

افزایش بهره و کاهش تزویج بین آنتن های چند ورودی و چند خروجی با بکارگیری از فرامواد با ضریب شکست نزدیک به صفر

محمد بمانی^۱، وحید نجفی^۲

bemani@tabrizu.ac.ir

۱- استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- کارشناس ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز

چکیده

در این مقاله کاربرد جدیدی از ساختارهای فرامواد با ضریب شکست صفر برای افزایش بهره و کاهش تزویج آنتن های آرایه ای ارائه شده است. در طرح پیشنهادی از سه آنتن ریزنواری یاگی یودا که به فاصله کم از یکدیگر قرار گرفته و صفحات فرامواد استفاده شده است. با حذف جهت دهنده ها در ساختار و استفاده از فرامواد، میزان تزویج بین المانها در گستره فرکانس کاری به میزان ۵ الی ۸ دسیبل کاهش و بهره هر آنتن به طور متوسط ۳ دسیبل افزایش یافته است. داشتن پهنای باند فرکانسی ۷۲ درصدی و فشردگی ساختار آرایه، این طرح را به گزینه ی مناسبی برای استفاده در سیستم های چند ورودی و چند خروجی باند C و برد بلند تبدیل کرده است.

واژگان کلیدی: فرامواد، آنتن های چند ورودی و چند خروجی، افزایش بهره، کاهش تزویج

تاریخ دریافت مقاله : ۹۸/۰۷/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۹/۰۲/۱۹

۱- مقدمه

ظرفیت انتقال اطلاعات با نرخ خطای کم جز مشخصه‌های مهم و اساسی در ارتباطات بی‌سیم محسوب می‌شود که در این بین سیستم‌های با چند ورودی و چند خروجی که به اختصار MIMO^۱ گفته می‌شود، گزینه‌ی مناسبی برای رسیدن به این انتظارات محسوب می‌شود. تزویج بین آنتن‌ها همواره یکی از عوامل مخرب در عملکرد این نوع سیستم‌ها شناخته شده است اگر چه می‌توان با افزایش فاصله بین آن‌ها تا حدودی بر این مشکل غلبه کرد ولی ضرورت بر کوچک‌سازی ادوات مخابراتی به خصوص در شبکه‌های نسل پنجم که از آرایه‌های پرتعداد MIMO استفاده می‌کنند، باعث شده پژوهشگران روش‌های دیگری برای حل مشکل پیدا کنند [1]–[3].

آنتن‌های یاگی یودا ریزنواری جز آنتن‌های End-Fire جهت دار و پرکاربرد در ارتباطات بی‌سیم محسوب می‌شود، داشتن بهره بالا و حجم ساختاری کم باعث شده به گزینه‌ی مناسبی برای کاربردهای مختلف قرار بگیرد [4]. در این بین روش‌های مختلفی برای افزایش پهنای باند این ساختارها ارائه شده است [5], [6], [7] از روش تغذیه CPW^۲ برای افزایش پهنای باند امپدانس بهره برده شده است. افزایش تعداد جهت دهنده‌ها در آنتن‌های یاگی یودا باعث افزایش جهت دهی آنتن می‌شود ولی روش‌های نوینی مانند استفاده از سلول‌های فرامواد با ضریب گذری نزدیک به صفر باعث افزایش بهره آنتن می‌شود که معمولاً استفاده این نوع ساختارها در آنتن‌های End-Fire مرسوم تر است [8]–[12]. در این مقاله با استفاده از ساختارهای فرامواد سعی در ایجاد محیطی با ضریب گذری نزدیک به صفر برای افزایش بهره آنتن و همچنین کاهش میزان تزویج بین آنتن‌ها برای حفظ کارایی و مزایای آرایه‌های MIMO ارائه شده است.

۲- روش طراحی

۲-۱- طراحی سلول واحد فرامواد

نحوه ی عملکرد این فرامواد را می‌تواند با توجه به رابطه‌ی اسنل^۳ بهتر نشان داد. طبق رابطه‌ی اسنل داریم [12]:

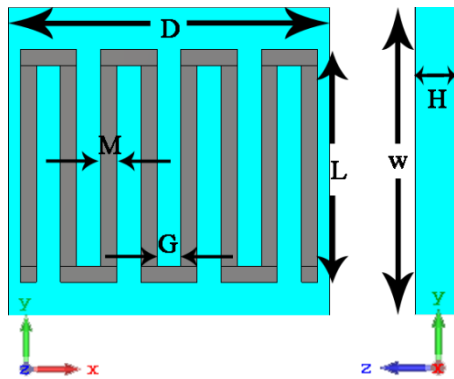
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

که در رابطه‌ی (۱) n_1 مربوط به محیط یک و n_2 مربوط به محیط دوم است و همچنین داریم:

$$n = \sqrt{\epsilon\mu} \quad (2)$$

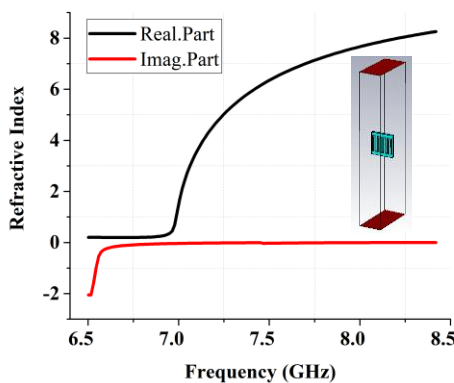
طبق رابطه‌ی (۲) در صورت میل ضریب گذری و ضریب نفوذپذیری به صفر، ضریب شکست محیط صفر شده و باعث متمرکز شدن تشعشعات از محیط اول به دوم و نهایتاً افزایش بهره خواهد شد.

بدین منظور از سلول واحد مدل پیچ و خم دار که در شکل (۱) به نمایش در آمده استفاده شده است که نتایج شبیه سازی این سلول واحد در نرم افزار CST-Studio در شکل (۲) با شرایط مرزی سلول واحد نشان داده شده است.



شکل (۱) سلول واحد فرامواد با ضریب شکست نزدیک به صفر.

$$D = 4 \text{ mm}, W = 4 \text{ mm}, L = 2.9 \text{ mm} \\ H = 0.5 \text{ mm}, G = 0.3 \text{ mm}, M = 0.2 \text{ mm}$$



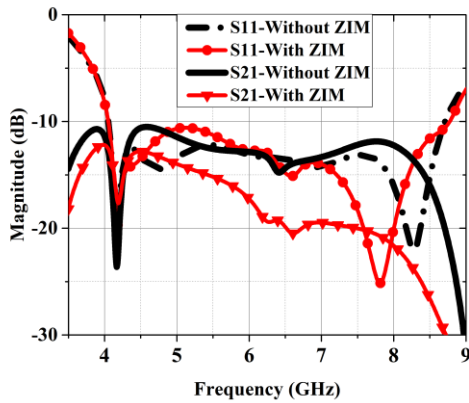
شکل (۲) ضریب شکست سلول واحد شبیه سازی شده

همانطور که نمایان است این سلول واحد در بازه ی فرکانسی ۶٫۵ تا ۸٫۵ گیگاهرتزی دارای ضریب شکست زیر ۸ میباشد.

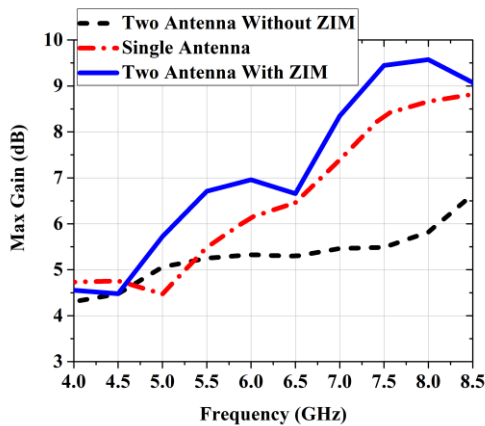
- 1 Multi Input Multi Output
- 2 Coplanar Waveguide
- 3.Snell

۲-۲- جاسازی فرامواد بین آرایه های یاگی یودا ریز نواری

در شکل (۳) آنتن یاگی یودا ریز نواری با تغذیه CPW نشان داده شده است که شامل عناصری مانند منبع تشعشع دایبل و زمین جهت افزایش جهت دهی آنتن که بر روی زیرلایه FR4 با ثابت دی الکتریک ۴٫۴ طراحی شده است. در این کار برای جلوگیری از تزویج بین آرایه ها جهت دهنده های آنتن یاگی یودا حذف و به جای آن از ساختارهای فرامواد که به صورت صفحه ای موازی بین آرایه ها قرار گرفته است که برای بررسی اثرات آن، سه آنتن آرایه ای یاگی یودا ریز نواری به همراه صفحات فرامواد بین آن ها شبیه سازی شده که ساختار کلی در شکل (۴) نشان داده شده است. در این ساختار فاصله ی افقی هر آنتن از هم ۱٫۵ سانتی متر و در هر طرف آنتن دو زیرلایه حاوی فرامواد ZIM^۱ به فاصله ی ۰٫۵۶ سانتی متری قرار گرفته است.

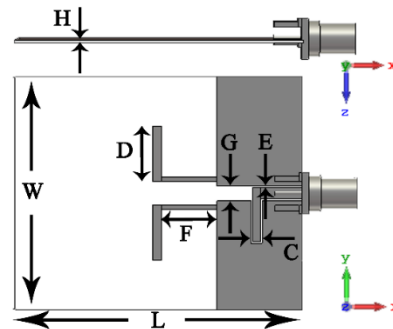


شکل (۵) مقایسه تلفات بازگشتی و تزویج بیت آنتن ها در حالات با و بدون فرامواد

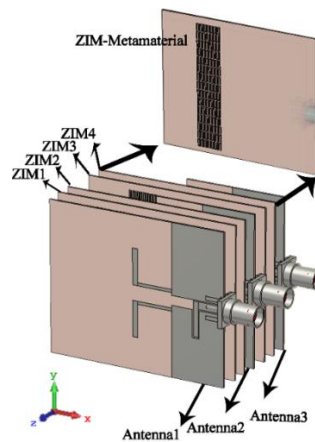


شکل (۶) مقایسه مقدار بیشینه بهره در حالات با و بدون فرامواد و آنتن تنها

همانطور که در شکل (۵) مشخص است این آنتن در گستره ی فرکانسی ۴ تا ۸٫۵ گیگاهرتز دارای بازگشت تلفاتی زیر ۱۰ دسیبل بوده که مناسب برای طراحی لینک های رادیویی برد بلند باند C است و با اعمال ساختار فرامواد ZIM میزان تزویج بین آنتن ۱ و ۲ در این باند کاری به طور متوسط بین ۵ تا ۸ دسیبل بهبود پیدا کرده است. الگوی تشعشعی E-plane و H-Plane آنتن پیشنهادی در سه نقطه فرکانسی ۵ ، ۶ ، ۸ گیگاهرتز به ترتیب در شکل (۷) و (۸) نشان داده شده است.



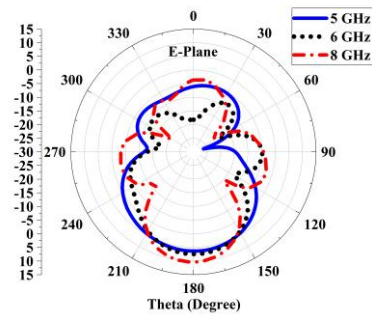
شکل (۳) آنتن یاگی یودا ریز نواری با تغذیه CPW
 $W = 40 \text{ mm}$. $L = 49 \text{ mm}$. $D = 9.5 \text{ mm}$
 $F = 9.5 \text{ mm}$. $G = 2.55 \text{ mm}$. $E = 0.3 \text{ mm}$
 $C = 1.34 \text{ mm}$. $H = 0.5 \text{ mm}$



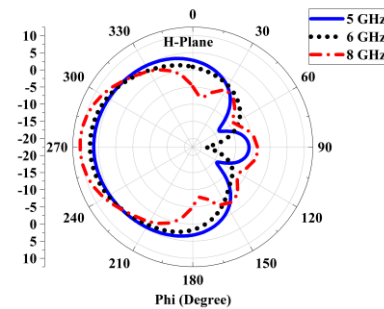
شکل (۴) نمای سه بعدی از آرایه و جاسازی فرامواد بین آن ها

1 Zero Index Metamaterial

- MIMO slot antennas using metamaterial mushroom structures,” 2015 Int. Work. Antenna Technol. iWAT 2015, pp. 3–6, 2015.
- [2] N. Kumar and U. Kiran Kommuri, “Mimo Antenna Mutual Coupling Reduction for Wlan Using Spiro Meander Line Uc-Ebg,” Prog. Electromagn. Res. C, vol. 80, no. November 2017, pp. 65–77, 2018.
- [3] A. Jafargholi, A. Jafargholi, and J. H. Choi, “Mutual Coupling Reduction in an Array of Patch Antennas Using CLL Metamaterial Superstrate for MIMO Applications,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 67, no. 1, pp. 179–189, 2019.
- [4] V. Najafy and M. Bemani, “Design and Fabrication of Dual-band Microstrip Yagi-Uda Antenna for Use in 0.9 GHz and 2.4 GHz Frequency bands,” vol. 47, no. 2, pp. 0–4.
- [5] S. X. Ta, H. Choo, and I. Park, “Wideband Double-Dipole Yagi-Uda Antenna Fed By a Microstrip-Slot Coplanar Stripline Transition,” Prog. Electromagn. Res. B, vol. 44, no. August, pp. 71–87, 2014.
- [6] J. Wu, Z. Zhao, Z. Nie, and Q. H. Liu, “Design of a wideband planar printed quasi-yagi antenna using stepped connection structure,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 62, no. 6, pp. 3431–3435, 2014.
- [7] X. Zhao, Y. Huang, X. Xue, and G. Wen, “A CPW-fed broadband quasi-Yagi antenna with low cross-polarization performance,” AEU - Int. J. Electron. Commun., vol. 83, pp. 188–192, 2018.
- [8] A. M. C. Metasurface et al., “Near-Zero-Index Metamaterial Lens Combined With Antennas,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 62, no. 4, pp. 1928–1936, 2014.
- [9] M. Sun, Z. N. Chen, and X. Qing, “Gain enhancement of 60-GHz antipodal tapered slot antenna using zero-index metamaterial,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 61, no. 4, pp. 1741–1746, 2013.
- [10] Bin Zhou and Tie Jun Cui, “Directivity Enhancement to Vivaldi Antennas Using Compactly Anisotropic Zero-Index Metamaterials,” IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 10, pp. 326–329, 2011.
- [11] S. Wu, Y. Yi, Z. Yu, X. Huang, and H. Yang, “A zero-index metamaterial for gain and directivity enhancement of tapered slot antenna,” J. Electromagn. Waves Appl., vol. 30, no. 15, pp. 1993–2002, 2016.
- [12] R. Haghpanahan and R. Nilavalan, “Planar quasi-Yagi antenna gain enhancement using zero-index metamaterials,” 2014 Loughbrgh. Antennas Propag. Conf. LAPC 2014, no. November, pp. 736–739, 2014.



شکل (۷) الگوی تشعشی E-Plane شبیه سازی شده



شکل (۸) الگوی تشعشی H-Plane شبیه سازی شده

۳- نتیجه گیری

آنتن آرایه‌ای ارائه شده شامل المان‌هایی همچون آنتن ریزنواری یاگی یودا با تغذیه CPW برای داشتن پهنای باند

امپدانس بالا و همچنین جایگزینی فرامواد ZIM به جای جهت‌دهنده برای کاهش تزویج بین آن‌ها و همچنین افزایش بهره هر آنتن می‌باشد. خلاصه‌ای مشخصات آنتن نهایی در جدول (۱) به نمایش در آمده است. این آنتن آرایه‌ای پیشنهادی را میتوان گزینه‌ی مناسبی برای سیستم‌های MIMO دانست.

جدول (۱) خلاصه از مشخصات آنتن آرایه‌ای پیشنهادی

مشخصه	مقدار
بهره	f1=5 GHz :6 dB f2=6 GHz :7dB f3=8 GHz :9.5 dB
پهنای باند فرکانسی	BW=72%
میزان تزویج	f1=5 GHz : -14 dB f2=6 GHz : -17 dB f3=8 GHz : -23 dB
بازده تشعشی آنتن	f1=5 GHz :86 % f2=6 GHz :84 % f3=8 GHz :84 %

منابع

- [1] G. Zhai, Z. N. Chen, and X. Qing, “Mutual coupling reduction of compact four-element