However, little research has been performed on realizing a cosecant-squared pattern in leaky-wave antennas (LWAs). In this paper, the authors present a synthesis procedure for realizing a cosecant-squared pattern in LWAs using optimization. To achieve the cosecant-squared pattern, the antenna is divided into sections each with an appropriate length, periodicity, and leakage rate. The length of the sections is determined such that all the sections have the same directivity. Moreover, following the appropriate layout for the beam pointing angle of the sections, the periodicity of the sections is obtained. The objective then is to determine the values of the leakage rate. This objective is achieved using optimization, which in this study is a genetic algorithm. To this end, through defining a proper cost function, the objectives are determined following the proposed optimization procedure. The procedure is described within a substrate integrated waveguide (SIW) LWA. A prototype of the antenna is fabricated and measured. Apart from the good agreement between the simulation and the measurement results, the proposed synthesis procedure can provide a target pattern with low ripples in the shaped region ( $\leq 2$  dB) and a low level of side lobes ( $\leq -18$  dB), making the antenna suitable for air-surveillance radar systems.

---

KEYWORDS: : Leaky\_ wave antenna, cosecant \_ squared, side lobe level, substrated integrated waveguide, leakage rate