



۱۳۵۹

دانشگاه علوم دریایی امام خمینی

(ره) - نوشهر

دانشکده مهندسی الکترونیک و

مخابرات دریایی

چهارمین کنفرانس الکترومغناطیس

مهندسی ایران

(کام ۱۳۹۵)

فروردین ماه ۱۳۹۵



## آنتن پهن باند حلزونی با پهنای بازوی پله‌ای (SAW) برای سیستم مونوپالس با پلاریزاسیون دوگانه

الهه مهبودی\*، مسعود موحدی، عباسعلی حیدری

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران

\*رایانامه نویسنده مسئول: [e.mehboudi@gmail.com](mailto:e.mehboudi@gmail.com)

تطبیق امپدانس و مشخصات میدان دور آن می‌شود. به این منظور در این مقاله روشی نوین برای ایجاد ناپیوستگی با شیب تغییرات ملایم در آنتن حلزونی پیشنهاد شده است. آنتن پیشنهادی آنتن حلزونی با پهنای بازوی پله‌ای (SAW) می‌باشد. آنتن حلزونی SAW علاوه بر ایجاد پلاریزاسیون دوگانه دایروی موجب کاهش امپدانس ورودی و در نتیجه تطبیق امپدانس بهتر آنتن می‌شود.

کلیدواژه: آنتن حلزونی - مونوپالس - مستقل از فرکانس - پلاریزاسیون دوگانه دایروی.

### ۱- مقدمه

سیستم مونوپالس از جمله سیستم‌های جهت‌یابی است که، در رادارهای ردیاب<sup>۱</sup> و سیستم‌های مختلف نظامی کاربردهای فراوانی دارد. این سیستم در مقایسه با سایر سیستم‌های جهت‌یابی از دقت و سرعت عمل

چکیده: - سیستم مونوپالس از جمله سیستم‌های جهت‌یابی کارآمد است که در آن با استفاده از دو مد مجموع و اختلاف، زاویه ورود سیگنال مشخص می‌شود. عمدتاً به دلیل نامشخص بودن پلاریزاسیون امواج دریافتی در سیستم‌های جهت‌یابی، استفاده از آنتنی که قابلیت دریافت همزمان امواجی با پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپگرد را داشته باشد، مزیت بزرگی محسوب می‌شود. آنتن حلزونی از جمله آنتن‌های مستقل از فرکانس بوده که، قابلیت ایجاد دو مد مجموع و اختلاف در این آنتن ۴ بازوئه، از جمله مزیت‌های آن آنتن محسوب می‌شود. پلاریزاسیون این آنتن با توجه به جهت پیش بازوهای آن راستگرد یا چپگرد است، همین موضوع از جمله محدودیت‌های این آنتن به شمار می‌رود. بهترین روش برای ایجاد پلاریزاسیون دوگانه در آنتن حلزونی استفاده از این آنتن با پهنای بازوی مدوله شده (MAW) است. اما ایجاد ناپیوستگی ناگهانی و بزرگ در این آنتن موجب اختلال در

<sup>1</sup> Tracking radars

زیاد پهنای بازو موجب، ایجاد نواسانات زیاد در امپدانس و در نتیجه عدم تطبیق امپدانس می‌شود. هم‌چنین زیاد بودن امپدانس ورودی آنتن حلزونی از جمله چالش‌های موجود برای این آنتن می‌باشد. در این مقاله روشی نوین برای رفع مشکل موجود در آنتن MAW پیشنهاد شده‌است. آنتن حلزونی با پهنای بازوی پله‌ای (SAW<sup>۳</sup>) ساختار پیشنهادی در این مقاله است. این آنتن با ایجاد ناپیوستگی‌های بیشتر اما هموارتر، علاوه بر ایجاد پلاریزاسیون دوگانه، باعث کاهش نواسانات امپدانس و هم‌چنین کاهش امپدانس ورودی آنتن می‌شود.

## ۲- ساختار آنتن حلزونی پیشنهادی (SAW)

آنتن حلزونی لگاریتمی اولین بار توسط رامسی<sup>۴</sup> در سال ۱۹۵۷ معرفی شد [۷]. شکل هندسی این آنتن مطابق رابطه (۱) تنها به زاویه وابسته است.

$$r = r_{in} e^{a\phi} = r_0 EXP^{(\phi/(2\pi))} \quad (1)$$

در رابطه بالا  $a$  نرخ رشد،  $\phi$  زاویه پیشرو رشد و  $r$  فاصله شعاعی تا مرکز آنتن است [۶]. آنتن حلزونی به دلیل داشتن پهنای بیم و امپدانس ثابت بسیار پرکاربرد است. امپدانس ورودی هر بازوی آنتن حلزونی خودمکمل با  $N$  بازو مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$Z_{in} = \frac{\eta}{4 \cdot \sin \frac{\pi \cdot m}{N}} \quad (2)$$

بالایی برخوردار است. جهت‌یابی در سیستم مونوپالس بر اساس تشکیل بیم مجموع و اختلاف صورت می‌گیرد [۱]. طراحی آنتنی با توانایی ایجاد پترن مجموع و اختلاف از جمله اجزای کلیدی سیستم مونوپالس به‌شمار می‌رود. به دلیل نامشخص بودن پلاریزاسیون امواج دریافتی در اکثر سیستم‌های جهت‌یابی، طراحی آنتنی پهن‌بند، با پلاریزاسیون دایروی دوگانه دایروی حائز اهمیت است. هم‌چنین آنتن فوق باید قادر به تخمین زاویه ورود (AOA<sup>۱</sup>) سیگنال نیز باشد [۲]. بهترین روش برای دستیابی به شرایط فوق استفاده از آنتن‌های مستقل از فرکانس با قابلیت چند بازو شدن مانند آنتن حلزونی، سیسنوسی و متناوب لگاریتمی است. طراحی آنتن حلزونی ۴ بازو به بهترین انتخاب برای این سیستم است. از طرفی پلاریزاسیون آنتن حلزونی در جهت پیش‌بازوهای آن است. توانایی دریافت امواج با پلاریزاسیون یگانه از جمله محدودیت‌های آنتن حلزونی است [۳]. استفاده از آرایه‌ای از آنتن‌های حلزونی با پلاریزاسیون‌های متفاوت از جمله روش‌های ایجاد آنتن حلزونی با پلاریزاسیون دوگانه است که به نوبه خود باعث کاهش دقت تخمین زاویه و افزایش فضای اشغالی توسط آنتن می‌شود [۴]. بهترین روش برای ایجاد پلاریزاسیون دوگانه در این آنتن، طراحی آنتن حلزونی با پهنای بازوی مدوله‌شده (MAW<sup>۲</sup>) است [۵]. آنتن MAW با ایجاد ناپیوستگی ناگهانی در پهنای بازوی آنتن حلزونی موجب بازگشت جریان و در نتیجه انتشار معکوس مد می‌شود [۶] در این آنتن تغییر ناگهانی و

<sup>3</sup> Stair arm width

<sup>4</sup> V.H.Rumsey

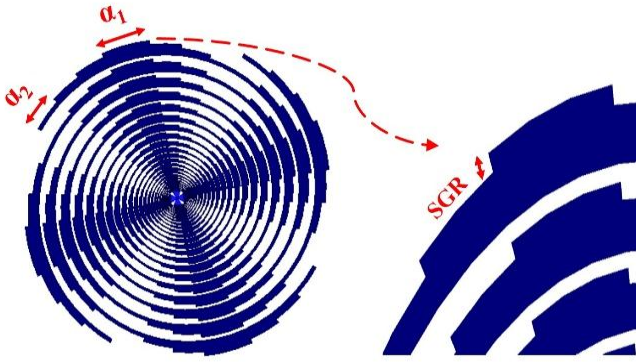
<sup>1</sup> Angle-of-arrival

<sup>2</sup> Modulated arm width

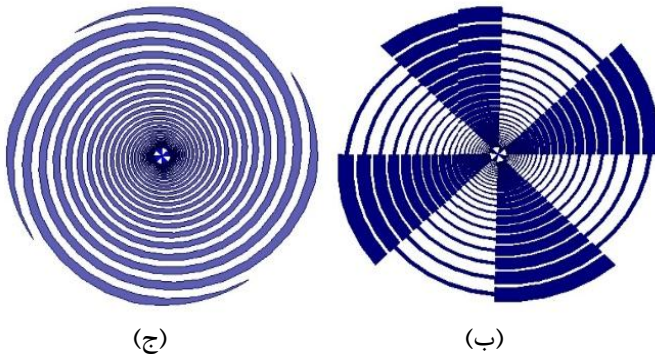
در رابطه فوق  $\eta$  امپدانس ذاتی فضای آزاد ( $377\Omega$ ) و  $m$  شماره مد است. امپدانس ورودی برای مد مجموع و مد اختلاف به ترتیب برابر با  $133.2\Omega$  و  $88\Omega$  است [۳].

### الف- نحوه عملکرد آنتن حلزونی با پهنای بازوی پله‌ای (SAW) و مقایسه آن با آنتن MAW

شکل (۱) ساختار آنتن پیشنهادی را نمایش می‌دهد. هم‌چنین برای درک بهتر تغییر ایجاد شده، دو آنتن حلزونی ساده و MAW نیز، در این شکل رسم شده‌است. ساختار پیشنهادی با ایجاد ناپیوستگی ملایم در پهنای بازوی آنتن حلزونی باعث تغییر امپدانس آنتن می‌شود (ایجاد ناپیوستگی با شیب تغییرات ملایم نسبت به آنتن MAW در شکل (۱) به وضوح مشخص است). تغییر امپدانس باعث بازگشت جریان از محل ناپیوستگی در جهت عکس پیچش بازوهای آنتن شده به گونه‌ای که بازگشت جریان موجب ایجاد مد منفی می‌گردد. قابل ذکر است به ناحیه‌ای که جریان منعکس می‌شود اصطلاحاً باند قطع می‌گویند. با توجه به فاز تحریک متفاوت برای هر بازو و هم‌چنین امپدانس ورودی بالای آنتن حلزونی، ارائه روشی برای کاهش امپدانس آنتن در اولویت است. شکل (۲) قسمت حقیقی امپدانس ورودی دو آنتن SAW و MAW را نشان می‌دهد. کاهش امپدانس ورودی و ایجاد نواسانات کمتر در آنتن SAW در این شکل به وضوح مشخص است.



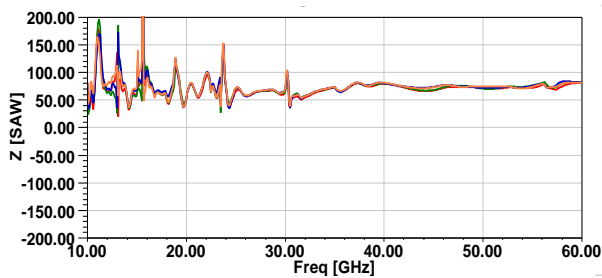
(الف)



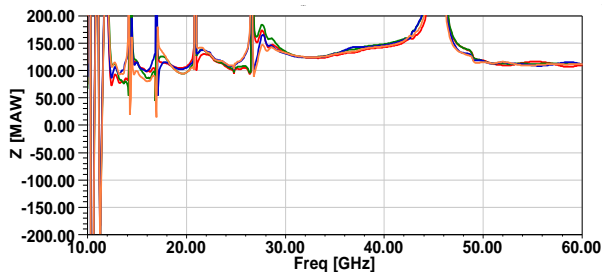
(ج)

(ب)

شکل ۱: ساختار آنتن حلزونی  $EXP=0.6$ ,  $rout=6.3cm$ :  
(الف) SAW، (ب) لگاریتمی، (ج) MAW.



(الف)

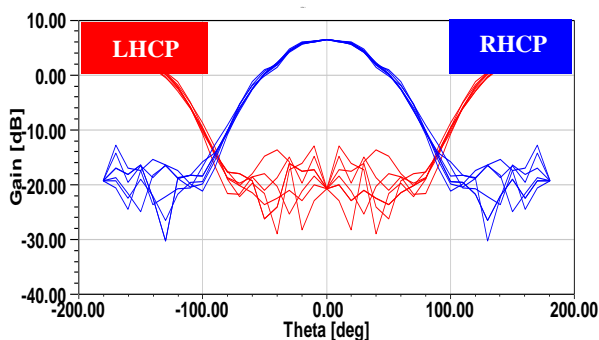


(ب)

شکل ۲: امپدانس ورودی آنتن: (الف) SAW، (ب) MAW.

نسبت رشد پله، اختلاف پهنای بازو در دوپله مجاور تعریف می‌شود.

آنتن SAW پیشنهادی با پارامترهای بهینه،  $\alpha_1=18^\circ$ ،  $\alpha_2=12^\circ$  و  $SGR=M/3*W_0$  طراحی شده است. شکل (۳ و ۴) پترن تشعشی آنتن حلزونی SAW و لگاریتمی را در مدهای مختلف نمایش می‌دهد. جهت پیچش بازوهای آنتن حلزونی مطابق شکل (۱) پادساعتگرد است بنابراین، پلاریزاسیون آنتن حلزونی لگاریتمی در همه‌ی مدها راستگرد است. اما تغییر ایجاد شده توسط آنتن SAW، باعث بازگشت جریان در جهت ساعتگرد می‌شود. در نتیجه مد ۳ در آنتن حلزونی SAW به مد مجموع با پلاریزاسیون چپگرد (۱-) تبدیل می‌شود. بنابراین آنتن ۴ بازوئه SAW با ایجاد پلاریزاسیون دوگانه و قابلیت تشکیل بیم مجموع و اختلاف، آنتنی مناسب برای سیستم مونوپالس است. جهت یابی در سیستم مونوپالس با تشکیل نسبت مجموع به اختلاف صورت می‌گیرد. اندازه نسبت فوق زاویه عمودی و فاز مربوط به آن، زاویه افقی را مشخص می‌کند.



(الف)

جدول شماره (۱) مدهای ایجاد شده در آنتن SAW و اختلاف فازهای موجود بین بازوهای آنتن را نمایش می‌دهد. این فازها توسط سیستم تغذیه باتلر ماتریس ۴\*۴ ایجاد می‌شود [۲].

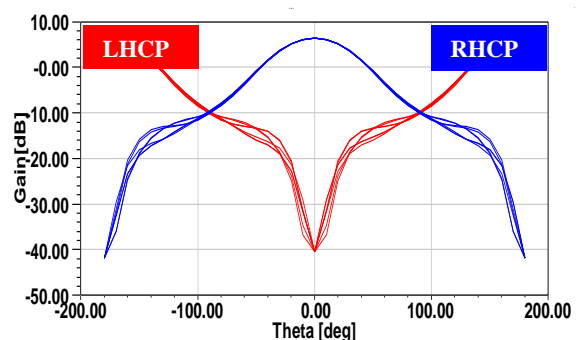
جدول ۱: مدهای منتشر شده آنتن SAW و اختلاف فازهای آن

پترن تشعشی	بازو ۱	بازو ۲	بازو ۳	بازو ۴	مد
مجموع (راستگرد)	۰	۹۰	۱۸۰	۲۷۰	۱
مجموع (چپگرد)	۰	۲۷۰	۱۸۰	۹۰	۱
اختلاف (راستگرد)	۰	۱۸۰	۰	۱۸۰	۲

ا- بررسی مشخصات آنتن حلزونی SAW و

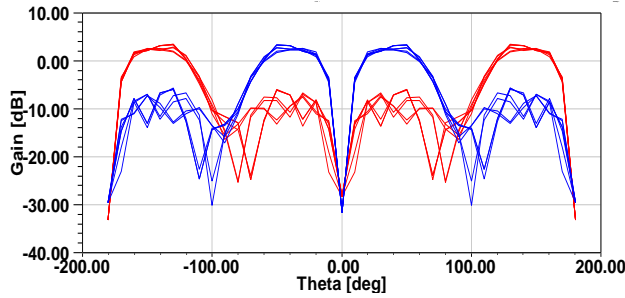
مقایسه با آنتن حلزونی لگاریتمی

فاکتور بسط<sup>۱</sup> (EXP)، نسبت مدولاسیون<sup>۲</sup> (M)، نسبت رشد پله<sup>۳</sup> (SGR) و طول کمان هر پله، پارامترهای موثر بر عملکرد آنتن حلزونی SAW هستند. نسبت پهنای بازوی آنتن در پله ای با کمترین و بیشترین امپدانس، نسبت مدولاسیون نامیده می‌شود. هم‌چنین

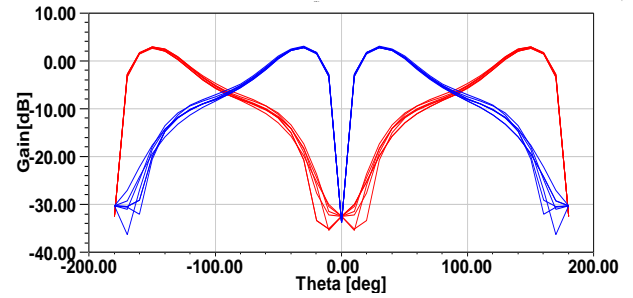


(الف)

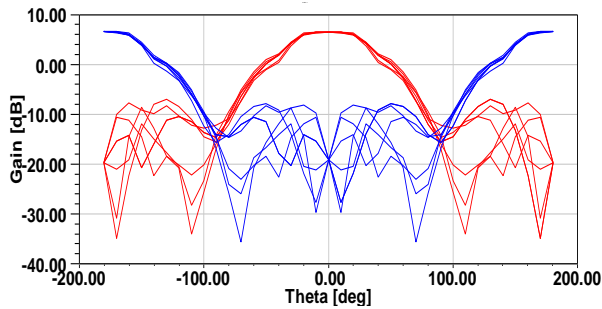
<sup>1</sup> Expansion factor  
<sup>2</sup> Modulation ratio  
<sup>3</sup> Stair growth ratio



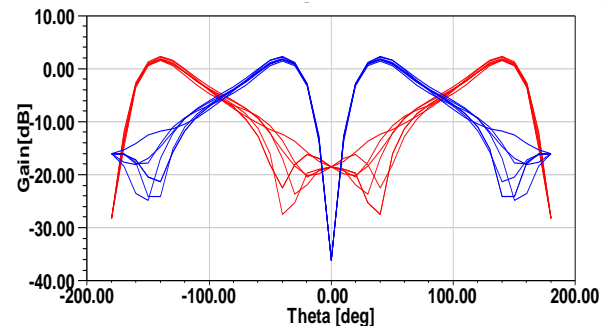
(ب)



(ب)



(ج)



(ج)

شکل ۴: پترن تشعشی دو بعدی آنتن حلزونی SAW:

(الف):  $m=1$ , (ب)  $m=2$ , (ج)  $m=-1$ .

شکل ۳: پترن تشعشی دو بعدی آنتن حلزونی لگاریتمی:

(الف)  $m=1$ , (ب)  $m=2$ , (ج)  $m=3$ .

*Trans. Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 9, pp. 4467–4475, 2013.

[3] M. J. Radway, “Mode theory of multi-armed spiral antennas and its application to electronic warfare antennas”, Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Colorado University., Boulder., Colorado, 2011.

[4] R. Guinvarc’her and R.L. Haupth “Connecting spirals for wideband dual polarization phased array”, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 12, pp. 4534–4541, 2011.

[5] P.G. Ingerson, “Modulated arm width spiral antenna,” U.S. patent 3,681,772, 1, 1972.

[6] W. Kefauver, T. Cencich, and D. Filipovic, “Modulated arm width (MAW) spiral: theory, modeling, design and measurements”, *IEEE Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 11, pp. 3515–3523, Nov. 2010.

[7] J. D. Dyson, “The equiangular spiral antenna,” modeling, design and measurements”, *IRE Antennas and Propagation*, vol. 7, no.2, pp. 181-187, 1959.

### ۳- نتیجه گیری

در این مقاله روشی نوین برای ایجاد آنتن حلزونی مستقل از فرکانس چهار بازوئه با پلاریزاسیون دوگانه دایروی راستگرد و چپگرد پیشنهاد شده است. ساختار پیشنهادی با ایجاد ناپیوستگی ملایم باعث کاهش نوسانات و امپدانس ورودی آنتن می شود. هم چنین آنتن پیشنهادی قابلیت ایجاد بیم مجموع واختلاف، در نتیجه استفاده در سیستم مونوپالس را دارد.

### ۴- مراجع

- [1] S. E. Lipsky, *Microwave Passive Direction Finding*. New York: SciTech Publishing, 2004.  
 [2] W. N. Kefauver and T. P. Cencich and D. S. Filipovic, “On the frequency-independent modes of a four-arm modulated arm width spiral”, *IEEE*

