

طراحی و ساخت آنتن ماریچی باند وسیع برای تصویربرداری مایکروویو

مهدی یوسف نیا^۱، عطااله ابراهیمزاده^{۲*}، مجتبی دهملائیان^۳

۱- دانشجوی دکتری، ۲- استاد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ۳- دانشیار، دانشگاه تهران

(دریافت: ۹۶/۱/۱۹، پذیرش: ۹۶/۰۷/۰۴)

چکیده: اخیراً آنتن‌های باند وسیع با قطبش دایروی، در زمینه تصویربرداری مایکروویو مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. در این مقاله استفاده از آنتن باند وسیع ماریچی لگاریتمی با قطبش دایروی برای آشکارسازی تومور پیشنهاد شده است. از مزیت‌های اصلی آنتن‌های باند وسیع به باند باریک، وضوح بالاتر آن و نیز جذب بیشتر میدان‌های پراکنده شده است. در مقایسه با آنتن ماریچی معمولی که برای ساختار تغذیه از کابل هم محور استفاده می‌کند، در این پژوهش برای بهبود عملکرد تشعشعی، استفاده از بالن میکرواستریپ به استریپ‌لین برای تغذیه دو بازوی آنتن ماریچی پیشنهاد شده است. نتایج اندازه‌گیری، افت برگشتی بهتر از ۱۰ dB را برای پهنای باند ۱۰/۶-۳/۱ GHz نشان می‌دهد. همچنین آنتن مذکور دارای الگوی تشعشعی دوطرفه با قطبش دایروی در کل پهنای باند می‌باشد. مشخصات زمانی سیستم ارسال و دریافت آنتن ماریچی پیشنهادی با بررسی دو پارامتر ضریب همبستگی و تاخیر گروه مورد بررسی قرار گرفته است. براساس نتایج دو پارامتر زمانی، ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۹۱ و تاخیر گروه کمتر از ۰/۱۵ ns برای آنتن پیشنهادی به‌دست آمده است. ساخت و اندازه‌گیری آنتن ماریچی مورد نظر برای کاربرد آشکارسازی تومور ارایه شده است.

کلید واژه‌ها: آنتن ماریچی باند وسیع، آشکارسازی تومور، افت برگشتی، ضریب همبستگی، تاخیر گروه.

۱- مقدمه

استفاده از سیستم‌های باند وسیع نسبت به باند باریک، سرعت زیاد انتقال اطلاعات، کم‌بودن توان پالس‌های ارسالی، وضوح بالا در محیط‌های چندمسیره، عدم مشکل با مساله محوشدگی و کاهش تداخل با دیگر سیستم‌های RF می‌باشد. از این‌رو در تصویربرداری از تومور سینه از برتری‌های آنتن‌های باند وسیع نسبت به باند باریک، وضوح بالاتر تصویر و مقاومت در برابر کلاترها می‌باشد. سیستم‌های باند وسیع با به‌کاربردن سیگنال‌های پالسی باریک که سبب افزایش وضوح تصویر می‌شوند، در رنج فرکانسی بالایی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲].

بنابراین، آنتن‌های پهن‌بند با قطبش دایروی می‌توانند جایگزینی مناسب برای آنتن‌های میکرواستریپ باندباریک با قطبش دایروی باشند. در تصویربرداری از تومور سینه، تومورها دارای اندازه‌ها، شکل‌ها (دایروی یا بیضوی) و یا جهت‌های مختلفی (عمودی یا افقی) هستند. به همین دلیل، آنتن‌های پهن‌بند با قطبش دایروی اثر بهتری در آشکارسازی تومور سینه خواهند داشت.

در این میان آنتن‌های ماریچی، به‌دلیل دارابودن پهنای باند بزرگ امپدانس ورودی، بهره و الگوی تابش نسبتاً ثابت، می‌توانند انتخاب مناسبی برای این کاربردها باشند. بسیاری از این خواص از تغذیه متوازن آنتن‌های ماریچی به‌دست می‌آید [۳]. ساختارهای ساده برای تغذیه این آنتن‌ها همواره مطلوب بوده است. تغذیه‌های

با افزایش کاربردهای سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم، آنتن‌های با قطبش دایروی^۱ به‌دلیل جلوگیری از تداخل چندمسیره و عدم ردیابی قطبش^۲ مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند [۱]. آنتن‌های با قطبش خطی تنها میدان‌های الکتریکی با همان جهت قطبش را دریافت می‌کنند. بنابراین، در آنتن‌های با قطبش خطی با چرخش قطبش موج برگشتی، مقدار انرژی دریافتی توسط آنتن‌ها کاهش می‌یابد. از این‌رو برای جبران کاهش تلفات حاصل از چرخش قطبش موج برگشتی، که ناشی از برگشتی‌های بافت‌های بدن می‌باشد، بایستی توان بیشتری به بافت ارسال شود که نامطلوب می‌باشد. از این‌رو برای جلوگیری از این مشکل آنتن‌های با قطبش دایروی پیشنهاد می‌شود که برای جمع‌آوری بیشتر انرژی‌های برگشتی در دهانه آنتن با استفاده کامل از مولفه‌های قطبش مناسب است.

علاوه بر این، پالس‌های الکترومغناطیس باند وسیع در حدود چند نانوثانیه، در آشکارسازی سیستم‌های مایکروویو نظامی و پزشکی به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مزیت

* نویسنده پاسخگو: e_zadeh@nit.ac.ir

1- Circular polarization (CP)
2- Polarization tracking

۲- طراحی آنتن و تغذیه

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، آنتن‌های مارپیچی لگاریتمی نسبت به ارشمیدوسی خاصیت اعوجاجی کمتری دارند، لذا در تصویربرداری از تومور سینه نوع لگاریتمی آنتن مارپیچی را در انتخاب می‌کنیم. طراحی این آنتن از نرم‌افزار ANSOFT HFSS با روش عددی المان محدود استفاده شده است. هدف از طراحی بهینه آنتن، رسیدن به افت برگشتی مطلوب، الگوی تشعشعی با قطبش دایروی، ضریب همبستگی قابل قبول و تاخیر گروه مناسب در کل پهنای باند مورد نظر می‌باشد. با توجه به این که آنتن مورد نظر در کاربرد تصویربرداری از تومور سینه استفاده می‌شود، ابعاد آنتن، با توجه به چیدمان آرایه‌ای از آنتن‌ها به صورت دایروی نزدیک به فانتوم سینه، یکی از مسایل اساسی است.

ساختار آنتن مارپیچی لگاریتمی با دو دور مطابق شکل (۱) به‌وسیله معادلات (۱-۲) داده شده است [۸]:

$$\rho_1 = \rho_0 e^{a\phi} \quad (1)$$

$$\rho_2 = \rho_0 e^{a(\phi-\delta)} \quad (2)$$

که در آن‌ها، ρ_1 و ρ_2 شعاع‌های خارجی و داخلی آنتن مارپیچی لگاریتمی، $\rho_0 e^{-\delta}$ و ρ_0 شعاع‌های اولیه و ϕ زاویه مکانی است. a متناسب با شدت بازشدگی بازوهای مارپیچ می‌باشد.

از این‌رو با توجه به محدودیت ابعاد آنتن مورد نظر (حداکثر عرض حدود ۴ cm)، مقادیر بهینه برای a ، ρ_0 و δ برای رسیدن به کمترین افت برگشتی در کل پهنای باند با استفاده از نرم‌افزار HFSS به‌دست آمد. مقادیر بهینه به‌دست آمده در طراحی آنتن مارپیچی لگاریتمی، $a=0.28$ ، $\rho_0 = 0.8 \text{ mm}$ و $\delta = \frac{\pi}{2}$ بر روی زیرلایه Rogers 4003 با $\epsilon_r = 3/38$ و $\tan \delta = 0/0027$ برای رسیدن به کمترین افت برگشتی در پهنای باند مورد نظر می‌باشد.

برای تغذیه آنتن مارپیچی لگاریتمی، بالن میکرواستریپ به استریپ‌لاین موازی در نظر گرفته شده است که از پشت به‌صورت عمودی به آنتن وصل می‌شود. آنتن مورد نظر و ساختار تغذیه آن در شکل (۱) نشان داده شده است. نقش اصلی بالن، تبدیل خط نامتوازن به متوازن است. استفاده از ساختار متوازن برای تغذیه، از خراب‌شدن عملکرد آنتن جلوگیری می‌کند. استفاده از بالن، توزیع جریان را روی استریپ‌لاین موازی که به دو سر آنتن مارپیچی متصل می‌شود بهبود می‌بخشد. در شکل (۲) توزیع جریان روی دو سر آنتن مارپیچی در حالتی که از کابل کواکسیال برای تغذیه آنتن استفاده می‌شود نشان داده شده است.

همچنین در شکل (۳) توزیع جریان روی دو سر آنتن مارپیچی در حالتی که از بالن برای تغذیه آنتن استفاده می‌شود نشان داده شده است. همان‌طور که در این دو شکل دیده می‌شود استفاده از بالن موجب بهبود توزیع جریان بر روی دو سر آنتن شده است. علاوه بر این، نقش بالن مورد نظر، تطبیق امپدانس

مختلفی در طی سال‌ها پیشنهاد شده است [۷-۱]. با وصل شدن تغذیه‌های نامتوازن مانند کابل کواکسیال 50Ω به آنتن‌هایی با ساختار متوازن مانند آنتن‌های مارپیچی، بسیاری از خواص تشعشعی این آنتن‌ها، به‌دلیل به‌هم‌خوردن توزیع جریان، خراب می‌شوند. از این‌رو برای حل این مشکل، ساختار بالن برای تغذیه آنتن‌های مارپیچی پیشنهاد می‌شود که به ابتدای دو بازوی آنتن وصل می‌گردد. بالن میکرواستریپ به استریپ‌لاین^۱ هم‌صفحه و تغذیه stripline نیز پیشنهاد شده است [۱ و ۵]

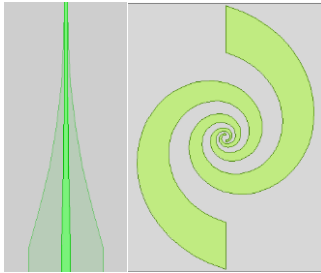
اگرچه آنتن‌های مارپیچی، دارای مشخصه‌های مهم پهنای باند وسیع و قطبش دایروی هستند ولی برای پالس‌های تشعشعی ایجاد اعوجاج^۲ می‌نمایند. روش‌های مختلفی برای جبران‌سازی و رفع مشکل اعوجاج پیشنهاد شده است [۳-۴]. در مقایسه با آنتن‌های مارپیچی ارشمیدوسی^۳ که با دورهای فشرده و نزدیک به هم پیچیده شده‌اند، آنتن‌های مارپیچی لگاریتمی^۴ با $1/5$ یا 2 دور می‌توانند به صورت نسبتاً باز قرار گیرند. از این‌رو، آنتن‌های مارپیچی لگاریتمی در فرکانس‌های پایین تلفات مداری کمتر و در فرکانس‌های بالا تحریک مدهای کمتر را خواهند داشت [۱].

در این مقاله، برای کاربرد تصویربرداری مایکروویو از تومور سینه، آنتن مارپیچی لگاریتمی باند وسیع با قطبش دایروی پیشنهاد شده است. همچنین برای تغذیه این آنتن از بالن میکرواستریپ به استریپ‌لاین موازی استفاده شده که به صورت عمودی به پشت آنتن مارپیچی متصل شده است. مقادیر طراحی شده در پارامترهای آنتن و تغذیه آن به‌گونه‌ای است که به بهترین افت برگشتی در کل پهنای باند مورد نظر رسیده‌ایم. همچنین، ضریب همبستگی قابل قبول و تاخیر گروه مناسب در کل پهنای باند به‌دست آمده است.

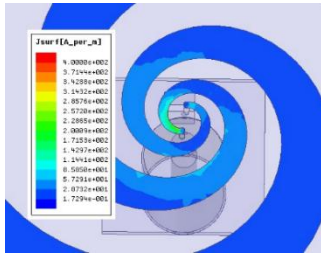
در ادامه، در بخش ۲، اصول طراحی آنتن و تغذیه آنتن مارپیچی ارائه شده است. در بخش ۳، به بررسی مشخصه‌هایی فرکانسی نظیر افت برگشتی^۵ و الگوی تشعشعی و در بخش ۴، عملکرد آنتن در حوزه زمان مورد بررسی قرار گرفته است. در حوزه زمان به بررسی دو پارامتر ضریب همبستگی^۶ و تاخیر گروه^۷ پرداخته شده است. در بخش ۵، نتایج شبیه‌سازی سیستم تصویربرداری مایکروویو بررسی شده است. نتایج ساخت و اندازه‌گیری‌های آنتن مورد نظر جهت تصویربرداری مایکروویو از تومور سینه در بخش ۶ و نتیجه‌گیری مقاله نیز در بخش ۷ آمده است.

- 1- Microstrip to stripline balun
- 2- Dispersion
- 3- Archimedean spiral antenna
- 4- Logarithmic spiral antenna
- 5- Return loss
- 6- Fidelity factor
- 7- Group delay

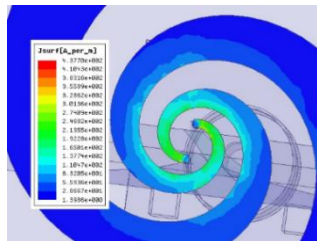
راستگرد^۱ و قطبش دایروی چپگرد^۲ روی صفحه‌های XZ و YZ در فرکانس‌های ۱۰، ۸، ۶، ۴ GHz نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود آنتن دارای الگوی تشعشعی دایروی دو جهته با قطبش مخالف است قابلیت باند وسیع بودن و خاصیت قطبش دوگانه تاثیر زیادی در آشکارسازی دقیق اهداف و بهبود دقت در تفکیک پذیری دارد.



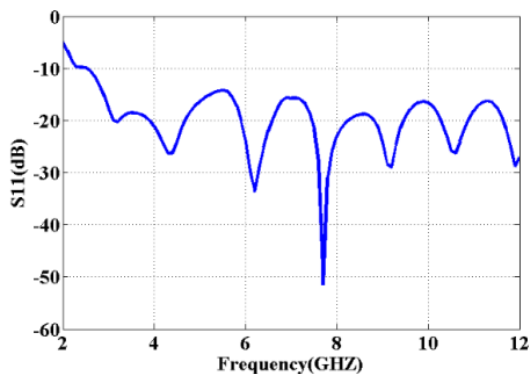
شکل (۱): شماتیک آنتن مارپیچی و تغذیه آن



شکل (۲): توزیع جریان روی دو سر آنتن در حالت تغذیه با کابل کوکسیال



شکل (۳): توزیع جریان روی دو سر آنتن در حالت تغذیه با بالن



شکل (۴): نمودار افت برگشتی آنتن پیشنهادی

ساختار نامتوازن کابل کوکسیال 50Ω به ساختار متوازن آنتن مارپیچی با امپدانس ورودی حدود $110-130$ اهم می‌باشد که دستیابی به حداکثر پهنای باند را نتیجه می‌دهد. بالن مورد نظر شامل دو بخش می‌باشد، بخش اول، استریپ‌لاین موازی که به دو بازوی آنتن مارپیچی به عنوان تغذیه وصل شده است و دیگری ساختار میکرواستریپ که به صورت نمایی به استریپ‌های موازی متصل شده است. پهنای بخش ابتدایی ساختار میکرواستریپ با مشخصه امپدانس 50Ω را می‌توان از رابطه (۳) به دست آورد [۹].

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{2A - 2} \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] \end{cases} \quad (3)$$

که در آن، W پهنای استریپ، d ضخامت و ϵ_r گذردهی نسبی الکتریکی زیرلایه می‌باشد. از طرفی A و B از رابطه (۴) به دست می‌آیند:

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} (0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r})}$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0} \sqrt{\epsilon_r} \quad (4)$$

با استفاده از روابط (۳-۴) پهنای بخش ابتدایی میکرواستریپ از نظر تئوری 0.188 cm به دست آمده است. ولی برای رسیدن به بهترین تطبیق امپدانس با خط 50Ω ، مقادیر بهینه بالن که شامل پهنای ابتدایی میکرواستریپ، صفحه زمین و پهنای بخش انتهایی استریپ‌های موازی که به دو بازوی آنتن مارپیچی متصل می‌شود با استفاده از نرم‌افزار HFSS به دست آمده است. مقادیر به دست آمده برای رسیدن به بهینه افت برگشتی شامل، پهنای میکرواستریپ ابتدایی 0.17 cm، پهنای صفحه زمین $1/5$ cm و پهنای بخش‌های انتهایی استریپ‌لاین‌های موازی 0.07 cm به دست آمده است.

۳- مشخصه‌های حوزه فرکانس

عملکرد آنتن در حوزه فرکانس به وسیله افت برگشتی و الگوی تشعشعی مشخص می‌شود. نتیجه شبیه‌سازی پارامتر افت برگشتی در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، افت برگشتی بهتر از 10 dB در باند وسیع فرکانسی $3/1-10/6$ GHz برای تصویربرداری مایکروویو به دست آمد. مشخصات تشعشعی آنتن پیشنهادی در شکل (۵) نشان داده شده است. در این شکل‌ها الگوی تشعشعی قطبش دایروی

1- Right hand circular polarization (RHCP)

2- Left hand circular polarization (LHCP)

۴- مشخصه‌های حوزه زمان

علاوه بر نتایج به دست آمده در حوزه فرکانس، مشخصه پاسخ گذرای آنتن‌های باند وسیع از نظر بررسی ویژگی‌های زمانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در واقع، علاوه بر پهنای باند امیدانسی کافی، عدم خرابی و رفتار غیرپراکندگی پالس نیز برای دریافت موج مطلوب و انتقال موج مورد نیاز است. برای مشخص کردن خرابی پالس، پارامتر ضریب همبستگی تعریف می‌شود [۳]. ضریب همبستگی، بیشینه همبستگی میان دو سیگنال از تاخیر زمانی τ می‌باشد. از این رو، این پارامتر شباهت بین پالس ورودی و پالس دریافتی را نشان می‌دهد. بیشینه مقدار ضریب همبستگی یک می‌باشد که نشان‌دهنده تشابه کامل دو سیگنال دریافتی و ارسال شده است. ضریب همبستگی سیگنال زمانی از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

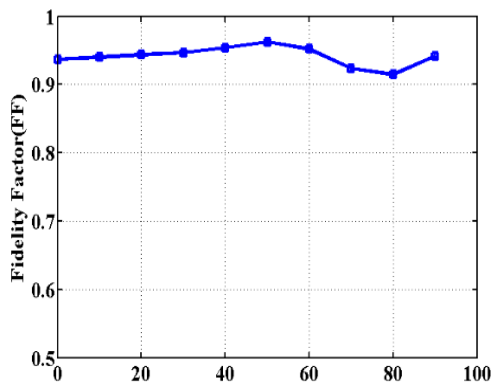
$$Fidelity = \max_{\tau} \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} s_r(t) s_r(t-\tau) dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} |s_r(t)|^2 dt \int_{-\infty}^{+\infty} |s_r(t)|^2 dt}} \quad \dots \quad (5)$$

که در آن، St به عنوان فرستنده و St به عنوان گیرنده است. در جدول (۱) ضریب همبستگی مقاله‌های مشابه آورده شده است.

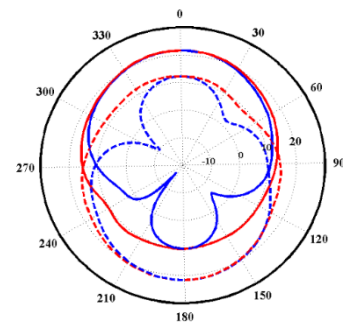
جدول (۱): ضریب همبستگی مقاله‌های مختلف

مراجع	[۱]	[۳]	[۵]	[۱۰]	[۱۲]
ضریب همبستگی	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۳۹	۰/۸۴۱۵	۰/۸۷۵۴

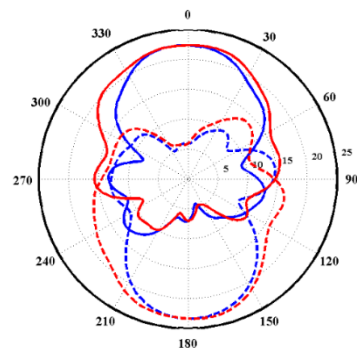
برای محاسبه ضریب همبستگی، سیگنال ارسالی از تغذیه آنتن را یک پالس گوسی باند وسیع انتخاب می‌کنیم. سیگنال دریافتی را به فاصله ۸۰ cm از آنتن در زوایای مختلف (۰ تا ۹۰ درجه) در صفحه XZ در نظر می‌گیریم. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۹۱ در زوایای مختلف به دست آمده است.



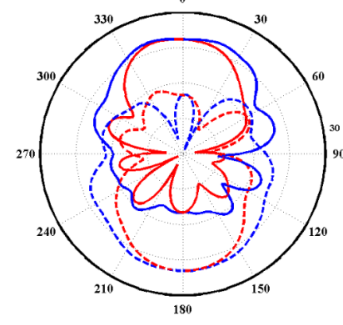
شکل (۶): نمودار ضریب همبستگی برای آنتن پیشنهادی در زوایای مختلف صفحه XZ در میدان دور آنتن



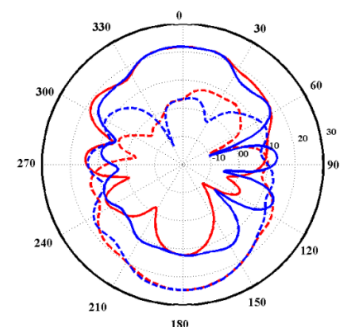
(الف)



(ب)



(ج)

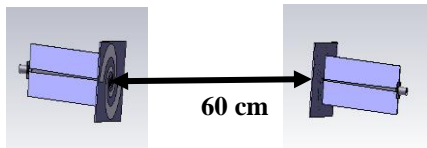


(د)

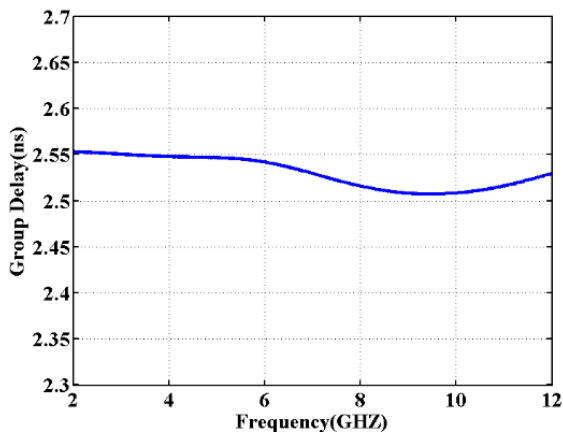
- LHCP در صفحه XZ
- - - RHCP در صفحه XZ
- LHCP در صفحه YZ
- - - RHCP در صفحه YZ

شکل (۵): الگوی تشعشعی آنتن پیشنهادی پلاریزاسیون دایروی در صفحات XZ و YZ در (الف) فرکانس ۴ GHz، (ب) فرکانس ۶ GHz، (ج) فرکانس ۸ GHz و (د) فرکانس ۱۰ GHz

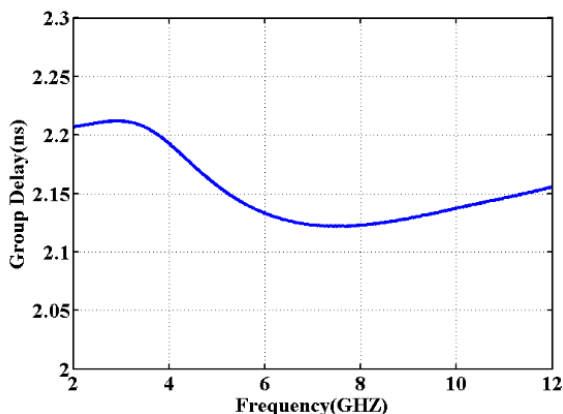
آن به صورت $\epsilon_s = 3/707$ ، $\epsilon_\infty = 3/126$ ، $\sigma_s = 0/0496$ و $\tau = 8$ psec است [۱۳]. شبیه‌سازی برای حالتی که تومور در محل $(0, 10, 10)$ mm قرار دارد، صورت گرفته است. برای آشکارسازی تومور از الگوریتم تصویربرداری معکوس زمانی استفاده شده است [۱۴]. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شکل (۱۰-ب) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده است محل تومور به درستی تشخیص داده شده است. در شبیه‌سازی دیگری، از آنتن‌های دای‌پل که پهنای باند $6/5-7/5$ GHz دارد برای آشکارسازی تومور استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شکل (۱۰-ج) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود استفاده از آنتن‌های باندهایک وضوح تصویر را کاهش می‌دهد و همچنین باعث کاهش توان سیگنال به کلاتر می‌شود.



شکل (۷): ساختار شبیه‌سازی برای محاسبه تاخیر گروه



شکل (۸): نمودار تاخیر گروه برای دو آنتن مشابه روبروی هم به فاصله 60 cm از یکدیگر



شکل (۹): نمودار تاخیر گروه برای دو آنتن مشابه کنار هم به فاصله 60 cm از یکدیگر

علاوه بر ضریب همبستگی، محاسبه تاخیر آنتن که از اندازه‌گیری تاخیر گروه پارامتر S_{21} به دست می‌آید، از نیازهای اصلی برای آنتن‌های باند وسیع است. رفتار غیرپراکندگی، با حفظ فاز خطی که متناسب با تاخیر گروه ثابت است به دست می‌آید. به عبارتی، در عمل اگر تاخیر گروه تقریباً ثابت باشد ویژگی‌های پالس قابل قبول را مهیا خواهد کرد [۱۰]. در یک سیستم UWB تاخیر گروه تأثیر زیادی بر عملکرد سیستم دارد. تاخیر گروه ثابت در تمام باند فرکانسی، ایده‌آل است. تاخیر گروه به صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود [۱]:

$$\tau_g(\omega) = -\frac{d\theta(\omega)}{d\omega} = t_{TX} + t_D + t_{RX} \quad (6)$$

که در آن:

$$t_D = \frac{D}{c} \quad (7)$$

ω و $\theta(\omega)$ فرکانس زاویه‌ای و فاز در نقطه مشاهده است. c سرعت نور، t_D زمان انتشار موج بین دو آنتن که به فاصله D از هم‌دیگر قرار دارند می‌باشد. t_{TX} و t_{RX} تاخیر زمانی آنتن‌های فرستنده و گیرنده می‌باشند. برای دو آنتن مشابه $t_{TX} = t_{RX}$ می‌باشد. اگر تغییر فاز متناسب با فرکانس باشد تاخیر گروه ثابت است، بنابراین، هیچ پراکندگی وجود ندارد. در غیر این صورت، سیگنال دارای اعوجاج خواهد بود. افزایش تعداد نقاط صفر و جهش‌های ناگهانی در محدوده باند فرکانسی موردنظر، تأثیر نامطلوبی در ویژگی پراکندگی دارد [۱۱].

تاخیر گروه موج‌دار به تطبیق پهنای باند ضعیف مرتبط است. بالن‌ها، با افت برگشتی خوب باعث صاف‌شدن تاخیر گروه می‌شوند. برای محاسبه تاخیر گروه، در حالت نخست، دو آنتن مشابه، مقابل یکدیگر به فاصله 60 cm مطابق شکل (۷) در نظر گرفته شده است. نتیجه حاصل از محاسبه تاخیر گروه با استفاده از نرم‌افزار CST MWS در شکل (۸) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود برای آنتن پیشنهادی، تاخیر گروه کمتر از $0/1$ ns در طول پهنای باند حاصل شده است. در حالت بعدی، دو آنتن را در کنار یکدیگر به فاصله 60 cm در نظر می‌گیریم. همان‌طور که در شکل (۹) نیز دیده می‌شود تاخیر گروه کمتر از $0/1$ ns در طول باند به دست آمده است.

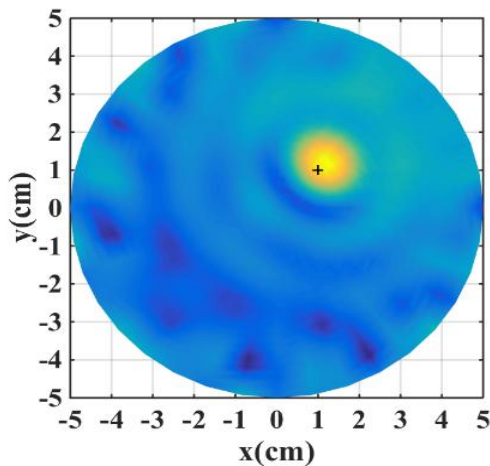
۵- نتایج شبیه‌سازی سیستم تصویربرداری مایکروویو

سیستم تصویربرداری مایکروویو پیشنهادی در شکل (۱۰-الف) نشان داده شده است. این سیستم شامل یک فانتوم سینه به شعاع 5 cm و ارتفاع 12 cm، یک تومور استوانه‌ای به شعاع 6 mm و ارتفاع 6 mm و آنتن ماریچی که در مسیر دایروی به شعاع $7/5$ cm می‌باشد. ضریب نفوذپذیری نسبی الکتریکی تومور $\epsilon_r = 50$ می‌باشد. فانتوم دارای مدل دبابی می‌باشد و پارامترهای

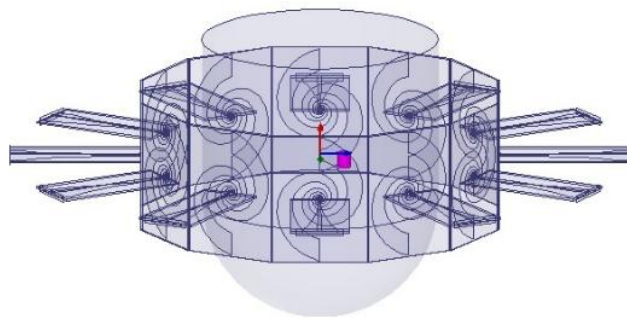
۶- نتایج ساخت و اندازه‌گیری آنتن

حاصل شده است. علاوه بر این، نتیجه حاصل از اندازه‌گیری فاز S21 دو آنتن مشابه که در مقابل هم و به فاصله ۹۰ cm از یکدیگر قرار دارند در شکل (۱۳- الف) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، فاز در طول پهنای باند ۳/۱-۱۰/۶ GHz نسبتاً خطی است. در شکل (۱۳- ب) نمودار تاخیر گروه برای این دو آنتن نشان داده شده است (شبیه‌سازی و اندازه‌گیری). در اندازه‌گیری از روش پنجره‌کردن برای حذف سیگنال‌های ناخواسته در آزمایشگاه استفاده شده است. با توجه به این شکل، تغییرات تاخیر گروه قابل قبولی در طول پهنای باند ۳/۱-۱۰/۶ GHz به دست آمده است. اندازه‌گیری‌ها با دستگاه Network Analyzer Agilent 8510c در آزمایشگاه مایکروویو دانشگاه تهران صورت گرفته است.

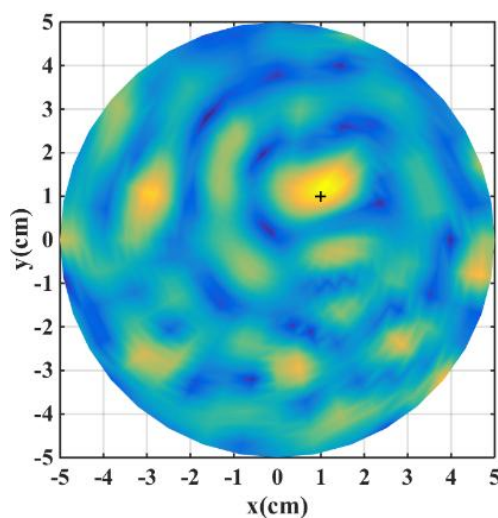
آنتن مورد نظر بر روی زیرلایه Rogers 4003 با ابعاد $۳/۷\text{ cm} \times ۵/۸\text{ cm}$ ، ضخامت ۲۰ mil ، ضریب دی‌الکتریک $۳/۳۸$ و تانژانت تلفات $۰/۰۰۲۷$ ساخته شده است. تغذیه بالن نیز بر روی زیرلایه‌ای با همان مشخصات و ابعاد $۲/۵\text{ cm} \times ۵/۵\text{ cm}$ ساخته شده است. شمای آنتن ساخته شده در شکل (۱۱) نشان داده شده است. این بالن به صورت عمودی به آنتن وصل شده است. دو سر استریپ‌لاین موازی به‌عنوان تغذیه به دو بازوی آنتن ماریچی متصل شده است. نتیجه حاصل از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری افت برگشتی آنتن در شکل (۱۲) آمده است. با توجه به این شکل، افت برگشتی کمتر از ۱۰ dB در طول پهنای باند



(ب) نتایج حاصل از شبیه‌سازی با آنتن‌های ماریچی



(الف) ساختار شبیه‌سازی شده



(ج) نتایج حاصل از شبیه‌سازی با آنتن‌های دای پل

شکل (۱۰): نتایج شبیه‌سازی‌های سیستم تصویربرداری مایکروویو

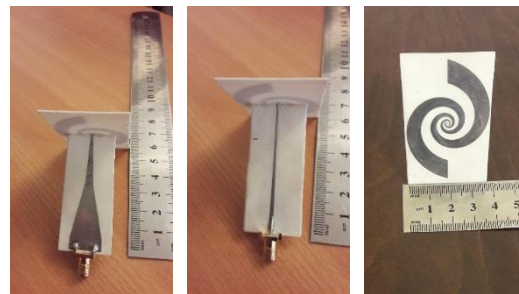
۷- نتیجه گیری

آنتن ماریچی لگاریتمی با تغذیه میکرواستریپ به استریپ لاین که به طور عمودی به پشت آنتن وصل می شود برای تصویربرداری مایکروویو از تومور سینه پیشنهاد شده است. ساختار این آنتن طوری طراحی شده است که به افت برگشتی بهتر از ۱۰ dB و همچنین به الگوی تشعشعی نسبتاً ثابتی در طول پهنای باند فرکانسی رسیده ایم. علاوه بر این ضریب همبستگی بالای ۰/۹۱ و تاخیر گروه کمتر از ۰/۱۵ نانوثانیه به دست آمده است. نتایج نشان می دهد آنتن مذکور می تواند آنتن مناسبی برای کاربردهای تصویربرداری مایکروویو از تومور سینه باشد.

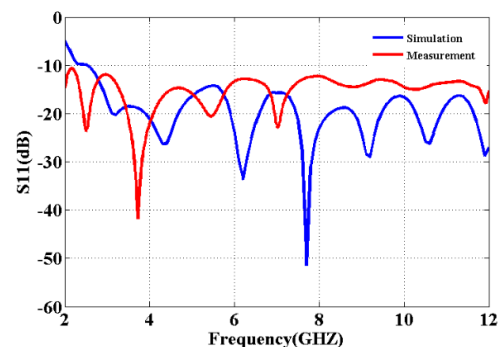
در آینده از الگوریتم های تکاملی در بهینه سازی مشخصه های تشعشعی فرکانسی و زمانی آنتن پیشنهادی استفاده خواهیم کرد.

۹- مراجع

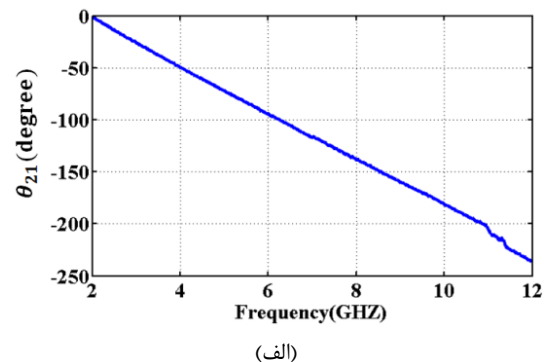
- [1] S.-G. Mao, J.-C. Yeh, and S.-L. Chen, "Ultrawideband Circularly Polarized Spiral Antenna Using Integrated Balun With Application to Time-Domain Target Detection," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 7, pp. 1914-1920, July 2009.
- [2] H. K. Bidhendi, H. Mazhab Jafari, and R. Genov, "Ultra-Wideband Imaging Systems for Breast Cancer Detection," *Springer Science, Ultra-Wideband and 60 GHz Communications for Biomedical Applications*, pp. 83-103, 2013.
- [3] M. A. Elmansori and S. Dejan "Low Dispersion Spiral Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 12, pp. 5522-5530, December 2012.
- [4] H. Nakano, T. Igarashi, H. Oyanagi, Y. Iitsuka, and J. Yamauchi, "Unbalanced-Mode Spiral Antenna Backed by an Extremely Shallow Cavity," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, no. 6, pp. 1625-1633, June 2009.
- [5] T. W. Eubanks, and K. Chang, "A Compact Parallel-Plane Perpendicular-Current Feed for a Modified Equiangular Spiral Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 7, pp. 2193-2202, July 2010.
- [6] Z. Vahidpoor, K. Forooghi, A. Fotowat-Ahmady, and Z. Atlasbaf, "Coplanar Waveguide-Feed Planar Spiral Antenna With Integrated Impedance Transformer," *Microw. Opt. Techn. Lett.*, vol. 55, no. 6, pp. 1338-1341, June 2013.
- [7] K. Tilley, D. Wu, and K. Chang, "Coplanar waveguide fed coplanar strip dipole antenna," *Electron. Lett.*, vol. 30, no. 3, pp. 176-177, 1994.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design*. 3rd ed. New York: Wiley, 2005.
- [9] D. M. Pozar, "Microwave Engineering," John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [10] A. Mehdipour, K. Mohammadpour-Aghdam, and R. Faraji-Dana, "Complete dispersion analysis of vivaldi antenna for ultra wideband applications," *Progress In Electromagnetics Research, PIER 77*, pp. 85-96, 2007.
- [11] Esmaeel Tahanian, Hamidreza Hasani, "Very Compact UWB Antenna with Group Delay Improvement," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 197-204, June 2015.



شکل (۱۱): آنتن ماریچی با تغذیه میکرواستریپ به استریپ لاین موازی ساخته شده

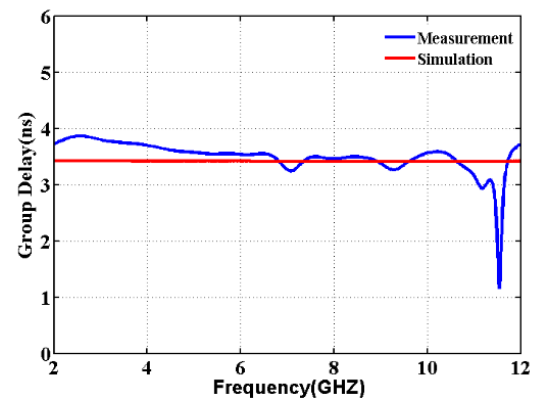


شکل (۱۲): اندازه گیری افت برگشتی آنتن پیشنهادی



(الف)

θ_{21} (degree)



(ب)

شکل (۱۳): اندازه گیری (الف) فاز S_{21} . (ب) تاخیر گروه دو آنتن مشابه روبروی یکدیگر

- [12] A.Madannejad, H.Ameri, S.Sadeghi, R. Faraji Dana, "A miniaturized vivaldi antenna with modified feeding structure for UWB application, " 17th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics. , Vol. 12, No. 2, pp. 1-3, July 2016.
- [13] J. C. Y. Lai, C. B. Soh, E. Gunawan, and K. S. Low, "Homogeneous and Heterogeneous Breast Phantoms for Ultra-Wideband Microwave Imaging Applications," Prog. Electromagn. Res., vol. 100, pp. 397-415, 2010.
- [14] M. E. Yavuz, "Time reversal based signal processing techniques for ultrawideband electromagnetic sensing in random media," Ph.D. dissertation, The Ohio State University, 2008.

Design and Construction of Ultrawideband Spiral Antenna for Microwave Imaging

M. Yousefnia, A. Ebrahimzadeh^{*}, M. Dehmollaian

Babol Noshirvani University of Technology

(Received: 08/04/2017, Accepted: 26/09/2017)

Abstract

Recently, circular polarization ultrawideband (CP UWB) antennas have received significant attention in microwave imaging. In this paper, the use of a UWB logarithmic spiral antenna with circular polarization for tumor detection is proposed. One of the main advantages of UWB antennas to narrow-band (NB) antennas is its higher resolution. The absorption of more scattered fields is also the advantages of circular polarization antennas to linear polarization antennas. Compared with the conventional spiral antenna that uses coaxial cable for feed structure, to improve the performance of radiation characteristics, tapered microstrip to stripline balun is used to feed the two arms of spiral antenna. The measured results show that the return loss is better than 10 dB from 3/1 to 10/6 GHz. Also the radiation pattern is bidirectional with circular polarization in the entire bandwidth. The time-domain characteristic of the transmitting and receiving system using the proposed spiral antenna with studying two parameters fidelity factor and group delay is investigated. Results show that for proposed antenna, the fidelity factor is higher than 0/91 and group delay less than 1/15 nsec. Construction and measurement of the proposed spiral antenna for use in tumor detection are presented.

Keywords: Ultrawideband Spiral Antenna, Tumor Detection, Return Loss, Fidelity Factor, Group Delay

^{*} Corresponding author E-mail: e_zadeh@nit.ac.ir