

بهبود عملکرد آنتن مایکرواستریپ با پیچ دایروی با تزویج روزنه ای توسط ساختار شکاف باند الکترومغناطیسی

کیارش ملک زاده^۱، محمد سلیمانی^۲ و عباس پیرهادی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد - دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران

^۲ استاد - دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران

^۳ استادیار - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه شهید بهشتی

malekzadeh_kiarash@yahoo.com

چکیده: در این مقاله یک آنتن مایکرواستریپ با تزویج روزنه ای و پیچ دایروی شکل در باند X به دو صورت تک عنصری و آرایه طراحی شده است. برای بهبود عملکرد این آنتن از لحاظ پهنای باند و بهره توان و تزویج متقابل آن در حالت آرایه از ساختار شکاف باند الکترومغناطیسی قارچی شکل استفاده شده است. با استفاده از ساختار شکاف باند الکترومغناطیسی به افزایش پهنای باند از ۱۷ درصد به ۲۲ درصد و افزایش بیش از دو دسی بل بهره توان در آنتن می توان دست یافت. همچنین در حالت آرایه و با فاصله عناصر برابر نصف طول موج کاهش تزویج متقابل با استفاده از ساختار شکاف باند الکترومغناطیسی برابر ۹/۵ دسی بل می باشد.

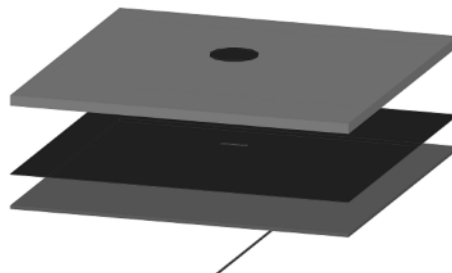
۱- مقدمه

ساختارهای شکاف باند الکترومغناطیسی (EBG) در سال های اخیر به علت بروز خصوصیات قابل توجه از جمله شکاف باند الکترومغناطیسی، انعکاس هم فاز و برخی خصوصیات دیگر مربوط به متامتریال ها، کاربردهای بسیاری در آنتن ها، آرایه ها، فیلترها، تشدیدکننده ها، تقویت کننده ها، تقسیم کننده های توان و مدارهای با سرعت بالا پیدا کرده و مورد توجه بسیاری قرار گرفته اند. با به کارگیری این ساختارها می توان با کاهش یا حذف امواج سطحی در انواع آنتن ها، بازدهی تشعشعی آن ها را افزایش داده و در آرایه های فازی از بروز زوایای کور جلوگیری کرد. برای ساخت عملی این ساختارها از سازه های متناوب مختلف مانند میله های دی الکتریک، سوراخ ها، پیچ های فلزی، پلیمرها و غیره می توان بهره گرفت. این ساختارها برای اولین بار در زمینه فوتونیک مورد بررسی قرار گرفت و سپس وارد کاربردهای امواج عمومی الکترومغناطیسی گردید. در [۱] ساختار EBG که دارای شکلی شبیه قارچ بود پیشنهاد شد که شامل پیچ های فلزی است که توسط میله های باریک به زمین مشترک متصل شده اند. ساختارهای بسیار زیادی برای انواع EBG پیشنهاد شده است که از جمله آن ها می توان به EBG فشرده تک صفحه (UC-EBG) در [۲] و EBG دمبلی شکل در [۳] اشاره نمود. اهداف بسیاری از این طرح های متنوع EBG رسیدن به ویژگی های بهتر از جمله فشرده گی، تلفات پایین و قابلیت یکپارچه سازی با آنتن ها برای بهبود بهره و کاهش تشعشع رو به پشت با کاهش امواج سطحی و افزایش بازدهی می باشد. همچنین با استفاده از EBG صفحات با امپدانس بالا [۴] و رساناهای مغناطیسی کامل به صورت مصنوعی ساخته شده اند.

در این مقاله یک آنتن میکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای و پیچ دایروی شکل به صورت تک‌عنصری و آرایه با مشخصات مطلوب طراحی شده و برای بهبود عملکرد آن از لحاظ پهنای باند و بهره توان و تزویج متقابل از ساختار EBG قارچی شکل استفاده شده است. از آنجایی که در عملکرد یک آرایه، امواج سطحی تاثیرات نامطلوبی دارند، استفاده از این ساختار EBG کمک شایان توجهی به بهبود کارکرد آرایه کرده است.

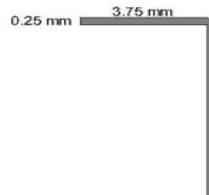
۲- پیکربندی آنتن میکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای

برای طراحی آنتن میکرواستریپ با تزویج روزنه‌ای از ساختاری به صورت شکل (۱) استفاده شده است. در این ساختار ابتدا با استفاده از روابط طراحی مربوط به طراحی تغذیه، تطبیق تغذیه با ساختار، روزنه و ابعاد آن و امپدانس ورودی دیده شده از محل تغذیه، طراحی آغاز شده است.



شکل (۱) - ساختار از هم باز شده آنتن میکرواستریپ طراحی شده

در این ساختار از خط تغذیه‌ای با پهنای 0.25 میلی‌متر و زیرلایه استاندارد RO3010 با $\epsilon_r = 10.2$ و ضخامت استاندارد 0.25 میلی‌متر استفاده شده است. خط تغذیه با زیرلایه تغذیه تطبیق شده و در زیر آن قرار دارد. شکل خط تغذیه در شکل (۲) نشان داده شده است. اندازه استاب مدار باز هم 0.375 میلی‌متر می‌باشد.

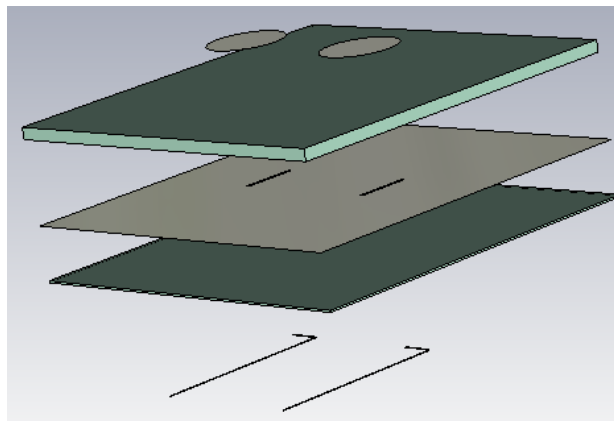


شکل (۲) - تغذیه آنتن طراحی شده

صفحه زمین شامل روزنه مستطیلی شکل روی زیرلایه تغذیه قرار گرفته است. ابعاد این روزنه 0.22 در $3/6$ میلی‌متر مربع می‌باشد. سپس یک لایه هوایی با ضخامت 1 میلی‌متر در بالای صفحه زمین در نظر گرفته شده است که روی آن زیرلایه مربوط به پیچ که یک زیرلایه RT5880 با $\epsilon_r = 2.2$ و ضخامت استاندارد $1/57$ میلی‌متر قرار گرفته است. از این زیرلایه پیچ به همراه ضخامت هوایی به عنوان زیرلایه کامپوزیت استفاده شده است. سپس در بالای ساختار از پیچ دایروی با شعاع 5 میلی‌متر استفاده شده است.

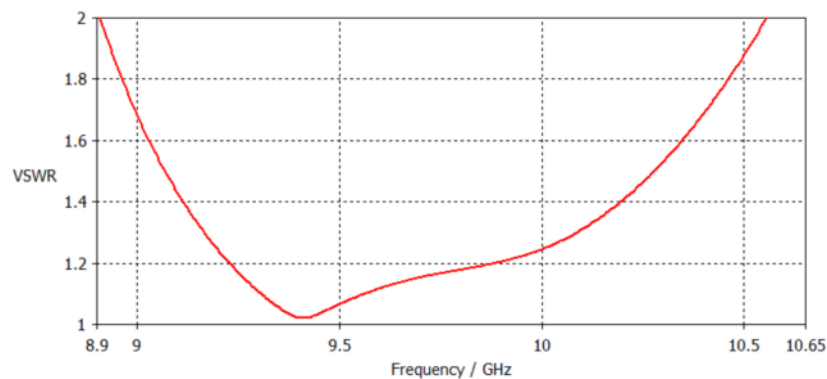
سپس این آنتن به صورت آرایه دو عنصری و سه عنصری در آمده است. برای عملکرد مناسب آرایه فاصله بین عناصر آنتنی این آرایه باید با فاصله‌ای بین نصف طول موج و یک طول موج قرار بگیرند. در فواصل نزدیک به یک طول موج، امواج سطحی کاهش می‌یابند و تزویج متقابل به میزان قابل توجهی پایین می‌آید. اما این آرایه با فاصله عناصر یک طول موج از مشکل لوب‌های گریتینگ رنج می‌برد. همچنین سطحی که این

آرایه اشغال می کند بسیار زیاد می باشد. به طور مثال برای یک آرایه با ۲۰ عنصر، حداقل طول در جهت چینش آرایه ۱ در ۲۰ برابر ۱۹ طول موج می باشد. در حالت هایی که فواصل عناصر آرایه نزدیک به نصف طول موج است مشکل لوب های گریپینگ کاهش یافته و سطح اشغال شده توسط آرایه بسیار کمتر است. به طور مثال برای آرایه ۱ در ۲۰ گفته شده، حداقل طول ساختار در جهت چینش برابر ۹/۵ طول موج خواهد بود. اما در این حالت امواج سطحی بسیار قدرتمند بوده و تزویج متقابل زیاد باعث کاهش چشمگیر کارایی آرایه خواهد بود. در این مقاله سعی بر آن است تا این مشکل آرایه نیز حل شود تا از آرایه به نحو احسن بهره برداری شود. در شکل (۳) تصویر از هم باز شده آرایه برای درک بهتر آورده شده است.

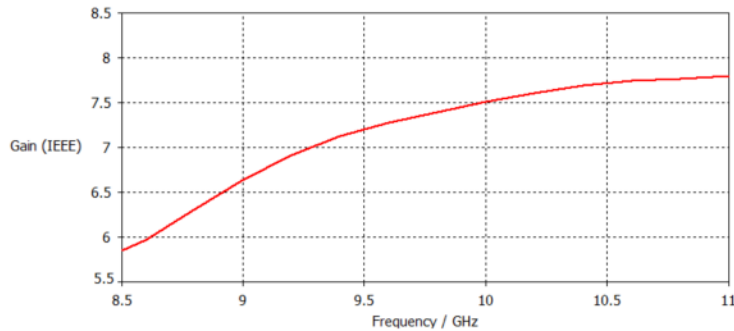


شکل (۳) - نمای باز شده آرایه طراحی شده

برای طراحی آنتن به بهترین حالت ابتدا آنتن تک عنصری آن طراحی شده و توسط نرم افزار CST STUDIO SUITE شبیه سازی شده است. شکل (۴) VSWR ورودی آنتن را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود پهنای باند آن با معیار $VSWR \leq 2$ برابر ۱۷ درصد است. شکل (۵) بهره توان این آنتن را نشان می دهد.

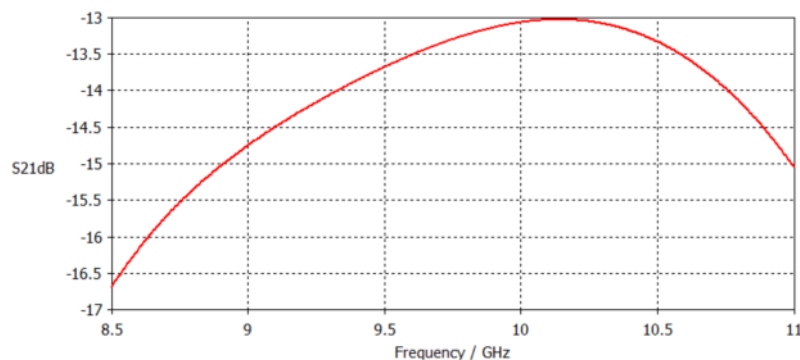


شکل (۴) - پهنای باند امپدانس ورودی آنتن



شکل (۵) - بهره توان آنتن بدون استفاده از EBG

سپس آنتن طراحی شده به حالت آرایه دوتایی با فاصله نصف طول موج از هم در می آید. شکل (۶) بیان گر توزیع متقابل میان عناصر این آرایه است که برابر ۱۳- دسی بل می باشد. در حالت آرایه ۳ عنصره این مقدار بین عناصر اول و سوم به ۲۵- دسی بل رسیده است.



شکل (۶) - توزیع متقابل بین عناصر آرایه

۳- ساختار شکاف باند الکترومغناطیسی

برای بهبود پهنای باند و بهره و توزیع متقابل در ساختار طراحی شده، از ساختار EBG قارچی شکل استفاده می شود. ساختار ذکر شده تحت تاثیرات نامطلوب امواج سطحی قرار دارد که با استفاده از ساختار EBG می توان آن ها را بر طرف نمود. در بین ساختارهای مختلف EBG، نوع قارچی شکل آن مورد استفاده قرار گرفته است. علت این امر آن است که این ساختار EBG پهنای باند بالاتری در یک فرکانس خاص دارد. همچنین ابعاد آن نسبت به نوع تک صفحه کوچک تر خواهد بود. پارامترهای مورد بررسی در طراحی ساختار EBG شامل ابعاد پیچ EBG، ارتفاع Via، شکاف بین پیچ های EBG و محل قرار گرفتن آنهاست. با آفست کردن محل اتصال Via ها به پیچ های EBG می توان به ساختارهای EBG وابسته به فرکانس دست پیدا کرد. در این مقاله محل اتصال Via ها در مرکز پیچ ها هستند. ظرفیت خازنی مربوط به شکاف باریک بین پیچ های EBG برابر است با [۵]:

$$C_g = \frac{W\epsilon_g(1+\epsilon_r)}{\pi} \cosh^{-1} \left(\frac{W+g}{g} \right) \quad (1)$$

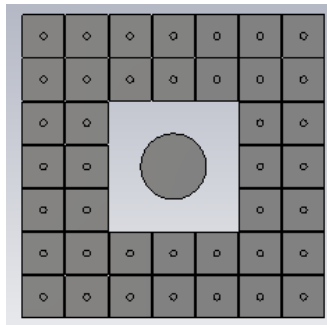
اندوکتانس ناشی از جریان در Viaها، پیچهای EBG و صفحه زمین برابر است با:

$$L = \mu h \quad (2)$$

فرکانس رزونانس نیز برابر است با:

$$\omega = 1/\sqrt{LC} \quad (3)$$

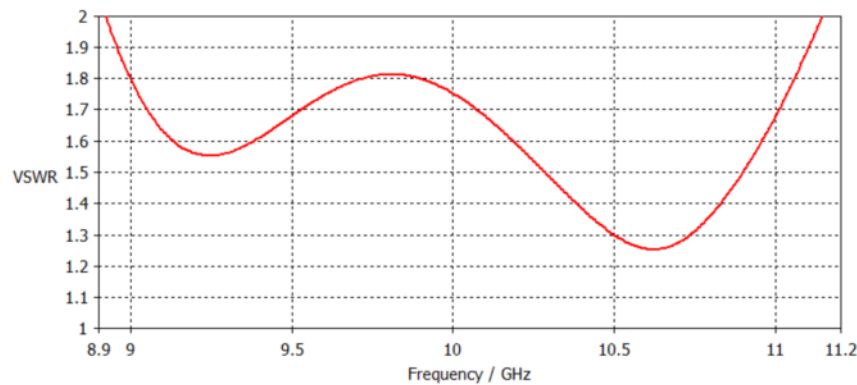
که در آنها W پهنای پیچهای EBG، g شکاف بین پیچها و h ارتفاع Via است. در حالتی که آنتن به صورت تکی مورد استفاده قرار گرفته است از دو ردیف ساختار EBG برای بهبود پهنای باند و بهره توان آن استفاده شده است که نحوه چینش آن در شکل (۷) نشان داده شده است.



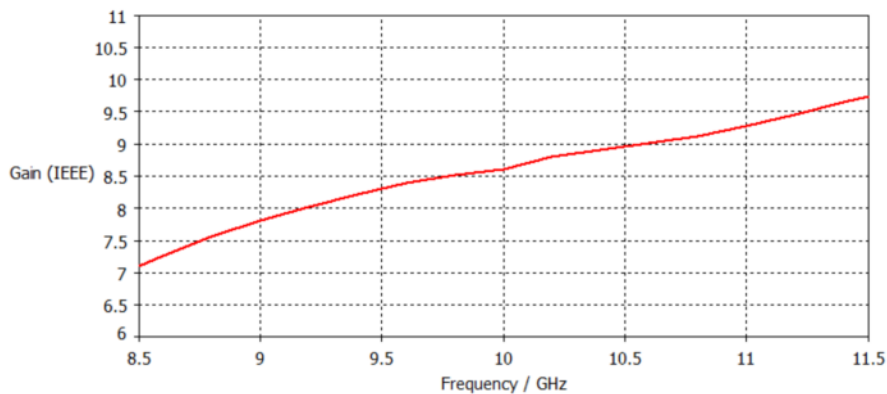
شکل (۷) - چینش ساختار EBG اطراف پیچ آنتن تک عنصری

مقادیر پارامترهای ساختار EBG برابر است با: $W=3.8$ میلی متر، $h=1$ میلی متر، شعاع Via برابر 0.5 میلی - متر و $g=0.2$ میلی متر.

با استفاده از این دو ردیف ساختار EBG پهنای باند به $2/2$ گیگاهرتز یا 22 درصد و بهره توان بین 7 تا $9/5$ دسی بل رسیده است که در شکل های (۸) و (۹) مشاهده می شوند.

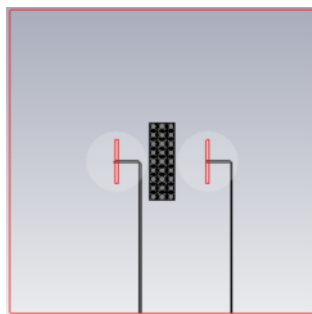


شکل (۸) - پهنای باند امیدانس ورودی آنتن با استفاده از ساختار EBG



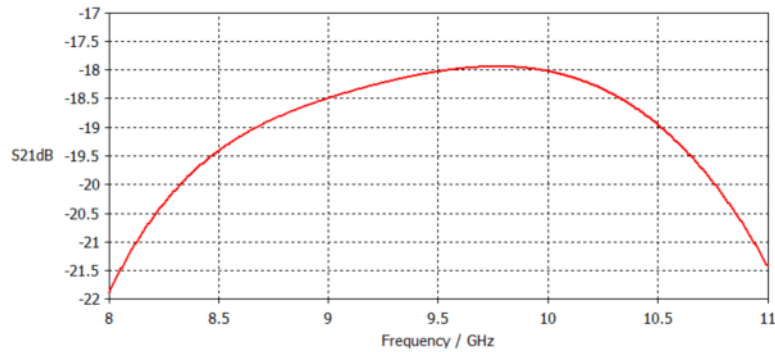
شکل (۹) - بهره آنتن با استفاده از EBG

سپس برای کاهش تزویج متقابل در آرایه آنتن از یک، دو و سه ردیف ساختار EBG بین عناصر آرایه استفاده شده است که در شکل (۱۰) حالت سه ردیفه مشاهده می شود.

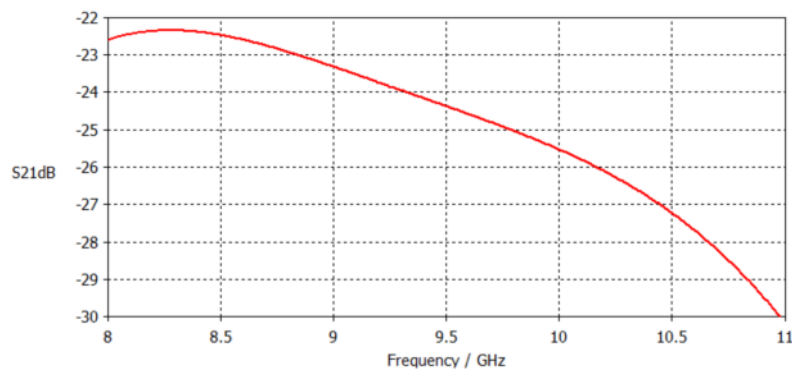


شکل (۱۰) - نمای بالایی آرایه دو عنصری و سه ردیف EBG بین عناصر

با استفاده از یک، دو و سه ردیف EBG در آرایه دو عنصری به مقادیر S_{21} به ترتیب برابر با $17/5$ ، $19/5$ و $22/5$ - دسی بل می رسیم که در شکل های (۱۱) و (۱۲) موارد مربوط به یک و سه ردیف EBG مشاهده می شود. در حالت آرایه سه عنصری مقدار S_{21} بین عناصر اول و سوم به 35 - دسی بل با استفاده از سه ردیف EBG می رسد.



شکل (۱۱) - S₂₁ آرایه با یک ردیف EBG



شکل (۱۲) - S₂₁ آرایه با سه ردیف EBG

۳- نتیجه گیری

در این مقاله آنتن مایکرواستریپ با پیچ دایروی و تزویج روزنه‌ای طراحی شده دارای پهنای باند برابر ۱/۷ گیگاهرتز و بهره از ۶ تا ۸ دسی‌بل در باند X می‌باشد که در نتیجه استفاده از دو ردیف ساختار EBG اطراف آن پهنای باند به ۲/۲ گیگاهرتز یعنی ۲۲ درصد و بهره توان از ۷ تا ۹/۵ دسی‌بل رسیده‌است. سپس آنتن فوق به حالت آرایه دو عنصری و سه عنصری طراحی شده و عناصر آن برای بررسی بیشترین مقدار تزویج متقابل در فاصله نصف طول موج از یکدیگر قرار گرفته‌اند. تزویج متقابل بین عناصر مجاور در حدود ۱۳- دسی‌بل است و در حالت سه عنصری بین عنصر اول و سوم برابر ۲۵- دسی‌بل می‌باشد. برای کاهش تزویج متقابل از یک، دو و سه ردیف EBG بین عناصر استفاده شده‌است و تزویج متقابل به ترتیب ۱۷/۵-، ۱۹/۵- و ۲۲/۵- دسی‌بل به دست آمده‌است. مشاهده می‌شود که با سه ردیف EBG تزویج متقابل حدود ۹/۵ دسی‌بل کاهش یافته‌است. در حالت آرایه سه عنصری نیز این مقدار برای عنصر اول و سوم به حداقل ۳۵- دسی‌بل رسیده‌است.

تقدیر و تشکر

از حمایت بی دریغ مرکز تحقیقات مخابرات ایران تشکر و قدردانی فراوان به عمل می آید.

مراجع

- [1] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. J. Broas, N. G. Alexopolus, and E. Yablonovitch, "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, 2059–74, 1999.
- [2] F.-R. Yang, K.-P. Ma, Y. Qian, and T. Itoh, "A uniplanar compact photonic-bandgap (UC-PBG) structure and its applications for microwave circuit," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, 1509–14, 1999.
- [3] A. Yu and X. Zhang, "A novel 2-D electromagnetic band-gap structure and its application in micro-strip antenna arrays," Proceedings of ICMMT 2002, pp. 580–3, 17–19 August 2002.
- [4] S. Tse, B. S. Izquierdo, J. C. Batchelor, and R. J. Langley, "Reduced sized cells for high impedance (HIP) ground planes," Proceedings of 2003 ICAP, vol. 2, pp. 473–6, 2003.
- [5] Y. Rahmat-Samii and H. Mosallaei, "Electromagnetic band-gap structures: classification, characterization and applications," Proceedings of IEE-ICAP symposium, pp. 560–4, April 2001.
- [6] Turner, G. M., and C. G. Christadoulou, "Finite Difference Time Domain Analysis of Circular Microstrip Antennas," IEEE AP-S Int. Symp. Digest, 1996, pp. 1292-1295.