

طراحی، شبیه سازی و ساخت آنتن مسطح سینوس با پلاریزاسیون دوگانه در محدوده فرکانسی ۱۸-۲ GHz

جلیل راشد محصل رضا فرجی دانا کریم محمدپور اقدم

دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران- ایران

چکیده: در این مقاله طراحی، شبیه سازی کامپیوتری، ساخت و در نهایت اندازه گیری مشخصات آنتنهای مسطح سینوس انجام گرفته است. بخش تغذیه این آنتنها با استفاده از بالنهای میکرواستریپ باریک شونده پیاده سازی و ابعاد این بالنها توسط برنامه شبیه ساز میکروویو آفیس تعیین شده است. کارایی این بالنها توسط شبیه ساز سه بعدی Ansoft HFSS شبیه سازی شده است. این مطالعات، برای چهار آنتن سینوس در محدوده فرکانسی و مشخصات طراحی متفاوت صورت گرفته است. نتایج اندازه گیری به خوبی با نتایج شبیه سازی همخوانی داشته و در کل، الگوی تشعشعی و SWR قابل قبولی را برای این آنتنها در پی دارد.

واژه های کلیدی: آنتن مسطح سینوس، بالن میکرواستریپ باریک شونده، Ansoft HFSS، این مطالعات، برای چهار آنتن سینوس در محدوده فرکانسی و مشخصات طراحی

Design, Simulation and Construction of Dual Polarized Sinuous Antenna in the 2-18 GHz Frequency Range

Karim Mohammad Pour Aghdam Reza Faraji-Dana Jalil Rashed-Mohassel
Technical Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran

ABSTRACT: The Sinuous antennas have a numerous applications in military and civil systems such as direction finding systems and reflector feeds due to their superior broadband characteristics and simultaneous polarization capability. In this paper, design, simulation, construction and measurements of planar sinuous antennas are investigated for four sinuous antennas, having different design parameters and frequency ranges. Feeding sections of these antennas are realized by using Microstrip-Tapered baluns. We have determined the

microstrip tapered balun dimensions using Microwave Office simulation program. The performances of these antennas and Baluns are simulated using Ansoft HFSS package.

Polarization patterns and return loss characteristics of the designed antennas have been measured in anechoic chamber. These measurements results are in good agreement with theory and simulation.

Keywords: Dual polarized sinuous antenna, HFSS

۱- مقدمه

می‌دارند. رابطه‌ای که مختصات نقاط سلول P را بیان می‌دارد به شکل زیر می‌باشد.

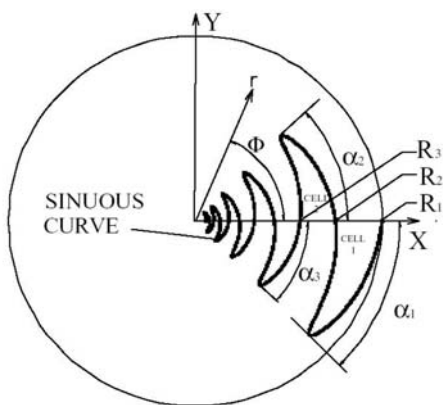
$$\phi = (-1)^p \cdot \alpha_p \cdot \text{Sin} \left[\frac{180 \cdot \ln \left(\frac{r}{R_p} \right)}{\ln(\tau_p)} \right] \quad (1)$$

$$R_{p+1} \leq r \leq R_p$$

که در آن r و ϕ مختصات قطبی منحنی می‌باشند. و شعاع R_p با نسبت زیر بیان می‌شود.

$$R_p = \tau_{p-1} R_{p-1}$$

پارامترهای طراحی و می‌توانند مستقل از P انتخاب شوند تا یک ساختار متناوب لگاریتمی حاصل شود.



شکل (۱): منحنی اولیه سینوس

یک بازوی سینوس با چرخاندن منحنی حاصل از معادله (۱) و با جمع و کم کردن زاویه δ حول مرکز منحنی حاصل می‌شود. یک ساختار کامل N بازویی با چرخش زاویه‌ای یک بازو به میزان $360/N$ درجه حاصل می‌شود که در آن N بزرگتر از واحد می‌باشد. ساختار چهار بازویی برای دسترسی به دو پلاریزاسیون عمود بر هم خطی یا دایروی بکار می‌رود. یک ساختار معمول چهار بازویی در شکل ۲ نشان داده شده است. برای ایجاد دو پلاریزاسیون عمود بر هم از این روزنه باید بازوهای روبروی هم با اختلاف فاز 180°

بسیاری از کاربردها مانند سیستم‌های سویاب^۱ یا تحریک آنتنهای رفلکتوری^۲. نیازمند المانهای تشعشعی باند وسیع هستند تا بتوانند دو پلاریزاسیون عمود بر هم را فراهم سازند. توانایی فراهم کردن هر دو پلاریزاسیون (خطی افقی و عمودی و یا دایروی راستگرد و چپگرد) از یک روزنه تشعشعی ثابت، بسیار مهم می‌باشد. در گذشته این نیاز توسط دو آرایه دیپل متقاطع با ساختار لگاریتمی فراهم می‌شد. این راه حل عموماً با مشکل مواجه است، زیرا این آرایه‌ها بزرگ بودند و مرکز فاز این آرایه‌ها متغیر با فرکانس بود. همچنین الگوی تشعشعی صفحه E و H این ساختارها، مشابه نبوده و خواص تشعشعی آنها با فرکانس تغییر می‌کند.

آنتنهای حلزونی بر تمامی مشکلات فوق، فائق آمدند ولی این آنتنها تنها توانایی ایجاد و دریافت یکی از پلاریزاسیونهای دایروی را دارا هستند [۱].

در سال ۱۹۸۲، آقای دوهمال^۳ المان تشعشعی ویژه‌ای را طراحی و آن را آنتن سینوس^۴ نامید [۲]. این ساختار بسیاری از معضلات ذکر شده را حل نمود. همچنین روزنه تشعشعی این آنتن، مرکز فاز ثابتی را بسته به پلاریزاسیون و فرکانس عملکرد فراهم می‌سازد. این آنتن از لحاظ اندازه، شبیه آنتن حلزونی بوده و پهنای پرتو و بهره‌ای شبیه آنتن حلزونی دارد ولی توانایی دریافت هر دو پلاریزاسیون عمود بر هم را از یک روزنه تشعشعی داراست [۳].

۲- اصول آنتن سینوس

۲-۱- شکل‌گیری آنتن سینوس

شکل ۱، ساختار پایه‌ای یک منحنی سینوس را که می‌تواند یکی از بازوهای آنتن سینوس باشد، نشان می‌دهد [۲]. با توجه به ساختار متناوب لگاریتمی، منحنی سینوس بطور کامل با یکسری زوایا و یک ضریب گشودگی τ تعریف می‌شود. چنانکه در شکل ۱ نشان داده شده است. منحنی از یکسری سلولهایی تشکیل می‌شود که از سلول شماره (۱) با شعاع بیرونی R_1 شروع می‌شوند. R_p اندازه شعاع بیرونی سلول P را نشان می‌دهد و α_p و τ_p به ترتیب پهنای زاویه‌ای و نسبت شعاع درونی به بیرونی هر سلول را بیان

1- Direction-finding system
2- Reflection feeds

3- Raymond H. DuHamel
4- Sinuous Antenna



۲-۲- ملاحظات طراحی

ناحیه فعال برای تشعشع در آنتن سینوس در شعاعی قرار دارد که حاصل ضرب عرض پیرامونی بازو که با زاویه $2(\alpha + \delta)$ بیان می شود در شعاع، حدود نصف طول موج باشد. یعنی:

$$2r.(\alpha_p + \delta) = \lambda / 2 \quad (۳)$$

که در این رابطه، زوایا بر حسب رادیان بیان می شوند، بنابراین، فرکانس پایین عملکرد آنتن با شعاع خارجی آنتن محدود می شود، یعنی $\lambda_L = 4R_1(\alpha_1 + \delta)$. فرکانس بالایی آنتن، عموماً بوسیله تیپولوژی تغذیه آنتن محدود می شود. برای کارایی بالا در فرکانسهای بالا، کوچکترین سلول باید کوچکتر از $\lambda_H / 4$ باشد تا گذار مناسب از منطقه تحریک به منطقه فعال ایجاد شود. مصالحه مناسب که عموماً استفاده می شود، به قرار زیر است:

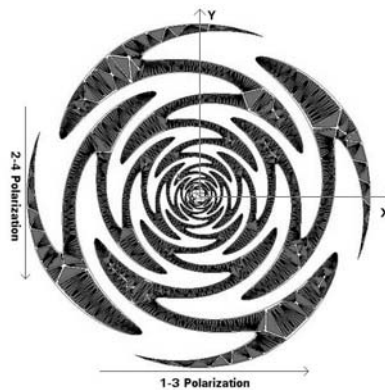
$$2R_p.(\alpha_p + \delta) = \frac{\lambda_H}{4} \quad (۴)$$

یک ساختار سینوس خود مکمل دارای امپدانس ورودی تقریباً حقیقی بوده و در کل باند عملکرد آن مستقل از فرکانس می باشد. نشان داده شده است که اگر یک ساختار متقارن چرخشی مانند آنتن سینوس خود مکمل با مود M (یا -M) تحریک شود، امپدانس ورودی هر بازو نسبت به زمین با رابطه ۵ داده می شود [۲].

$$Z_M = \frac{30\pi}{\text{Sin}\left(\frac{\pi.M}{N}\right)} \quad (۵)$$

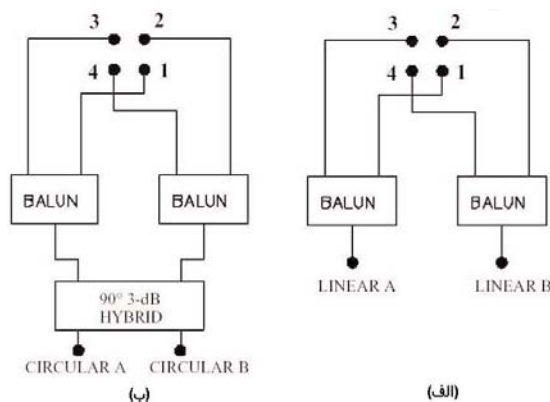
یک روزنه چهار بازویی خود مکمل توسط سیستم بالانس با مود یک تحریک می شود. بنابراین با توجه به رابطه ۵ هر بازو امپدانس حدود ۱۳۳ اهم نسبت به مرجع زمین خواهد داشت. به عبارتی اگر دو بازو بصورت بالانس تغذیه شوند امپدانس ورودی این دو بازو ۲۶۶ اهم خواهد بود. البته به خاطر ملاحظات عملی و شیوه های تحریک و اثر بارگذاری دی الکتریک و نیز حفره جاذب پشت آنتن، این مقدار در اکثر موارد کمتر می باشد. عموماً برای ساختار سینوس خود مکمل با خط تغذیه بالانس امپدانس ۲۰۰ اهم در نظر گرفته می شود.

درجه و در مرکز بازوها تغذیه شوند. نتیجه حاصل، دو پرتو دو جهته متقارن چرخشی می باشد که نسبت به دو جفت بازوی خود پلاریزه خطی شده است. هر دو پرتو در راستای عمود بر صفحه روزنه دارای قله ماکزیمم هستند.

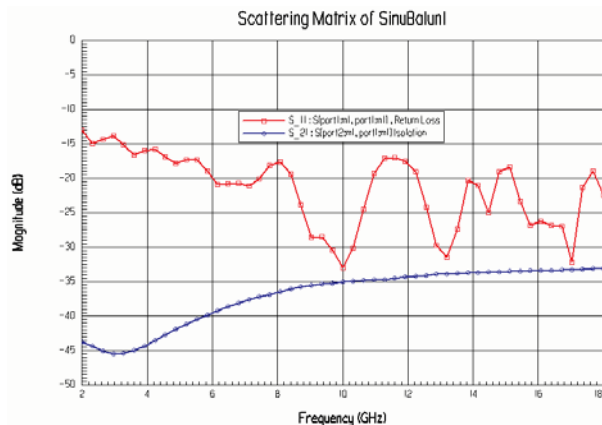


شکل (۲): روزنه تشعشعی آنتن سینوس چهار بازویی

پرتوهای حاصل دو جهته می باشند، پرتوی تک جهته با بکارگیری محفظه پر شده با ماده جاذب در یکی از دو جهت روزنه، برای جذب تشعشع در آن جهت قابل حصول است. دو پلاریزاسیون دایروی می تواند با ترکیب این دو پرتو با پلاریزه خطی به اضافه ۹۰ درجه چرخش فاز در یکی از پرتوها حاصل شود. این چرخش ۹۰ درجه را می توان با یک هایبرید ۹۰ درجه با تقسیم ۳ dB بدست آورد [۷]. شماتیک مداری لازم برای ایجاد دو پلاریزاسیون خطی و دو پلاریزاسیون دایروی را می توان در شکل ۳ مشاهده کرد [۲].

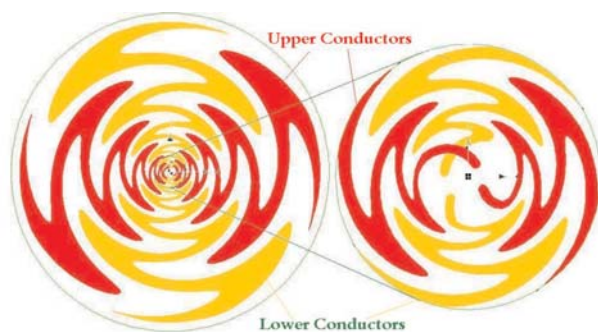


شکل (۳): شبکه تغذیه آنتن سینوس برای دستیابی به (الف) پلاریزاسیونهای خطی و (ب) پلاریزاسیونهای دایروی



شکل (۵): تلف برگشتی و ایزولاسیون دو پورت بالن باریک شونده

برای استفاده از بالن باریک شونده با ساختار توصیف شده، می‌بایست مرکز آنتن سینوس به خاطر ساختار خاص این دو بالن که در یک صفحه قرار دارند، تغییر داده شود. این تغییر باید به نحوی اعمال شود که تقارن دو جفت بازوها نسبت به هم حفظ شود. این ویژگی در صورت استفاده از هر دو رویه زیرلایه دی‌الکتریک برای چاپ آنتن میسر می‌شود (شکل ۶).



شکل (۶): آنتن سینوس با جزئیات بخش تغذیه با بالن میکرواستریپ باریک شونده. باید توجه داشت که دو بازوی متقاطع در دو رویه زیر لایه قرار دارند.

۴- شبیه سازی آنتن سینوس

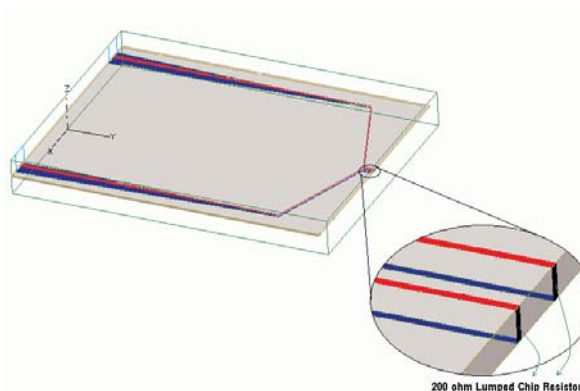
برای حصول اطمینان از کارایی آنتنهای سینوس، یک نمونه آنتن در محدوده فرکانسی ۲-۱۸ GHz شبیه سازی تمام موج شده است.

5- Marchand

۳- مدار تغذیه

آنتنهای سینوس می‌توانند توسط چندین نوع مدار، تغذیه شوند. شکل ۳ ساختار لازم را برای ایجاد هر دو پلاریزاسیون خطی یا دایروی را نشان می‌دهد. بعنوان بالن، ساختارهای خطوط نواری باریک شونده مارشاند^۵ کاندیدای مناسبی هستند [۴]. تطبیق امپدانس و ملزومات فرکانس به همراه اندازه محدود آنتن و لزوم مجتمع شدن بالن با آنتن، اساسی‌ترین موارد در تغذیه آنتن سینوس می‌باشند.

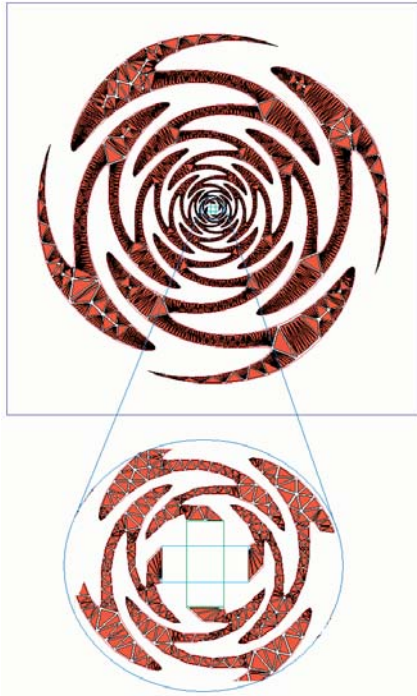
بالنی که در این طرح برای تغذیه آنتنهای سینوس استفاده شده است، یک بالن مسطح مدار چاپی است که در شکل ۴ نشان داده شده است. این ساختار از دو خط غیربالانس موازی شروع شده و با باریک شدن هر دو نوار این خطوط به دو خروجی بالانس ختم می‌شود. دو خروجی باریک می‌شوند تا انتقال امپدانس از ۲۰۰ اهم در ورودی آنتن به ۵۰ اهم را فراهم سازند. بنابراین تبدیل امپدانس ۴:۱ خواهیم داشت، این ایده مناسبتر می‌باشد زیرا که بالن باریک شونده^۶ از لحاظ ساخت ساده بوده و قیمت تمام شده آن پایینتر می‌باشد. اندازه SWR شبیه سازی شده برای این بالن که در شکل ۵ آورده شده است، در باند فرکانس ۲ GHz تا ۱۸ GHz، کمتر از ۲:۱ بوده و ایزولاسیون دو بالن بیش از ۳۰ dB می‌باشد. شبیه سازی این ساختار توسط شبیه ساز سه بعدی Ansoft HFSS و پیرایش ۸، انجام گرفته است [۸].



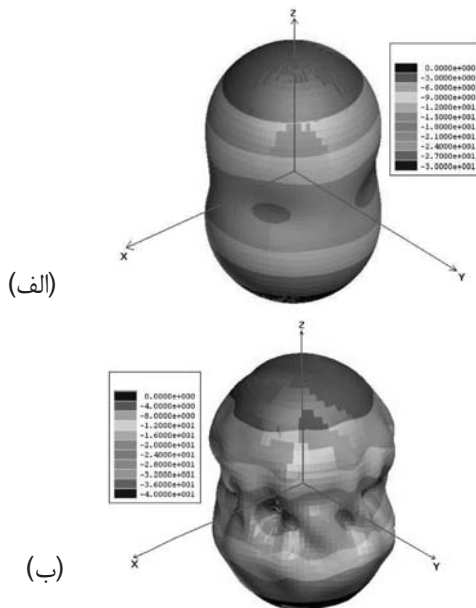
شکل (۴): بالن میکرواستریپ باریک شونده که با مقاومت فشرده ۲۰۰ اهم بار شده است تا امپدانس ورودی آنتن شبیه سازی شود.

6- Microstrip Tapered Balun





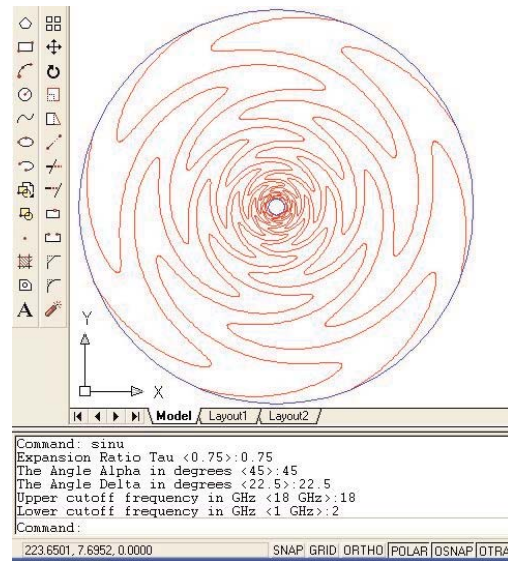
شکل (۸): آنتن سینوس بار شده توسط Ansoft HFSS به همراه مش بندی آنتن سینوس در ۱۰ GHz تولید شده توسط Ansoft HFSS



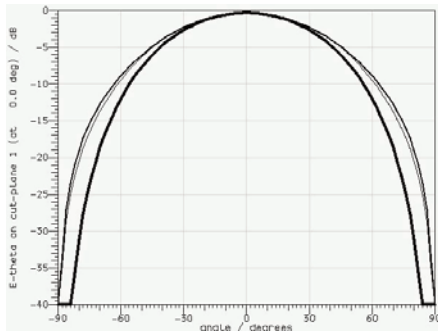
شکل (۸): الگوی تشعشعی سه بعدی شبیه سازی شده آنتن سینوس، وقتی دو جفت بازو با ۹۰ درجه اختلاف فاز تغذیه شوند.
 (الف) در فرکانس ۳ GHz (ب) در فرکانس ۱۵ GHz

برای این منظور ابتدا آنتن سینوس توسط برنامه ویژه ای که توسط اُتولیسپ^۷ نوشته شده است، در محیط اتوکد رسم می شود (شکل ۷ را ببینید). این ساختار رسم شده در اتوکد در نرم افزار شبیه ساز Ansoft HFSS بار می شود. شکل ۸ شمای آنتن بار شده در این شبیه ساز را به همراه مش تولید شده در فرکانس ۱۰ GHz، نشان می دهد.

نتایج حاصل از شبیه سازی، بویژه خواص تشعشعی، کاملاً با نتایج تئوری و شبیه سازیهای قبلی که توسط افراد مختلف انجام شده، مطابقت دارد [۵] (شکل ۱۱ را ببینید). الگوهای تشعشعی سه بعدی رسم شده، تغییرات مختصری را در فرکانسهای بالا نشان می دهد (شکل ۸). این پدیده را می توان در نتایج حاصل از اندازه گیری نیز مشاهده کرد. صفرهای ایجاد شده در زاویه افقی ۴۵ در شکل ۸، اثر تحریک در الگوی تشعشعی را نشان می دهد. الگوی تشعشعی رسم شده با مختصات قطبی را که با منحنی های حاصل از اندازه گیری هم تطابق دارد، می توان در شکل ۹ مشاهده کرد.



شکل (۷): خط فرمان واسط کاربری برنامه اُتولیسپ برای رسم آنتن سینوس



(ب)

شکل (۱۱): (الف) شمای آنتن سینوس و (ب) الگوی تشعشی صفحه E و H آن که در مرجع [۵] شبیه سازی شده است.

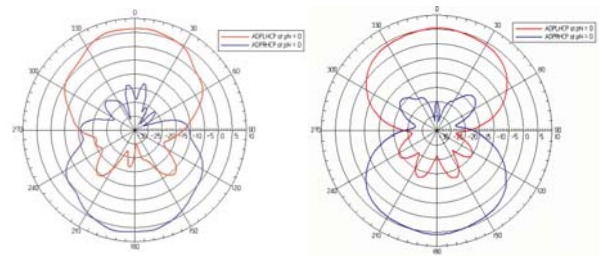
شکل ۱۰، چگالی جریان سطحی را در نواحی مختلف آنتن بر حسب فرکانس مورد تحلیل، نشان می‌دهند. این رسمها موید این واقعیت هستند که توزیع جریان در فرکانسهای بالا در نواحی درونی و نزدیک نقطه تحریک دارای دامنه بزرگتری است و بالعکس، در فرکانسهای پایین این توزیع جریان در نواحی بیرونی و دورتر از نقطه تحریک، قرار گرفته‌اند. تغییر دو جفت بازوها که توزیع جریان فشرده تری دارد، با یک پریود ۹۰ درجه با تحریک اعمال شده ثابت می‌ماند.

۵- ساخت و اندازه‌گیری مشخصات آنتن سینوس

در مجموع چهار آنتن سینوس مسطح در محدوده‌های فرکانسی متفاوت طراحی و ساخته شده است (شکل ۱۲). تمامی بردهای این آنتنها و بالنها، بر روی زیر لایه‌ای با نام RO4003 با ثابت گذردهی ۳/۳۸ و ضخامت ۰/۵۰۸mm چاپ شده‌اند. بجز بالن آنتن سینوس باند ۱-۵ GHz که بر روی زیر لایه‌ای با نام RF35 با ثابت گذردهی ۳/۵ و ضخامت ۰/۷۸۷۴mm ساخته شده است.



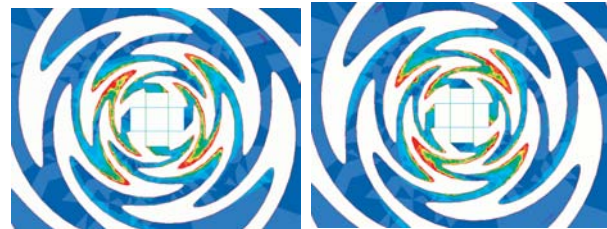
شکل (۱۲): شمای چهار آنتن سینوس ساخته شده در باندهای مختلف



(ب)

(الف)

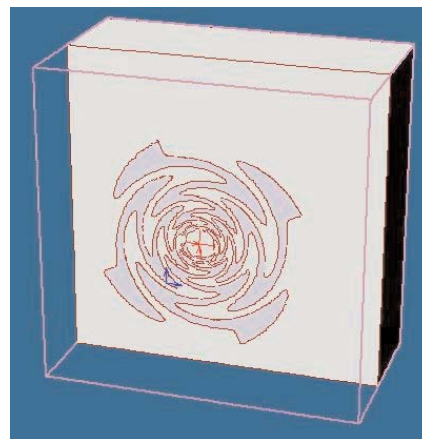
شکل (۹): الگوی تشعشی LHCP (قرمز) و RHCP (آبی) آنتن سینوس، وقتی دو جفت بازو با ۹۰ درجه اختلاف فاز تحریک شوند. (الف) در فرکانس ۳ GHz و (ب) در فرکانس ۱۵ GHz، چنانکه از این الگوها مشاهده می‌شود، بهره ی آنتن حدود ۵ dBi بوده و سطح قطبی شدگی متقاطع در پهناهای پرتو $60 < \theta < 60$ ، بهتر از -۱۷ dB می‌باشد.



(ب)

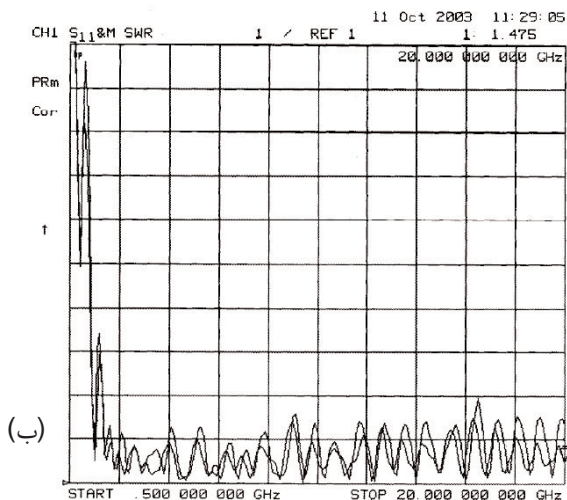
(الف)

شکل (۱۰): توزیع جریان روی آنتن سینوس در فرکانس ۱۸ GHz، وقتی دو جفت بازو با ۹۰ درجه اختلاف فاز تحریک شوند. فاز تحریک در شکل (الف) صفر و در شکل (ب) ۹۰ درجه می‌باشد.

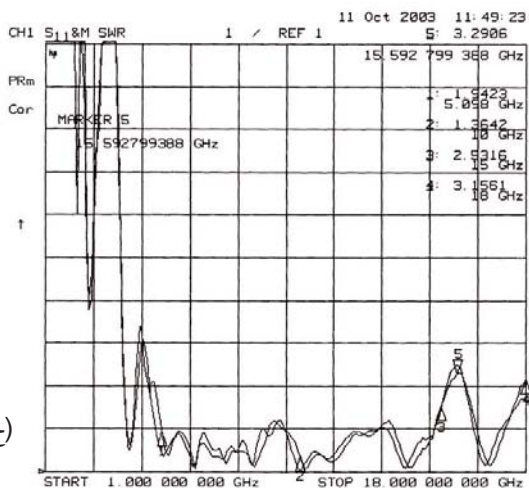


(الف)



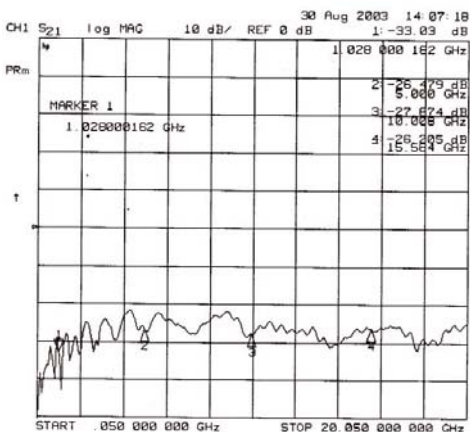


(ب)



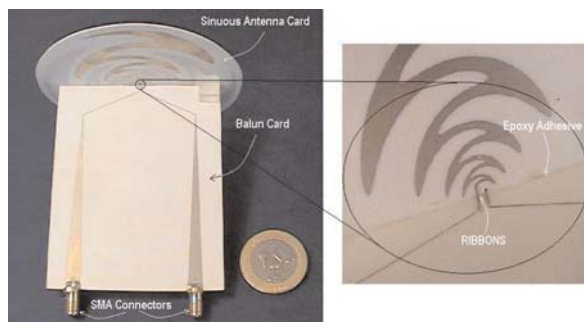
(ج)

شکل (۱۴): منحنی SWR بر حسب فرکانس هر دو پورت آنتن سینوس
 (الف) باند ۱-۵ GHz، (ب) باند ۲-۱۸ GHz، (ج) باند ۶-۱۸GHz



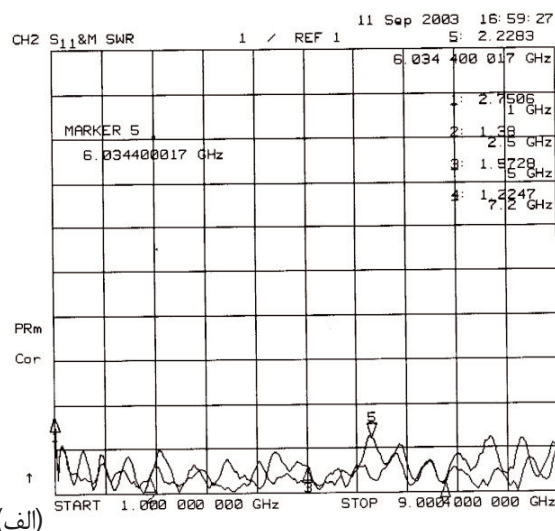
شکل (۱۵): منحنی تزویج متقابل دو بازوی آنتن سینوس باند
 ۲-۱۸ GHz

کار چاپ و تولید این آنتنها در آزمایشگاه لایه نازک دانشگاه تهران و آزمایشگاه میکروالکترونیک جهاد دانشگاهی صنعتی شریف انجام گرفته است. برای اتصال کارت بالن و آنتن، از ریبنهایی مسی با ابعاد $0.12\text{mm} \times 0.35\text{mm}$ استفاده شده است. این ریبنها، ابتدا به کارت بالن متصل می شوند و سپس همراه با بالن به آنتن اتصال داده می شوند. برای استحکام بخشیدن به اتصال کارت بالن به کارت آنتن، از قطعات کوچک مکهبی از جنس فایبرگلاس استفاده شده است که یک سطح آن به بالن و سطح دیگر که عمود بر این سطح می باشد، بوسیله چسب به کارت آنتن متصل می شود.



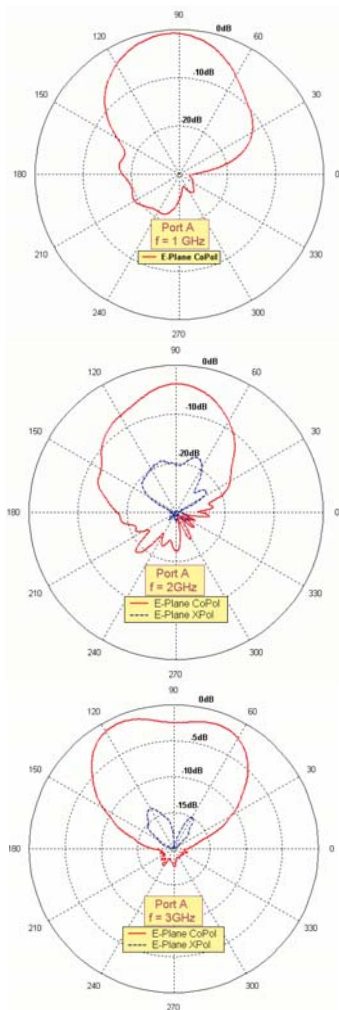
شکل (۱۳): جزئیات آنتن سینوس ۱۸-۲ GHz با بالنهای باریک شونده خطی

اندازه گیری تلف برگشتی و ایزولاسیون دو پورت خروجی این آنتنها که توسط دستگاه آنالیزگر شبکه مدل HP۸۷۲۰D صورت گرفته است، در شکلهای ۱۴ و ۱۵ آورده شده است.



(الف)

برد مدار چاپی و جاذب با فاصله‌ای که توسط فوم شانه‌عسلی پر می‌شود، از هم جدا می‌شوند، تا بتوان اثرگذاری متقابل آنها را کاهش داد. فوم شانه‌عسلی از ماده‌ای ساخته می‌شود که از لحاظ مکانیکی دارای استحکام بالا بوده ولی دارای ثابت دی‌الکتریک نزدیک یک باشد. این فوم شانه‌عسلی با نام $1/15$ HCGR RAM-C محصول شرکت کامینگ مایکروویو^۹ با ضخامت ۱^۰ بوده و تلف برگشتی آن کمتر از ۱۵ dB می‌باشد. اندازه‌گیرهای الگوی تشعشعی این آنتن‌ها در اتاق جاذب آزمایشگاه آنتن دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی و دانشگاه صنعتی مالک اشتر انجام گرفته است. با توجه به اینکه تمامی آنتن‌های سینوس این مقاله، مشخصات طراحی یکسانی دارند، فقط الگوهای تشعشعی نمونه آنتن سینوس باند ۱-۵ GHz در فرکانسهای مختلف آورده می‌شود (شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ را ببینید).



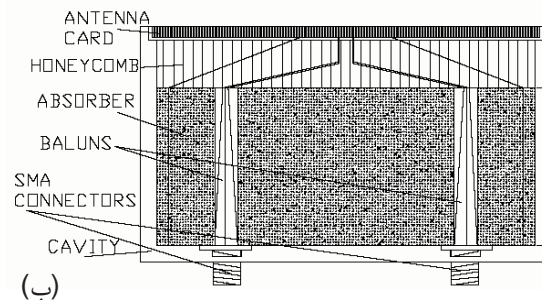
8- EMERSUN and CUMMING Corporation

چنانکه از این شکلها مشاهده می‌شود، منحنی SWR هر دو ورودی آنتن ۱-۵ GHz در کل باند کمتر از ۲:۱ می‌باشد. ولی برای آنتنهای باند ۲-۱۸ GHz و ۶-۱۸GHz در ۸۰٪ باند، کمتر از ۲:۱ می‌باشد و در کل باند، زیر ۲/۵:۱ قرار دارند. همچنین دو پورت آنتن باند ۲-۱۸ GHz در کل باند عملکرد خود بیش از ۲۰ dB از هم ایزوله می‌باشند (شکل ۱۵ را ببینید).

شمای آنتن سینوس باند ۱-۵ GHz به همراه حفره فلزی که یک سیلندر آلومینیومی است و با جاذب الکترومغناطیسی مناسب پر شده است در شکل ۱۶ آورده شده است. این حفره با بریدن یک ورقه آلومینیومی و سنبه زدن آن ساخته می‌شود، عمق حفره چنان تنظیم می‌شود که با ابعاد جاذب و فومها منطبق باشد (شکل ۱۶ را ببینید). جاذبی که انتخاب شده است، ECCOSORB-AN-۷۷ محصول شرکت امِرسون & کامینگ^۸ می‌باشد. این جاذب می‌تواند امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالای ۱GHz را به شکل کاملاً موثری جذب کند.

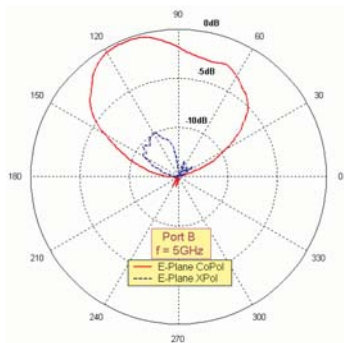


(الف)

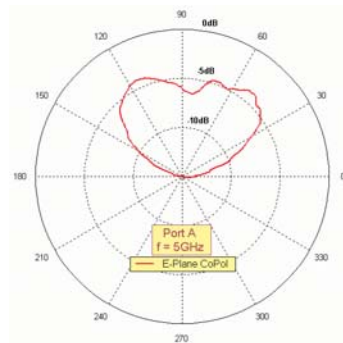


شکل (۱۶): شمای آنتن سینوس به همراه حفره پر شده با جاذب

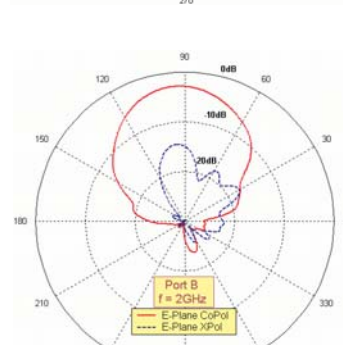
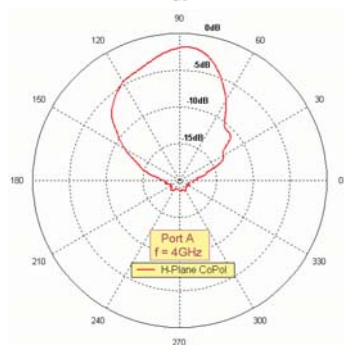
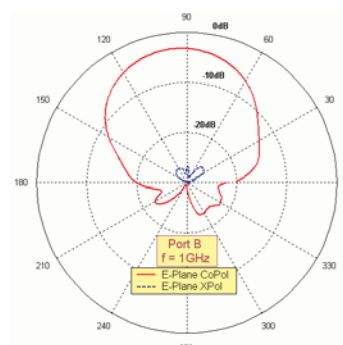
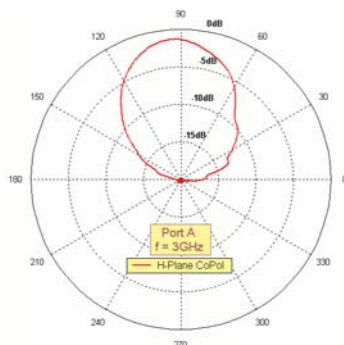
9- CUMMING MICROWAVE Corporation



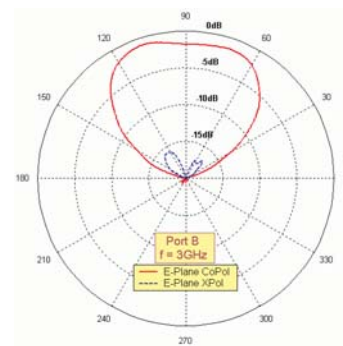
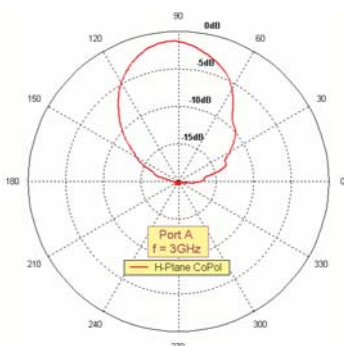
شکل (۱۸): الگوی تشعشعی صفحه E اندازه گیری شده آنتن سینوس باند ۱-۵GHz مربوط به پورت B در فرکانسهای ۱GHz، ۲GHz، ۳GHz و ۵GHz



شکل (۱۷): الگوی تشعشعی صفحه E اندازه گیری شده آنتن سینوس باند ۱-۵ GHz مربوط به پورت A در فرکانسهای ۱GHz، ۲ GHz، ۳ GHz و ۵ GHz



شکل (۱۹): الگوی تشعشعی صفحه H اندازه گیری شده آنتن سینوس باند ۱-۵GHz مربوط به پورت A در فرکانسهای ۳ GHz و ۴ GHz



۱-۵GHz در پهنای پرتو موثرش، تقریباً یکسان می‌باشد و در تمامی موارد، با نتایج حاصل از شبیه‌سازی به خوبی سازگار است. سطح پلاریزاسیون متقاطع آنتنهای سینوس عموماً کمتر از -۱۳dB می‌باشد. بطور کلی، پهنای پرتو -۳dB این آنتنها، در حدود ۸۰ درجه می‌باشد و همواره در محدوده ۹۰-۷۰ می‌ماند. لوجی پرتو نسبت به فرکانس، کمتر از ۵ می‌باشد که با توجه به پهنای پرتو بسیار بالای این آنتنها این میزان لوجی کاملاً بی‌اهمیت می‌باشد. و در نهایت، در یک جمله می‌توان گفت که نتایج حاصل از اندازه‌گیری این آنتنها، کاملاً رضایت بخش بوده و می‌تواند انتظارات و نیازهای صنعت را برآورده سازد.

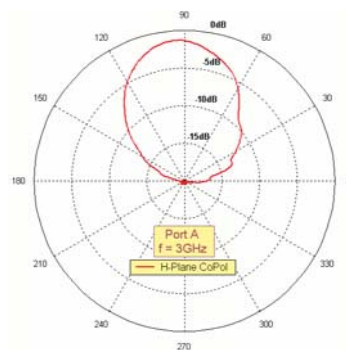
۷- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مدیرعامل و مدیر تحقیقات شرکت صنایع الکترونیک زعیم که پشتیبانی فنی و مالی این پروژه را بر عهده داشتند، تشکر و قدردانی میکنند.

مراجع

- [1] Johnson and Jasik, "Antenna Engineering Handbook," Second Edition, McGraw-Hill Book Co., 1984, Chapter 14.
- [2] R. H. DuHamel, "Dual Polarized Sinuous Antennas," U.S. Patent No. 4,658,262, April 14, 1987
- [3] John D. Kraus, "Antennas," Second Edition, McGraw-Hill International Editions, 1988, Chapter 15.
- [4] Ph. Gonnet, A. Skrivervik, A. Sharahia, "Feeding Networks for Sinuous Antennas," Microwave and Optical Technology Letters, Vol.20, No. 3, February 5 1999.
- [5] Bruce Veidt, "Sinuous Antenna Simulation Results", Herzberg Institute of Astrophysics, Canada, December 3, 1998.
- [6] K. M. Pour Aghdam, Reza Faraji-Dana and Jalil Rashed-Mohassel, "Design and Construction of Dual Polarized Sinuous Antenna in the 2-18GHz Frequency Range", 12th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2004), Mashhad, Iran, 2004.
- [7] K. M. Pour Aghdam, "Design and Construction of Dual Polarized Sinuous and Log-Periodic Antennas in the 2-18GHz Frequency Range", M. S. Thesis in Electrical Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran, 2003.
- [8] Ansoft High Frequency Structure Simulator (HFSS) Tutorial, Ansoft Corporation, 2003.

10- Beam Squint vs. frequency



شکل (۲۰): الگوی تشعشی صفحه H اندازه گیری شده آنتن سینوس باند ۱-۵ GHz مربوط به پورت B در فرکانسهای ۴ GHz و ۵ GHz

نتایج اندازه‌گیری الگوهای آنتن، اطلاعات بسیار مفیدی در رابطه با طراحی این آنتنها به ما می‌دهد. بطور کلی، الگوی توان تشعشی آنتن سینوس، آنگونه که انتظار می‌رفت و شبیه‌سازیها پیش بینی می‌کردند، خوب بود و برای کاربردهای عمومی، این آنتن جوابگو می‌باشد. سطح پلاریزاسیون متقاطع آنتن سینوس نمونه عموماً، کمتر از -۱۳dB می‌باشد. البته با چند نمونه بهتر یا بدتر که نمونه بهتر از -۱۰dB را می‌توان در در فرکانسهای پایین مشاهده کرد. بطور کلی، پهنای پرتو -۳dB آنتن فوق، در حدود ۸۰ درجه می‌باشد و همواره در محدوده ۹۰-۷۰ می‌ماند. لوجی پرتو نسبت به فرکانس ۱۰ فرکانس در کل باند فرکانسی ۱-۵ GHz، کمتر از ۵± می‌باشد. بطور عملی، این مقادیر برای پارامتر لوجی پرتو چندان بالا نمی‌باشد. زیرا کجی پرتو از پهلواش^{۱۱}، برای آنتنهای که پهنای پرتو بالایی دارند، مانند آنتن سینوس چندان اهمیت ندارد. کجی ۳ یا ۶ dB برای این آنتن ها بعنوان پارامتر لوجی پرتو، دارای معنی است. ولی مقادیر داده شده در اینجا، با اختلاف بسیار کوچکی در سطح توان آنتن در راستای عمود بر صفحه آنتن، نسبت به محدوده بیشینه‌ای که توان دریافت می‌شود، محاسبه شده است.

۶- نتیجه گیری

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام گرفته تمامی آنتن‌های سینوس، از لحاظ تلف برگشتی عملکرد تقریباً یکسانی دارند (در همه موارد $SWR < 2/5$). الگوهای تشعشی نمونه آنتن سینوس

11- Broadside