



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 CPW فشرده سازی شده در مد تشدید مرتبه صفر

با پهنای باند افزایش یافته

تکتم کیهان پور^{*}، عباسعلی حیدری، مسعود موحدی

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

*رایانامه نویسنده مسئول: t.keyhanpour@stu.yazd.ac.ir

کلیدواژه: آنتن تشدید کننده مرتبه صفر، افزایش پهنای باند، خط انتقال راستگرد-چپگرد ترکیبی، فشرده سازی.

۱- مقدمه

توسعه سریع ارتباطات بی سیم، تلفن همراه و مجتمع سازی سیستم‌ها با کاهش اندازه گوشی‌های تلفن همراه، به طور پیوسته نیازمند ساخت آنتن‌های فشرده و جمع و جور است [۱]. برای این منظور روش‌های متنوعی پیشنهاد شده است که استفاده از زیرلایه‌هایی با ثابت دی‌الکتریک بالا، ساده‌ترین روش در آنتن‌های ریزنوری است. با این روش اگر چه اندازه کوچک می‌شود، اما کارایی آنتن کاهش می‌یابد و در اکثر موارد نمی‌توان از این روش استفاده کرد. در بیشتر روش‌های کوچک‌سازی آنتن‌ها معمولا بین میزان فشرده سازی و کارایی آنتن باید یک موازنه برقرار شود [۲]. در سالهای اخیر فرامواد^۱ به دلیل خواص الکترومغناطیسی

چکیده: در این مقاله یک آنتن کوچک سازی شده تشدید کننده مرتبه صفر با یک سلول واحد خط انتقال راستگرد-چپگرد ترکیبی ارائه شده است. تغذیه و ساختار آنتن از نوع موجبر هم‌صفحه می‌باشد که با ایجاد شکاف دندانه‌ای در پیچ تشعشعی و نیز طراحی خط پیچ و خم دار، ویژگی راستگرد-چپگرد در آن ایجاد شده است. علیرغم کوچک بودن پهنای باند آنتن‌های تشدید کننده مرتبه صفر، استفاده از شکاف دندانه‌ای در آنتن پیشنهادی، پهنای باند آنتن را به طور قابل توجهی افزایش داده و به مقدار ۳۲/۶٪ رسیده است. آنتن در فرکانس مرکزی ۴/۶GHZ کار می‌کند که همان فرکانس تشدید مرتبه صفر بوده و باعث کوچک سازی آنتن شده به نحوی که ابعاد آنتن نهایی ۰/۲۲۵λ₀ × ۰/۲۶۲λ₀ × ۰/۱۱λ₀ می‌باشد. از دیگر مزایای این ساختار داشتن بهره و بازده تشعشعی بالا و همچنین ساختار مسطح، ساده و کوچک است. آنتن پیشنهادی با نرم‌افزار Ansoft HFSS تحلیل و شبیه‌سازی شده است.

¹Metamaterial (MTM)

منحصر به فرد در مدارات میکروویوی و آنتن‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. دسته‌ای از پر کاربرد از ساختارهای فرامواد خطوط انتقال راستگرد-چپگرد ترکیبی^۲ (CRLH TH) هستند [۳]. ساختارهای CRLH دارای خاصیت انتشار موج با طول موج بینهایت در یک فرکانس خاص و غیر صفر هستند. در این فرکانس ضرایب گذردهی الکتریکی و نفوذپذیری مغناطیسی صفر است و این خاصیت منحصر به فرد در این ساختارها مبنای ایجاد آنتن‌های تشدید کننده مرتبه صفر^۳ ZOR است [۴].

یک آنتن ZOR مستقل از طول فیزیکی آنتن است بنابراین اندازه ساختار می‌تواند به اندازه دلخواه کوچک شود و از آنتن‌های نیم طول موج خیلی کوچکتر شود [۵]. در مرجع [۶] سلول واحد با استفاده از تغذیه موجبر هم صفحه^۴ (CPW) و پیچ پارازیتیک در صفحه پشتی روی یک لایه در ساختاری بدون وایا^۵ طراحی و آنتن ZOR با دو سلول واحد با پهنای باند نسبی $6/8\%$ ایجاد شده است. در مرجع [۷] سلول واحد پیشنهادی با استفاده از موجبر هم صفحه نامتقارن، خطوط پرپیچ و خم و وایاهایی به منظور اتصال صفحه‌های بالا و پایین ارائه شده و آنتن با سه سلول واحد با پهنای باند نسبی $10/3\%$ ایجاد شده است. آنتن دیگری در مرجع [۸] با دو سلول واحد در مد تشدید سری (اتصال کوتاه) ارائه شده و به منظور افزایش پهنای باند نسبی $15/1$ درصدی از خازنهای میان انگشتی استفاده شده است.

در این مقاله یک آنتن تشدید کننده مرتبه صفر با یک سلول واحد با استفاده از یک موجبر هم صفحه، یک خط پرپیچ و خم متصل به صفحه زمین موجبر هم صفحه و یک شکاف دندانهای در پیچ تشعشعی پیشنهاد شده است. استفاده از شکاف دندانهای در این آنتن، پهنای باند آن را در مد تشدید مرتبه صفر به طور قابل توجهی افزایش داده است به گونه ای که آنتن پیشنهادی دارای پهنای نسبی $32/6\%$ در بازه GHz 25/4 تا GHz 72/5 می‌باشد. این آنتن در مقایسه با آنتن‌های تشدید کننده مرتبه صفر پیشین دارای پهنای باند بیشتر، ساختار سلول واحد نسبتاً ساده‌تر و بازده تشعشعی بالاتر و پیک بهره مناسب است. آنتن پیشنهادی به صورت تک لایه و بدون وایا طراحی شده است که فرآیند ساخت آن ساده و از نظر هزینه مقرون به صرفه می‌باشد.

۲- مبانی تئوری

۱- خطوط انتقال راستگرد-چپگرد ترکیبی

در شکل ۱ مدارهای معادل الف- خط انتقال راستگرد، ب- خط انتقال چپگرد و پ- خط انتقال راستگرد-چپگرد ترکیبی نشان داده شده است. خط انتقال چپگرد در بازه‌ی فرکانسی خاص می‌تواند موج را به صورت معکوس منتشر کند که در این صورت سرعت فاز و گروه مخالف یکدیگر هستند. اما در زمان پیاده‌سازی این خط انتقال، حضور عناصر ناخواسته (سلف سری و خازن موازی) به یک ساختار منجر به ایجاد ساختار راستگرد-چپگرد ترکیبی می‌شود. در مدارهای معادل، LR،CR

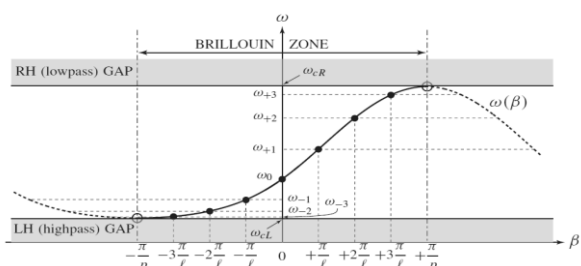
⁴ Coplanar Waveguide

⁵ Via

² Composite Right/Left Handed Transmission lines

³ Zeroth-order resonator (ZOR) Antennas

حذف می‌شود [۳]. هنگامی که تنها یک سلول در ساختار باقی می‌ماند به دلیل حذف تناوب، انعکاس‌های هم‌فاز از سلول‌های مجاور حذف شده و شرط براگ ارضا نخواهد شد و در نتیجه سه فرکانس تشدید، توسط یک آنتن تشدید کننده مرتبه صفر ایجاد می‌شود که توانایی فشرده‌سازی بیشتری را نسبت به آنتن‌های چند سلولی دارد [۳].

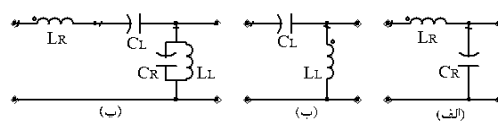


شکل ۲: محل فرکانس‌های تشدید یک ساختار چپگرد-راستگرد متوازن تشکیل شده از N سلول واحد [۳].

ج- ساختار آنتن پیشنهادی و شرح عملکرد آن

آنتن پیشنهادی بر روی زیرلایه RT/duroid5870 با ضخامت 0.787 mm طراحی شده است. ضریب گذردهی نسبی این زیرلایه $2/33$ و تانژانت تلفات آن 0.012 است. شکل ۳ سلول واحد CRLH آنتن پیشنهادی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود سلف موازی چپگرد با به کار بردن یک خط پر پیچ و خم متصل به زمین و خازن سری چپگرد توسط شکاف دندان‌های در پیچ تشعشعی ایجاد شده است. همچنین خازن موازی و سلف سری راستگرد به طور خودکار به ترتیب توسط اثر خازنی بین پیچ و زمین و اثر سلفی دندان‌ها و قسمت میانی پیچ ایجاد می‌شوند. شکل ۴ نمای کلی آنتن نهایی و ابعاد فیزیکی را نمایش می‌دهد. آن‌چنان که در شکل ۴ دیده می‌شود به منظور تطبیق امپدانس بهتر، خط

و CL ، LL به ترتیب خازن و سلف در یک سلول RH-TL و LH -TL می‌باشند. طول هر سلول، از طول موج خط انتقال بسیار کوچک‌تر است. ضریب گذردهی الکتریکی (ϵ) و ضریب نفوذپذیری مغناطیسی (μ) معادل در خط راستگرد، مثبت و در خط چپگرد، منفی می‌باشند. همچنین، ثابت فاز در RH TL مقداری مثبت و در LH TL منفی است [۳].



شکل ۱: مدار معادل الف) خط RH ب) خط LH پ) خط CRLH [۳].

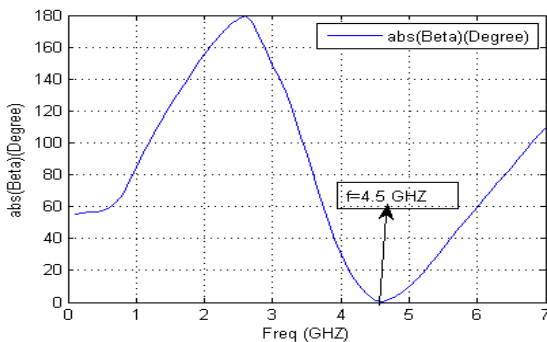
ب- آنتن‌های تشدید کننده مرتبه صفر

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود برای یک تشدید کننده با طول l ، دوره تناوب p و متشکل از N سلول، هر طرف ناحیه بریلوئین نسبت به محور ω ، به N قسمت مساوی با طول π/l تقسیم شده و فرکانس‌های تشدید از رابطه (۱) محاسبه می‌شوند:

$$\beta_n p = \frac{np}{N} \quad (n = 0, \pm 1, \dots, \pm N) \quad (1)$$

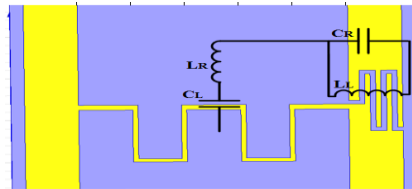
در این رابطه n شماره مد تشدید و N تعداد سلول است. انتظار می‌رود چنین تشدید کننده‌ای $2N+1$ تشدید داشته باشد، اما تشدیدهایی که در لبه ناحیه بریلوئین قرار می‌گیرند و با دایره نشان داده شده‌اند، برای تشدید کننده، فرکانس‌های تشدید ایجاد نمی‌کنند. این فرکانس‌ها جزو فرکانس‌های براگ هستند و بنابراین $2N-1$ فرکانس مشاهده می‌شود. با کاهش هر سلول یک تشدید از ناحیه راستگرد و یک تشدید از ناحیه چپگرد

Dispersion برای سلول واحد در شکل ۵ دیده می شود. این نمودار همان نمودار ثابت فاز سلول واحد CRLH-TL بر حسب فرکانس است که قدمطلق آن (ضریبی از آن) بر حسب درجه رسم شده است. همان طور که مشاهده می شود در فرکانس ۴/۵ GHz اندازه ثابت انتشار برابر صفر است که این تأیید کننده مد مرتبه صفر بودن آنتن است. شکل ۶ نمودار اندازه ضریب انعکاس در دهانه ورودی آنتن نهایی را بر حسب dB نشان می دهد. $|S_{11}|$ ، به میزان خوبی کمتر از -10dB بوده و بنابراین آنتن از تطبیق مناسبی برخوردار است. همان طور که در شکل نشان داده شده است، پهنای باند امپدانس آنتن برابر ۳۲/۶ درصد است. آنتن در فرکانس کاری ابعادی برابر $0.11\lambda \times 0.262\lambda \times 0.225\lambda$ دارد که در مقایسه با آنتن نیم طول موج، نشان می دهد کوچک سازی آنتن به خوبی انجام شده است. همچنین، در این فرکانس بازده تشعشعی و بهره آنتن به ترتیب ۹۱٪ و ۳/۰۸ است که با توجه به ابعاد آنتن، مقادیر قابل قبولی هستند. در شکل ۷ الگوی تشعشعی آنتن در صفحات E و H در فرکانس ۴/۵ GHz مشاهده می شود.

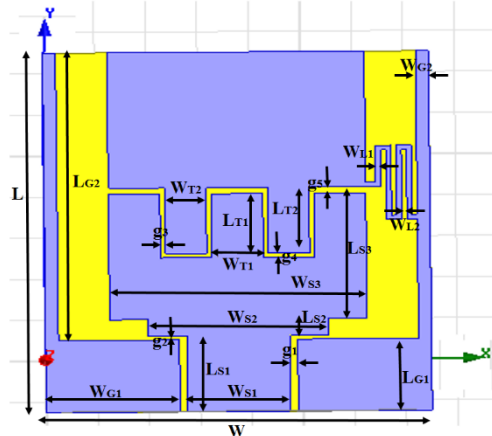


شکل ۵: نمودار پراکندگی سلول واحد CRLH پیشنهادی.

وسط موجیر هم صفحه در دهانه ورودی به صورت پله ای طراحی شده است. مقدار پارامترهای نهایی آنتن که منجر به عملکرد مناسب آنتن می شود در جدول ۱ نمایش داده شده است. (این پارامترها بر حسب میلی متر هستند و در شکل ۴ نشان داده شده اند).



شکل ۳: سلول واحد CRLH آنتن پیشنهادی.



شکل ۴: نمای کلی آنتن نهایی و ابعاد فیزیکی آن.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای آنتن پیشنهادی (بر حسب میلی متر).

W	L	WS1	LS1	WS2	LS2	WS3	LS3
۱۵	۱۷/۵	۴	۳/۵	۷	۰/۸	۱۰	۶/۱
WT1	LT1	WT2	LT2	WG1	LG1	WG2	LG2
۲	۳/۱	۱/۶	۳/۲	۵/۲	۳/۵	۰/۵	۱۴
WL1	WL2	g1	g2	g3	g4	g5	h
۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۷۸۷

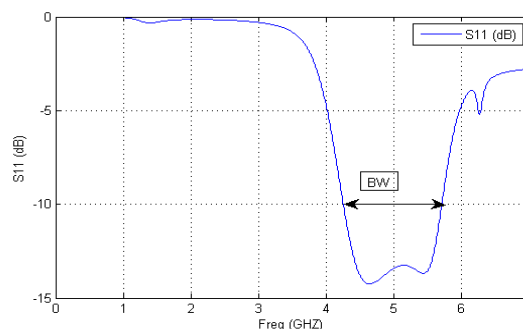
۳- نتایج طراحی و شبیه سازی

شبیه سازی و بهینه سازی آنتن پیشنهادی با نرم افزار Ansoft HFSS انجام شده است. نمودار

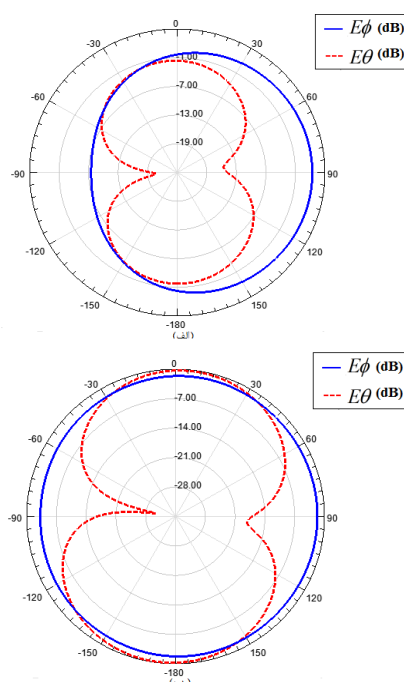
ابعاد کوچک‌سازی شده، دارای پهنای باند نسبی ۳۲/۶٪ است. آنتن پیشنهادی به صورت تک لایه و بدون وایا طراحی شده است که فرآیند ساخت آن ساده و ارزان است. همچنین این آنتن در مقایسه با آنتن‌های تشدید کننده مرتبه صفر پیشین دارای پهنای باند بیشتر، ساختار سلول واحد نسبتاً ساده‌تر و بازده تشعشعی بالاتر و بهره مناسب است، بنابراین می‌تواند برای کاربرد در مخابرات بی‌سیم مناسب باشد.

مرجع‌ها

- [1] Constantine A. Balanis, *Modern Antenna Handbook*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 475-480, 2008.
- [2] S. Dey, R. Mittra, T. Kobayashi, M. Itoh, S. Maeda, "Circular polarized meander patch antenna array," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, July 1996, pp. 1100-1103.
- [3] C. Caloz, and T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials: Transmission line theory and microwave applications*. John Wiley & Sons, Inc. pp. 297-300, 2006.
- [4] N. Engheta and R. W. Ziolkowski, *Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*. New York: Wiley, pp. 205-207, 2006.
- [5] A. Lai, K. M. K. H. Leong, and T. Itoh, "Infinite wavelength resonant antennas with monopolar radiation pattern based on periodic structures" *IEEE Trans. Antennas Propag*, vol. 55, no. 3, pp. 868-876, Mar. 2007.
- [6] Taehee, Jang and Jaehyurk, Choi, "Compact Coplanar Waveguide (CPW)-Fed Zeroth-Order Resonant Antennas with Extended Bandwidth and High Efficiency on Vialess Single Layer" *IEEE Trans. Antennas Propag*, Vol. 59, No. 9, pp. 363-372, 2011.
- [7] Po-Wei, Chen and Fu-Chiarng, Chen, "Asymmetric Coplanar Waveguide (ACPW) Zeroth-Order Resonant (ZOR) Antenna With High Efficiency and Bandwidth Enhancement" *IEEE Trans. Antennas Propag*, Vol. 11, pp. 527-530, 2012.
- [8] Chi, P. L. and Shih, Y. S., "Compact and Bandwidth-Enhanced Zeroth-Order Resonant Antenna" *IEEE Trans. Antennas Propag*, vol. 14, no., pp. 285-288, 2015.



شکل ۶: نمودار اندازه ضریب انعکاس در دهانه ورودی آنتن.



شکل ۷: الگوی تشعشعی آنتن در فرکانس ۴/۵ GHz (الف) در صفحه XZ (ب) در صفحه YZ.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک آنتن تشدید کننده مرتبه صفر جدید با یک سلول واحد با استفاده از یک موجبر هم‌صفحه و یک شکاف هوایی دندان‌های در میان پیچ تشعشعی ارائه شده است. استفاده از شکاف دندان‌های در این آنتن، پهنای باند آن را در مد تشدید مرتبه صفر به طور قابل توجهی افزایش داده است به گونه‌ای که آنتن با