

بررسی و انتخاب بهینه پارامترهای آنتن باند پهن سینوسی

امیر جعفرقلی^۱

منوچهر کامیاب^۲

چکیده

آنتن های سینوسی یکی از کاربردی ترین آنتن های پهن باند در سامانه های جهت یاب، فید آنتن های رفلکتوری و آزمایشگاههای تحقیقاتی هستند. این آنتن ها برخلاف آنتن های حلزونی، به دلیل داشتن دو پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپگرد همزمان در سامانه های راداری و موشکی که نیاز به دریافت و ارسال همزمان دیتا توسط یک آنتن واحد وجود دارد نیز کاربرد دارند. این آنتن ها از لحاظ اندازه، شبیه آنتن حلزونی هستند و پهنای باند و بهره ای شبیه آن دارند. با وجود مزیت نسبی این نوع آنتن نسبت به آنتن حلزونی، پیچیدگی های ساختاری این آنتن موجب شده است که کمتر مورد بررسی دقیق پارامتری قرار گیرند. در این مقاله، پارامترهای آنتن سینوسی و تاثیر آنها بر پنج مشخصه مهم آنتن مورد بررسی قرار گرفته و بر این اساس پیشنهاد بهینه طراحی، شبیه سازی و پیاده سازی شده است.

کلیدواژه

آنتن چهاربازویی باند پهن سینوسی

۱. دانشجوی دکترای برق - دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی Jafargholi@ee.kntu.ac.ir

۲. دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۸ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۱۵

مقدمه

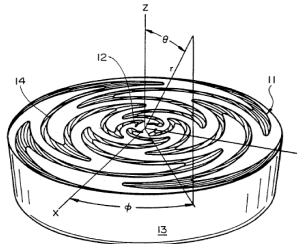
در بسیاری از کاربردها مانند سامانه های جهت یاب یا فید آنتن های رفلکتوری، می بایست از المانهای تشعشعی باند وسیعی که همزمان دویپلاریزاسیون عمود برهم را فراهم می سازند استفاده نمود. توانایی فراهم کردن هر دو پلاریزاسیون (خطی، افقی و عمودی و یا دایروی راستگرد و چپگرد) از یک روزنه تشعشعی ثابت، بسیار مهم است. در گذشته این نیاز توسط دو آرایه دیپل متقاطع با ساختار لگاریتمی فراهم می شد؛ اما این راه حل با چندین مشکل بزرگ روبرو بود. اول اینکه ساختار به کار گرفته شده ابعاد بزرگی دارد. دوم اینکه مرکز فاز این آرایه با تغییر فرکانس تغییر می کند. مسئله سوم در مورد این آنتن ها عدم تشابه پترن تشعشعی آنتن در صفحه های E و H است و در نهایت، در این آنتن ها خواص تشعشعی آنتن با تغییر فرکانس تغییر می کند. یکی از پیشنهادات جایگزین، آنتن های مستقل از فرکانس بود. در آنتن های مستقل از فرکانس، مشخصه آنتن بر اساس زاویه تعریف می شود، [۱]. آنتن حلزونی یکی از انواع آنتن های مستقل از فرکانس است. پهنای باند آنتن حلزونی بر تمامی این مشکلات فائق آمده است، اما این آنتن نیز تنها توانایی ارسال و دریافت یک پلاریزاسیون دایروی را دارد. برای بدست آوردن پهنای باند مناسب به همراه دو پلاریزاسیون دایروی در آنتن حلزونی، تنها با تکنیک تغذیه دوتایی از بیرون و درون حلزون، پهنای باند تا حداکثر ۳:۱ بدست می آید. در حالت چهار تغذیه ای نیز این پهنای باند کمتر از ۳:۱ خواهد بود. با افزایش تعداد بازوها پهنای باند افزایش می یابد ولی پیچیدگی تغذیه پلاریزاسیون دایروی، پیاده سازی را غیر عملی می کند، [۲].

برای حل این مشکلات بود که، آنتن سینوسی در سال ۱۹۸۲ توسط Duhamel ارائه شد، [۳]. این آنتن از جمله آنتنهای خودمکمل و باند پهن است. آنتن های خودمکمل آنتن هایی هستند که ناحیه فلزی و غیرفلزی یکسانی دارند. امپدانس ورودی آنها تقریباً حقیقی بوده و در کل باند کاری، مستقل از فرکانس است، [۴]. مدل سیمی آنتن سینوسی در [۵] ارائه و بررسی شده است. کاربرد وسیع آنتن سینوسی موجب گردیده که طراحی و پیاده سازی آن در مقالات متعددی مورد توجه قرار گیرد، [۶]-[۱۴]. برخلاف آنتن حلزونی که به دلیل سادگی تحلیل و شبیه سازی، به روش های مختلف تحلیلی و عددی مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای طراحی آن بحث شده است، آنتن سینوسی به دلیل ساختار پیچیده تر؛ چه در حوزه روش های تحلیلی و عددی و چه توسط نرم افزارهای مرسوم کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در [۶] و [۷] شبیه سازی ساختارهای صفحه ای و مخروطی آنتن سینوسی بر اساس نرم افزار FEKO ارائه شده است. اگرچه مراجع یاد شده، تنها مراجعی هستند که در آنها پارامترهای این آنتن مورد بررسی قرار گرفته است؛ ولی بررسی پارامترهای محدود (تعداد

سلولها و نرخ رشد لگاریتمی بازوها) و عدم دقت کافی به دلیل استفاده از نرم افزار یاد شده، مسئله بررسی تاثیر پارامترهای طراحی بر مشخصات آنتن سینوسی را حل نشده باقی می گذارد. هدف اصلی این مقاله، بررسی دقیق تاثیر پارامترهای آنتن سینوسی شامل: نوع زیرآیند، ضخامت زیرآیند، تعداد سلولها، پهنای زاویه ای و زاویه بازشدگی بازوها بر چهار مشخصه مهم آنتن شامل: گین، Axial Ratio (AR)، پهنای بیم و امپدانس آنتن و ارائه پیشنهاد بهینه می باشد. بر این اساس، پس از استخراج پارامترهای بهینه، آنتن سینوسی چهاربازویی مورد طراحی، شبیه سازی و پیاده سازی قرار گرفته است.

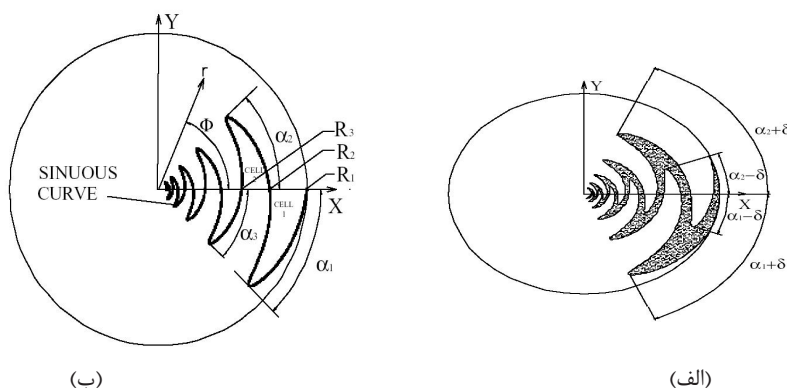
آنتن سینوسی و معرفی پارامترهای آن

شمای کلی آنتن سینوسی به همراه محفظه رزناسی آن در شکل (۱) نشان داده است. آنتن سینوسی دارای دو پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپگرد بوده و امپدانس، گین و پهنای باندی مشابه آنتن های ارشمیدسی دارد. پهنای باند زیاد و اندازه کوچک از مزایای این آنتن به شمار می آید. روزنه تشعشی آنتن سینوسی مرکز فاز ثابتی را بسته به پلاریزاسیون و فرکانس عملکرد فراهم میسازد. همانطور که پیشتر اشاره شد، این آنتن خود مکمل بوده و با استفاده از ساختار متوازن تغذیه می شود. پهنای بیم آنتن سینوسی قابل کنترل است. این آنتن پترنی جهتی تر، AR کوچکتر، لوبهای فرعی پایین تر و لوبهای پشتی کوچکتری نسبت به آنتن های حلزونی دارد. در آنتن سینوسی N بازویی فاصله زاویه ای بازوها از هم $360/N$ بوده و ساختار با افزایش شعاع نسبت به مرکز و با حرکتی به جلو و عقب ساخته می شود. بازوهای آنتن سینوسی نمی بایست به هم متصل شده و یا از روی هم عبور کنند. نقطه تغذیه در داخلی ترین ناحیه آنتن قرار دارد و با تغذیه ای به صورت اختلاف فاز $\pm 90^\circ$ می توان به پلاریزاسیون دایروی دست یافت. مقاومت ورودی این آنتن 188.5Ω و رآکتانس آن $\epsilon_r=2.33, h=30-50\text{mil}$ با مشخصات 200Ω تا 160Ω و مقدار رآکتانس ورودی کماکان صفر است، [۳]-[۱۴].



شکل ۱: ساختار آنتن سینوسی به همراه محفظه رزناسی، [۳]

شکل (۲) ساختار پایه‌ای یک منحنی سینوسی را که می‌تواند یکی از بازوهای آنتن سینوسی باشد نشان می‌دهد. با توجه به ساختار متناوب لگاریتمی، منحنی سینوس به طور کامل با یک سری زوایای α_p و ضرایب گشودگی τ_p تعریف می‌شود. به ترتیب پهنای زاویه‌ای و نسبت شعاع درونی به بیرونی سلول p هستند. این پارامترها در شکل (۲-الف) مشخص شده‌اند. منحنی سینوس از تعدادی سلول تشکیل می‌شود که در شکل (۲-ب) سلول شماره (۱) توسط نقطه چین مشخص شده است. این منحنی از سلول شماره (۱) با شعاع بیرونی R_1 شروع شده و R_p اندازه و شعاع بیرونی سلول p را نشان می‌دهد.



شکل ۲: ساختار پایه‌های یک منحنی سینوس، (الف) منحنی پایه (ب) ساختار بازوی سینوسی، [۳]

رابطه (۱) مختصات نقاط سلول p را بیان می‌دارد، [۳]:

$$\varphi = (-1)^p \alpha_p \cdot \sin \left[\frac{180 \cdot \text{Ln} \left(\frac{r}{R_p} \right)}{\text{Ln}(\tau_p)} \right] \quad \text{و} \quad R_{p+1} \leq r \leq R_p \quad \text{و} \quad R_{p+1} = \tau_p \cdot R_p \quad (1)$$

معادله آنتن سینوسی، معادله‌ای بر حسب سلول p است. در صورتیکه پارامترهای α_p, τ_p مستقل از p و ثابت باشند، آنتن لوگ پریودیک سینوسی خواهیم داشت و در غیر این صورت آنتن را شبه لوگ پریودیک سینوسی می‌نامند. معمولاً آنتن لوگ پریودیک سینوسی را به اختصار آنتن سینوسی می‌نامند، [۳].

هر بازوی سینوسی با چرخاندن منحنی حاصل از معادله (۱) و با جمع و کم کردن زاویه δ حول مرکز منحنی حاصل میشود. بازوی آنتن سینوسی در شکل (۲ - ب) مشخص شده است. ساختار کامل N بازویی با چرخش زاویه های یک بازو به میزان $\frac{360}{N}$ درجه حاصل میشود. ساختار چهار بازویی برای دسترسی به دو پلاریزاسیون عمود برهم خطی یا دایروی به کار می رود. برای ایجاد دوپلاریزاسیون عمود بر هم باید بازوهای روبروی هم با اختلاف فاز 180° درجه و در مرکز بازوها، تغذیه شود. نتیجه حاصل، دو پرتو دو جهته متقارن چرخشی است که نسبت به دو جفت بازوی خود پلاریزه خطی شده دارند. هردو پرتو در راستای عمود بر صفحه روزنه دارای مقدار بیشینه هستند. در آنتن لوگ پرئودیک سینوسی می توان با انتخاب و تغییر مناسب α_p بر حسب P پهنای بیم را تغییر داد. قابلیت تغییر پهنای بیم تنها در آنتن سینوسی امکان پیاده سازی دارد که در آنتن حلزونی وجود ندارد. در یک پهنای باند دلخواه τ_p تعداد سلولهای آنتن سینوسی را مشخص می کند. اندازه کوچک τ_p موجب سهولت در پیاده سازی و ساخت آنتن می شود. از طرفی به دلیل تضعیف بیش از اندازه اولین ناحیه فعال آنتن و همچنین مستقل از فرکانس بودن آنتن سینوسی می بایست τ_p دارای مقداری کمینه باشد. در [۳] مقدار بهینه τ_p عددی بزرگتر از 0.65 معرفی شده است. با این انتخاب تقارن در پترن ایجاد شده و مقدار AR پایینی برای کل پهنای باند فرکانسی خواهیم داشت.

اولین ناحیه فعال آنتن در $r(\alpha_p + \delta) = \frac{\lambda}{4}$ اتفاق می افتد. مسئله مهم در اینجا ناچیز بودن میزان تشعشع دیگر بخشهای آنتن به دلیل تضعیف زیادی است که بر روی موج متحرک ایجاد می کند. در صورتیکه پهنای هر یک از سلولهای آنتن سینوسی یکسان باشد، انعکاس زیادی در نواحی خم شدگی به وجود می آید. مدار معادل خم شدگی ها در طول ساختار آنتن سینوسی سلف هایی سری در طول خط انتقال است که بیانگر سلولها هستند. پهنای باند فرکانسی توسط شعاعهای بیرونی و درونی R_p کنترل می شود. فرکانس قطع پایین آنتن سینوسی عبارآزمایش از، [۳]:

$$\lambda_L = 4R_p(\alpha_p + \delta) \quad (2)$$

فرکانس بالای آنتن، عموماً به وسیله تغذیه آنتن محدود میشود. این فرکانس به صورت رابطه $R_p(\alpha_p + \delta) < \frac{\lambda_H}{4}$ ارائه شده، که به منظور دست یابی به مشخصه امیدانسی و پترن تشعشعی مناسب، ناحیه گذاری برای فرکانس بالا در نظر گرفته می شود. بنابراین کوچکترین سلول باید کوچکتر از $\frac{\lambda_H}{4}$ باشد تا گذر مناسب از منطقه تحریک به منطقه فعال ایجاد شود. با در نظر گرفتن ناحیه گذار فرکانس بالا، فرکانس قطع به صورت رابطه (۳) در نظر گرفته می شود، [۳]:

$$2R_p(\alpha_p + \delta) = \frac{\lambda_H}{4} \quad (3)$$

بنابراین پهنای باند فرکانسی عبارآزمایش از، [۳]:

$$FR = \frac{\lambda_H}{\lambda_L} = \frac{R_1(\alpha_1 + \delta)}{2R_p(\alpha_p + \delta)} \quad (۴)$$

پهنای بیم آنتن برای ناحیه فعال با شعاع ناحیه فعال متناسب بوده و طبق رابطه (۵) بیان می گردد. در آنتن لوگ پریودیک سینوسی پهنای بیم برای فرکانس هایی که ناحیه فعال آنها درون R_1 قرار می گیرند، مستقل از فرکانس خواهد بود، [۳]:

$$BW \propto \frac{1}{(\alpha_p + \delta)} \quad (۵)$$

ساختار آنتن سینوسی ساختاری خودمکمل است. شرط حفظ خصوصیت خودمکملی آنتن سینوسی N بازویی عبارآزمایش از، [۳]:

$$\delta = 180/2N \quad (۶)$$

همانطور که پیشتر اشاره شد، امیدانس ورودی ساختارهای خودمکمل حقیقی بوده و مستقل از فرکانس است. مقدار این امیدانس برای هر بازو نسبت به زمین برای مود M_m عبارآزمایش از، [۳]

$$Z_m = \frac{30\pi}{\text{Sin}\left(\frac{\pi M}{N}\right)} \quad (۷)$$

در این آنتن امیدانس ورودی هر بازو نسبت به زمین 133Ω است که در ساختارهای نامحدود این مقدار مستقل از فرکانس می باشد. افزایش یا کاهش δ از مقدار 22.5^0 به ترتیب موجب کاهش یا افزایش امیدانس ورودی آنتن می شود. مشخصه خود مکمل آنتن سینوسی دو خاصیت مهم را در این آنتن موجب می شود. اول اینکه در این آنتن دیگر انعکاسی از نواحی خم شدگی وجود نخواهد داشت و دوم اینکه با توجه به تضعیف 10-20 dB ناشی از ناحیه فعال اول، اثرات لبه های انتهایی آنتن و انعکاسات ناشی از لبه های خارجی ساختار و همچنین تشعشع ناشی از دیگر نواحی خارج از ناحیه فعال آنتن ناچیز خواهد بود و به همین دلیل عملکردی تقریباً مستقل از فرکانس خواهیم داشت. با افزایش δ نسبت FBR، کاهش یافته و برای δ کوچکتر از 30^0 این نسبت به بیش از 10dB می رسد.

بررسی پارامترهای آنتن سینوسی

در بخش قبلی شرح مختصری از خصوصیات آنتن سینوسی ارائه شد. در این بخش تاثیر پارامترهای طراحی آنتن سینوسی بر چهار مشخصه مهم آنتن شامل: گین، AR، پهنای بیم و امیدانس آنتن بررسی می گردد. پارامترهای طراحی شامل: نوع زیرآیند، ضخامت زیرآیند، تعداد سلولها، پهنای زاویه ای

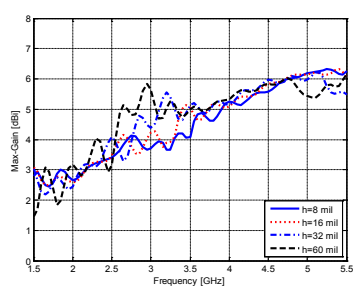
α ، و زاویه بازشدگی بازوها، δ ، می باشد. برای انجام این بررسی از نرم افزار CST استفاده شده است. به منظور یکسان سازی شبیه سازی های انجام شده، در همه موارد از ساختار یکسانی در بخش تغذیه استفاده شده است.

الف) بررسی اثر پارامترهای طراحی بر مشخصه گین آنتن

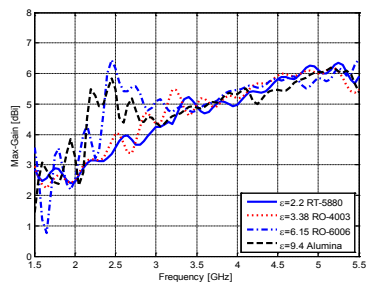
در شکل (۳ - الف) تاثیر ضخامت زیرآیند بر مشخصه گین آنتن مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل دیده می شود، اگرچه تفاوت گین بر حسب فرکانس برای ضخامت های مختلف زیرآیند چندان محسوس نیست؛ ضخامت $h=32\text{mil}$ ، گین بهینه را ایجاد می نماید. نتایج شبیه سازی تاثیر نوع زیرآیند بر مشخصه گین برای آنتنی با مشخصات ارائه شده در جدول (۱) و ضخامت $h=32\text{mil}$ ، در شکل (۳ - ب) ارائه شده است.

همانطور که در شکل دیده می شود، تفاوت گین در فرکانس های پایین باند کاری آنتن محسوس تر است و بر این اساس؛ زیرآیندی از نوع RO-6006 و با گذردهی $\epsilon_r=6.15$ ، گین بهینه و با مشخصه یکنواخت تری را ایجاد می نماید.

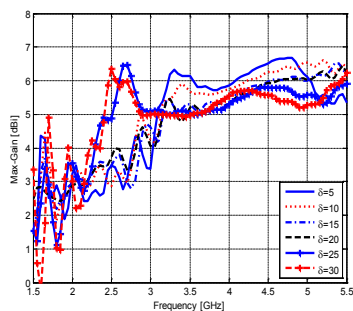
در شکل (۳ - ج) زاویه بازشدگی بازوها، (δ)، مورد بررسی قرار گرفته است. تاثیر این پارامتر بر گین آنتن در بالا و پایین باند متفاوت است، به طوریکه افزایش گین، در پایین باند با افزایش δ و در بالای باند با کاهش δ ایجاد می شود. بر این اساس مقدار بهینه را می توان $\delta=25^\circ$ انتخاب نمود. تاثیر تعداد سلولها بر گین آنتن بر حسب فرکانس در شکل (۳ - د) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، اگرچه انتخاب تعداد سه سلول، گین را در فرکانس های بالای باند کاری افزایش می دهد ولی در پایین باند چهار و پنج سلول شرایط بهتری ایجاد می نماید. از طرف دیگر، بررسی پترن تشعشعی آنتن برای حالت سه سلولی نشان می دهد که پترن آنتن نامتقارن بوده و از وضعیت مناسبی در مقایسه با دیگر تعداد سلول ها برخوردار نیست. لذا تعداد چهار یا پنج سلول را می توان شرایط بهینه در نظر گرفت. در نهایت پهنای زاویه ای α ، به عنوان آخرین پارامتر تاثیر گذار بر گین آنتن، در شکل (۳ - ه) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به بهبود گین در زوایای 45 یا 60، این دو حالت انتخاب های مناسبی به نظر می رسند.



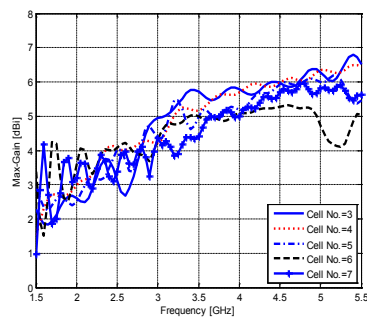
(ب)



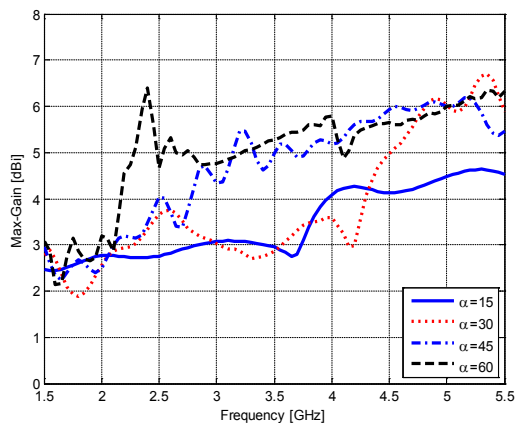
(الف)



(د)



(ج)



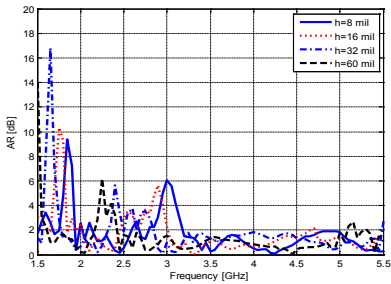
(ه)

شکل ۳: گین بیشینه بر اساس پارامترهای مختلف آنتن سینوسی، بر حسب فرکانس

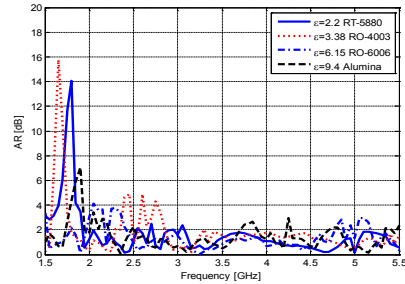
ب) بررسی اثر پارامترهای طراحی بر مشخصه AR

در شکل (۴ - الف) تاثیر ضخامت زیرآیند بر مشخصه AR مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل دیده می شود، مقدار کمینه AR برای ضخامت های 60mil , 32h, ایجاد می شود.

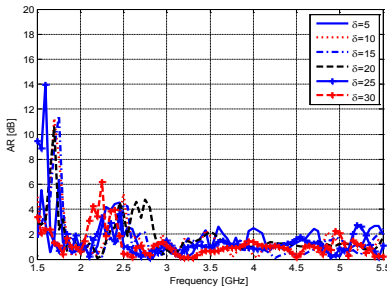
نتایج شبیه سازی تاثیر نوع زیرآیند بر مشخصه AR برای آنتنی با مشخصات ارائه شده در جدول (۱) و ضخامت $h=32\text{mil}$ ، در شکل (۴-ب) ارائه شده است. همانطور که در شکل دیده می شود، تفاوت AR بیشتر در فرکانس های پایین باند کاری آنتن دیده می شود و بر این اساس؛ زیرآیندی از نوع RT-5880 و با گذردهی $\epsilon_r=2.2$ ، AR بهینه را ایجاد می کند. در شکل (۴-ج) زاویه بازشدگی بازوها (δ) مورد بررسی قرار گرفته است. تاثیر این پارامتر بر AR در بالا و پایین باند متفاوت است، به طوریکه کاهش AR، در بالای باند با افزایش δ و در پایین باند با کاهش δ ایجاد می شود. بر این اساس مقدار بهینه را می توان $\delta=15^\circ$ انتخاب نمود. تاثیر تعداد سلولها بر AR بر حسب فرکانس در شکل (۴-د) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، اگرچه انتخاب تعداد هفت سلول، AR را در فرکانس های بالای باند کاری کاهش می دهد ولی در پایین باند چهار سلول شرایط بهتری ایجاد می نماید. در نهایت پهنای زاویه ای α ، به عنوان آخرین پارامتر تاثیر گذار بر AR، در شکل (۴-ه) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به بهبود AR در زوایای 15 یا 45، این دو حالت انتخاب های مناسبی به نظر می رسند. البته پترن تشعشعی آنتن در زاویه 45 دارای حالت بهینه و متقارن است.



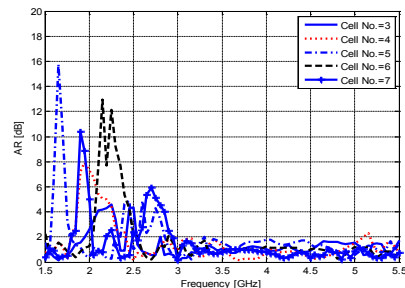
(ب)



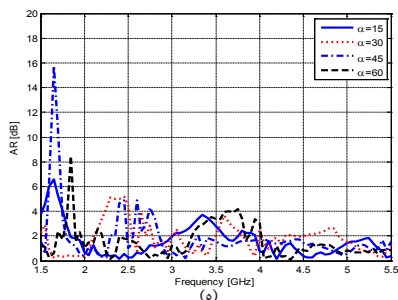
(ف)



(د)



(ج)

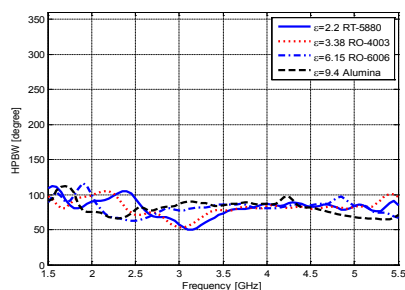
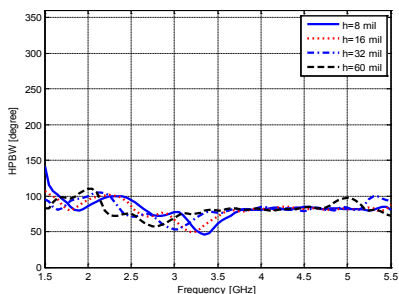


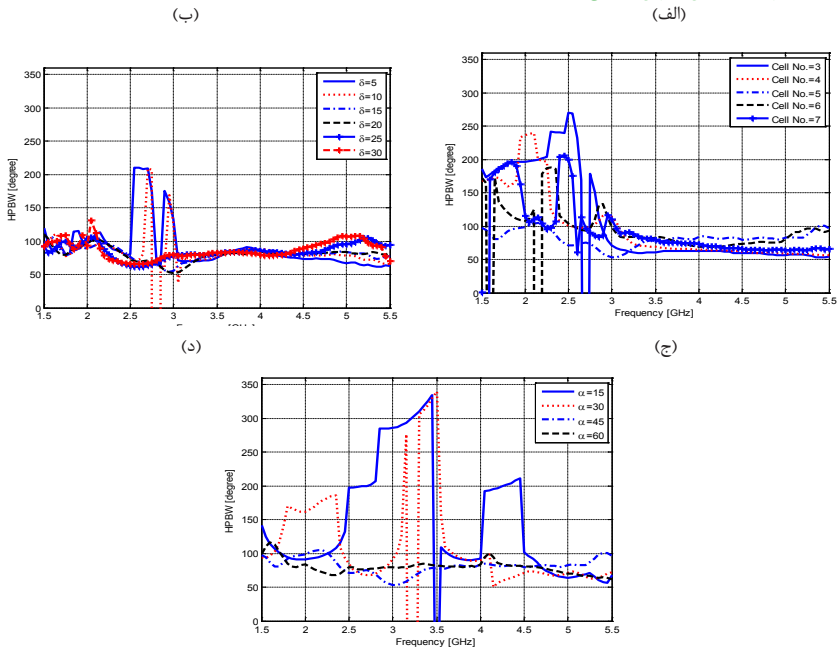
شکل ۴: AR بر اساس پارامترهای مختلف آنتن سینوسی، بر حسب فرکانس

ج) بررسی اثر پارامترهای طراحی بر مشخصه پهنای بیم

در شکل (۵ - الف) تاثیر ضخامت زیرآیند بر مشخصه پهنای بیم آنتن مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل دیده می شود، اگرچه تغییرات پهنای بیم بر حسب فرکانس برای ضخامت های مختلف زیرآیند چندان محسوس نیست؛ ضخامت $h=32\text{mil}$ ، کمترین تغییرات پهنای بیم را ایجاد می نماید. نتایج شبیه سازی تاثیر نوع زیرآیند بر تغییرات پهنای بیم برای آنتنی با مشخصات ارائه شده در جدول (۱) و ضخامت $h=32\text{mil}$ ، در شکل (۵ - ب) ارائه شده است. همانطور که در شکل دیده می شود، زیرآیندی از نوع RO-4003 و با گذردهی $\epsilon_r=3.38$ ، کمترین تغییرات پهنای بیم را ایجاد می کند.

در شکل (۵ - ج) زاویه بازشدگی بازوها (δ) مورد بررسی قرار گرفته است. رفتار پهنای بیم نشان می دهد که کمترین تغییرات را می توان با $\delta=25^\circ$ انتخاب نمود. تاثیر تعداد سلولها بر گین آنتن بر حسب فرکانس در شکل (۵ - د) نشان داده شده است. تاثیر تعداد سلولهای آنتن سینوسی بر پهنای بیم بر حسب فرکانس در شکل (۵ - د) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، تعداد پنج سلول، تغییرات پهنای بیم کمینه را ایجاد می کند. تاثیر پهنای زاویه ای α ، بر پهنای بیم، در شکل (۵ - ه) مشاهده می شود. با توجه به بهبود پهنای بیم در زوایای 45 یا 60، این دو حالت انتخاب های مناسبی به نظر می رسند.

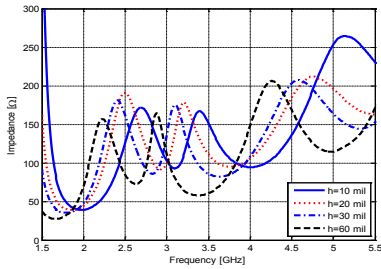




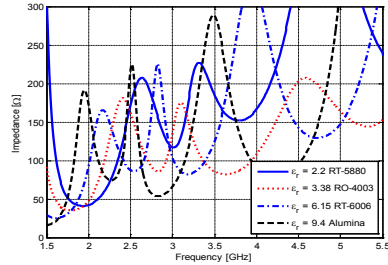
شکل ۵: HPBW بر اساس پارامترهای مختلف آنتن سینوسی، بر حسب فرکانس

د) بررسی اثر پارامترهای طراحی بر مشخصه امیدانسی

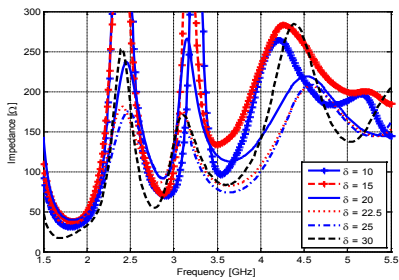
در شکل (۶-الف) تاثیر ضخامت زیرآیند بر تغییرات امیدانس آنتن مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل دیده می شود، ضخامت های $h=20, 32\text{mil}$ ، کمترین تغییرات امیدانسی را ایجاد می نمایند. نتایج شبیه سازی تاثیر نوع زیرآیند بر تغییرات امیدانس برای آنتنی با مشخصات ارائه شده در جدول (۱) و ضخامت $h=32\text{mil}$ ، در شکل (۶-ب) ارائه شده است. همانطور که در شکل دیده می شود، تغییرات امیدانسی بیشتر در فرکانس های بالای باند کاری آنتن دیده می شود و بر این اساس؛ زیرآیندی از نوع RO-4003 و با گذردهی $\epsilon_r=3.38$ ، مشخصه یکنواخت تری برای امیدانس آنتن ایجاد می نماید. در شکل (۶-ج) زاویه بازشدگی بازوها، δ ، مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس، کمترین تغییرات امیدانس برای مقادیر $\delta=22.5, 25^\circ$ به وجود می آید. تاثیر تعداد سلولهای آنتن سینوسی بر امیدانس آنتن بر حسب فرکانس در شکل (۶-د) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، پنج سلول شرایط بهینه را ایجاد می نماید. تاثیر پهنای زاویه ای α ، بر امیدانس آنتن، در شکل (۶-ج) مشاهده می شود. زاویه 45 انتخابی با کمترین تغییرات به نظر می رسد.



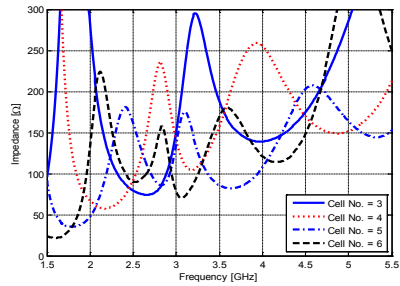
(ب)



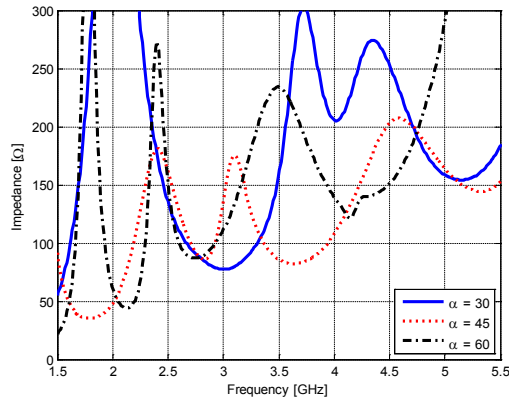
(الف)



(د)



(ج)



(ه)

شکل ۶: امپدانس ورودی بر اساس پارامترهای مختلف آنتن سینوسی، بر حسب فرکانس

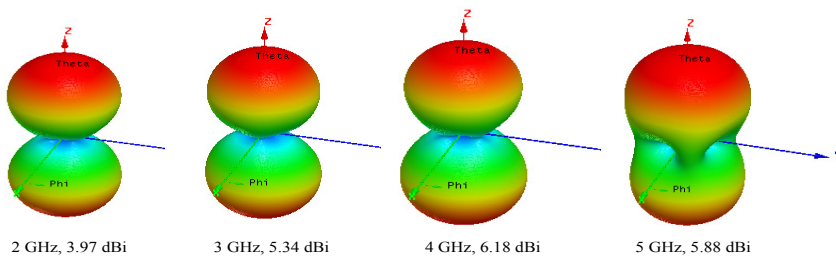
طراحی، شبیه سازی و پیاده سازی آنتن سینوسی

در این بخش به ارائه طراحی، شبیه سازی و ساخت آنتن سینوسی به منظور کاربری در باند فرکانسی 2-5GHz و با دو پلاریزاسیون همزمان دایروی راستگرد-چپگرد می پردازیم. مقادیر بهینه پارامترهای طراحی آنتن بر اساس نتایج شبیه سازی ارائه شده در بخش قبلی در جدول (۱) ارائه شده است.

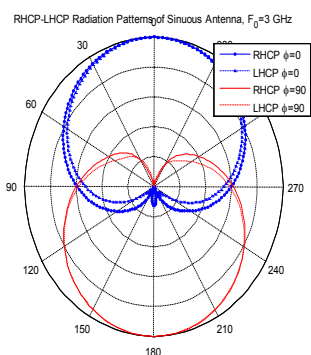
اساس روابط (۲) و (۳) شعاع درونی و بیرونی آنتن سینوسی برای فرکانس کاری 2-5GHz عبارتند از: $R_H=6.36\text{mm}$, $R_L=31.83\text{mm}$. به منظور حفظ مشخصات فرکانسی آنتن در دو طرف باند به ترتیب این دو شعاع را به صورت $R_H=6\text{mm}$, $R_L=32\text{mm}$ اصلاح می نماییم. بنابراین مشخصات کلی آنتن به صورت ارائه شده در جدول (۱) می باشد. خروجی شبیه سازی پترن آنتن در فرکانسهای 2-5GHz در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، پترن کاملا متقارن است. گین آنتن تا فرکانس 4GHz افزایش یافته و حدود 0.3dB در آخر باند کاهش نشان می دهد. علت کاهش گین در آخر باند افزایش پهنای باند آنتن در این فرکانس می باشد. بیشینه گین آنتن بین 4-6dBi در طول پهنای باند تغییر می کند. پترن تشعشی آنتن برای دو پلاریزاسیون دایروی راستگرد-چپگرد و در فرکانسهای مختلف در شکل (۸) نشان داده شده است. در این شکل خطوط خط چین و نقطه چین به ترتیب نشان دهنده پترن در زوایای $\phi=0^\circ$ و $\phi=90^\circ$ می باشند. خروجی شبیه سازی AR در شکل (۹) ارائه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، مقدار AR در پهنای باند زیر 80⁰ کمتر از 2dB است، که این مسئله خود شاهد بر رسیدن به دو پلاریزاسیون همزمان دایروی با AR مناسب در طول پهنای باند می باشد. در این شکل، خطوط خط چین و نقطه چین به ترتیب نشان دهنده مقدار AR در زوایای $\phi=0^\circ$ و $\phi=90^\circ$ می باشد.

جدول ۱: مشخصات آنتن سینوسی چهار بازویی طراحی شده بر اساس مقادیر بهینه

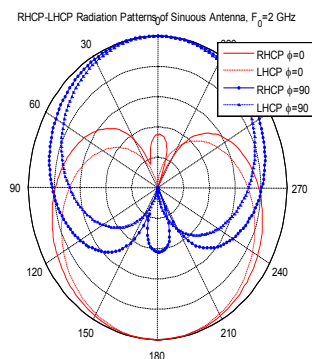
Antenna Type	Sinuous
# of Arms	4, Double Circular Polarization
Frequency Band	2-5 GHz
Substrate	RO4003, $\epsilon_r=3.38$
Substrate Thickness	30mil=0.762mm
α	45
δ	22.5
τ_p	0.75
R_L	32mm
R_H	6mm



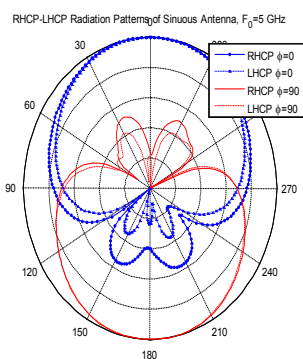
شکل ۷: نتایج شبیه سازی پترن آنتن سینوسی در فرکانسهای 2-5GHz



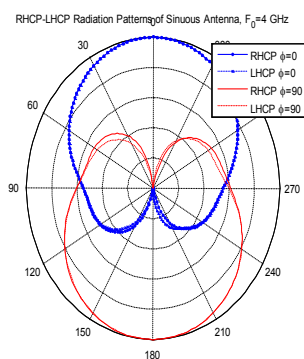
(ب)



(الف)



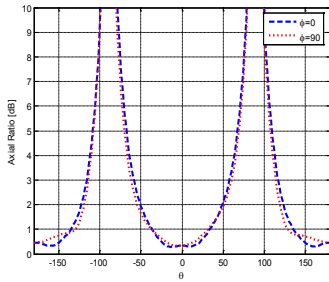
(د)



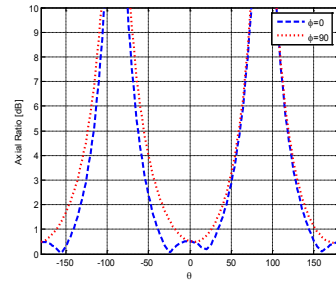
(ج)

شکل ۸: الگو تشعشی آنتن با دو پلاریزاسیون دایروی راستگرد-چپگرد؛ (الف) 2GHz، (ب) 3GHz، (ج) 4GHz

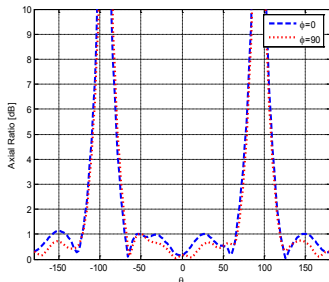
و (د) 5GHz



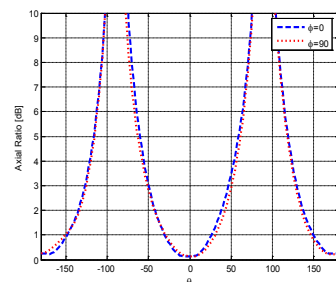
(ب)



(الف)



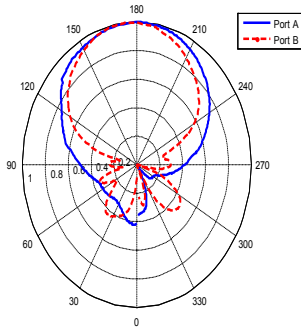
(د)



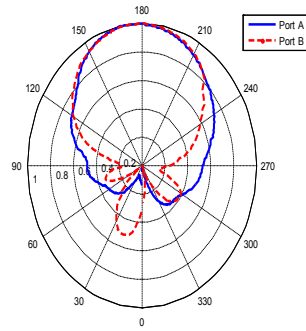
(ج)

شکل ۹: نتایج شبیه سازی AR؛ (الف) 2GHz، (ب) 3GHz، (ج) 4GHz و (د) 5GHz

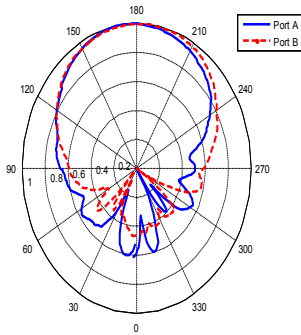
پترن اندازه گیری شده آنتن در شکل (۱۰) ارائه شده است. در این شکل پترن هر پورت به طور جداگانه اندازه گیری شده است. علت این مسئله عدم پیاده سازی مدار هایبرید به منظور داشتن دو پلاریزاسیون دایروی همزمان بوده است. با مقایسه اندازه گیری انجام شده و نتایج مراجع [۱۱] و [۱۲]، درستی نتایج به دست آمده تایید می گردد. به علت عدم وجود جاذب مناسب و متقارن، لوبهای پشتی پترن تشعشی به طور کامل حذف نگردیده است. در شکل (۱۱) نتایج اندازه گیری افت بازگشتی در دو پورت خروجی آنتن با نتایج شبیه سازی مقایسه شده است. در شکل (۱۲) نمایی از آنتن، محفظه رزناسی و بالون پیاده سازی شده مشاهده می گردد.



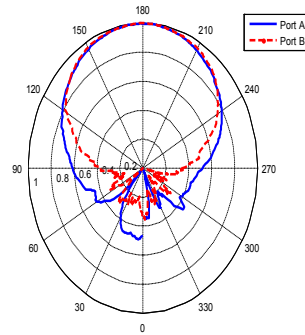
(ب)



(الف)

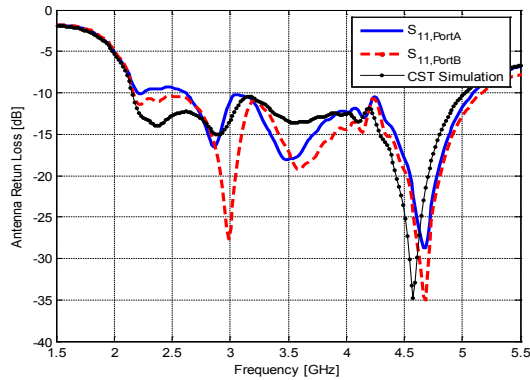


(د)

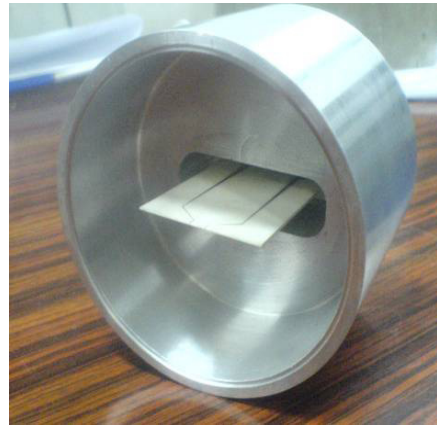
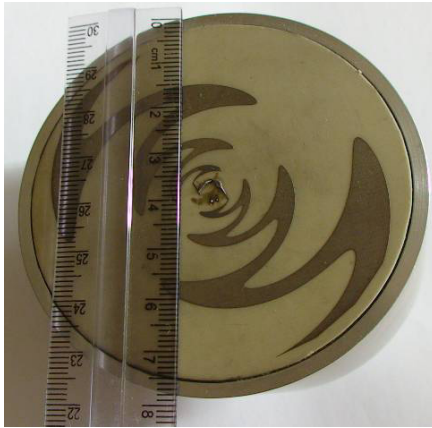


(ج)

شکل ۱۰: پترن تشعشی نرمالیزه آنتن برای دو پورت خروجی A و B؛ (الف) 2GHz، (ب) 3GHz، (ج) 4GHz و (د) 5GHz



شکل ۱۱: مقایسه نتایج شبیه سازی و اندازه گیری افت بازگشتی برای دو پورت خروجی آنتن سینوسی، امپدانس ورودی 180Ω



شکل ۱۲: شمایی از آنتن سینوسی پیاده سازی شده و محفظه رزنانسی و بالون پهن باند

مراجع

- 1.C. A. Balanis, Antenna Theory: analysis and Design, John Wiley & Sons, New York, 2003.
- 2.T. Cencich, and J. A. Huffman, "The Analysis of Wideband Spiral Antennas Using Modal Decomposition", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 46. NO. 4, PP. 20-26, August 2004.
- 3.R. H. Duhamel: "Dual polarized sinuous antenna", US. Patten 4,658,262, April
- 4.J. A. Huffman, and T. Cencich, "Modal Impedances of Planar, Non-Complementary, N-fold Symmetric Antenna Structures", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 47. NO. 1, PP. 110-116, February 2005.
- 5.Ph. Gonnet, A. Sharaiha, C. Terret, and A. Skrivervik, "Wire modelization and optimization of the sinuous antenna", Microwave. Opt. Technol. Lett. 13 1996, 156-160.
- 6.M. C. Buck and D. S. Filipovic, "Split-Beam Mode Four-Arm Slot Sinuous Antenna", IEEE Antennas and Wirless Propagation Letters, Vol.3, PP.83-86, 2004.
- 7.M. C. Buck, "Multifunctional, Multipolarized Sinuous and Spiral Antennas", PhD Thesis, University of Colorado, USA, 2007.
- 8.P. Salem, "Dual Polarized Sinuous Antenna and Ultra Wideband Feed Design

- and Integration”, M.S. Thesis, University of Ottawa, Canada, 2006.
- 9.A. Jafargholi, “Four Arms Sinuous Antenna, Simulation, Design and Implementation”, M.S. Thesis, K. N. Toosi University of Technology, Sep. 2007.
- 9.S. Y. Suh, “A Comprehensive Investigation of New Planar Wideband Antennas”, Virginia Polytechnic Institute and State University, Phd Thesis, July 29, 2002.
- 10.K. M. Pour Aghdam, R. Faraji-Dana, J. Rashed-Mohassel, “The sinuous antenna-A dual polarized feed for reflector-based searching systems”, *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)* 59 (2005) 392 – 400.
- 11.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”, *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers* Vol.1, No.3, PP. 23-32, Winter 2005.
- 12.D. S. Scannell, J.D.S Langley, N.A. Joyce, M. Haynes, C. Farmakidis, and F.W. Robinson, “Switchable Dual Circularly Polarised Ultra Wideband Antenna”, *Proceedings of IEE Conference*, 2002.
- 13.T. Chu and H. G. Oltman Jr., “The sinuous antenna,” *Microwave Syst.News Commun. Technol.*, vol. 18, pp. 40–48, June 1988.