

پوشش‌های فراماده‌ی وابسته به قطبش

جابر مقدسی^۱

منوچهر کامیاب^۲، امیر جعفرقلی^۳، مهدی ویسی^۴

چکیده

در یک پوشش فراماده همسانگرد، فاز موج عبوری برای تابش عمود بر پوشش فراماده، صرفنظر از جهت قطبش آن، ثابت میماند. در این مقاله پوشش‌های فراماده وابسته به قطبش که فاز عبوری آنها برای قطبش در دو جهت متعامد متفاوت است، معرفی میشوند. هدف از این تحقیق این است که با استفاده از پوشش‌های فراماده وابسته به قطبش، قطبش موج تابشی را تغییر دهیم. روش تفاضلات محدود در حوزه زمان که توسط نویسندگان بهینه شده است، برای شبیه سازی‌ها به کار رفته است.

کلید واژه

پوشش فرامواد، وابستگی به قطبش، قطبش موج تابشی، امواج عبوری

۱. کارشناس ارشد مخابرات، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی jbmoghaddasi@gmail.com

۲. دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی

۳. دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی

۴. دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی

تاریخ دریافت: ۸۹/۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۷

مقدمه

خواص منحصر به فرد پوشش‌های فراماده باعث محبوبیت آنها در مهندسی آنتن شده است [۱-۴]. مشخصه مهم پوشش‌های فراماده جهت دار کردن موج عبوری است [۲]. این مسئله در طراحی آنتن‌های با دایرکتیویته بالا بسیار مفید است. بخش عمده‌ای از تحقیقات در فرکانس‌های موج کوتاه بر روی پوشش‌های فراماده همسانگرد متمرکز شده است [۱-۴]. این پوشش‌ها مستقل از جهت قطبش موج تابشی هستند [۱-۴]. در سالهای اخیر بازتابنده‌های وابسته به قطبش مورد توجه محققان بسیاری در سراسر جهان قرار گرفته است [۵-۷].

برخلاف پوشش‌های فراماده همسانگرد، فاز موج عبوری از یک پوشش فراماده‌ای وابسته به قطبش تابعی از فرکانس و قطبش موج تابشی است. بنابراین هنگامی که یک پوشش فراماده‌ای وابسته به قطبش به عنوان هدایت کننده عمل می‌کند، قطبش موج عبوری به اختلاف فاز عبوری بین مولفه‌های قطبش در جهت‌های X, Y و قطبش موج تابشی وابسته است. بنابراین با اختلاف فاز مناسب بین مولفه‌های قطبش در جهت‌های X, Y میتوان قطبش موج عبوری را به شکل دلخواهی تعیین کرد. آنتن‌های با قطبش دایروی و دایرکتیویته بالا به صورت گسترده‌ای در سامانه‌های مخابراتی به کار می‌رود. برای دستیابی به یک آنتن با قطبش دایره‌ای با دایرکتیویته بالا انواع گوناگونی از آنتن‌های با پوشش فراماده در مجلات معتبر علمی پیشنهاد شده است [۸-۱۰]. در مرجع [۸] یک آنتن با قطبش دایروی با دایرکتیویته بالا به وسیله پوشش فراماده و تغذیه دایروی تحقق یافته است. محدودیت اصلی این روش عدم امکان تنظیم مکانیکی آن است. به عبارتی دیگر قطبش آنتن تنها با ساختار تغذیه آنتن تعیین شده است.

آنتن‌های با قطبش دایره‌ای و دایرکتیویته بالا را با اضافه کردن یک لایه از تغییر قطبش دهنده‌های سیمی [۹] یا مارپیچی شکل [۱۰] روی یک لایه از پوشش فراماده میتوان ساخت. در این مقاله بجای به کار بردن تغییر قطبش دهنده‌های سیمی یا مارپیچی شکل، ساختار پوشش فراماده به منظور ایجاد قطبش دایره‌ای تغییر داده می‌شود. در نتیجه لایه دوم (لایه تغییر دهنده) را می‌توان با یک لایه فراماده دیگر جایگزین نمود. این کار باعث افزایش دایرکتیویته آنتن میشود. علاوه بر این، برخلاف آنتن‌های با قطبش دایروی و دایرکتیویته بالا که تا به حال معرفی شده اند [۸-۱۰]، قطبش یک آنتن با دایرکتیویته بالا که ساختار پیشنهادی ما را به کار می‌برد، صرف نظر از ساختار تغذیه قابل تغییر است. در این مقاله روند استفاده از دامنه و فاز ضریب عبور پوشش فراماده به منظور تعیین باند عملیاتی آنتن‌های با قطبش دایروی و دایرکتیویته بالا معرفی می‌شود.

طراحی پوشش فراماده وابسته به قطبش

به عنوان یک نقطه شروع، یک شبکه فلزی دو لایه تعبیه شده روی یک آنتن با صفحه زمین را در نظر بگیرید. نمایی از این پوشش فراماده با سوراخ‌های مربعی در شکل (۱) نشان داده شده است. شبیه سازی‌ها برای بررسی مشخصه‌های ضریب عبور این پوشش فراماده، بدون در نظر گرفتن صفحه زمین و آنتن، با برنامه نوشته شده به روش تفاضلات محدود در حوزه زمان^۱ انجام شده است. ضریب عبور پوشش فراماده با در نظر گرفتن یک سلول از این ساختار محاسبه شده است (شکل ۲). شرایط مرزی متناوب به اطراف این سلول اعمال شده تا یک مدل متناوب نامحدود را تحقق بخشد. هنگامی که یک موج صفحه‌ای بر روی این پوشش فراماده می‌تابد فاز و اندازه موج عبوری با فرکانس تغییر می‌کند. به منظور نمایش مشخصه قطبش یک پوشش فراماده وابسته به قطبش، فرض می‌کنیم که یک موج دایروی چپ‌گرد، $E^i = \bar{a}_x e^{-jkz} + j\bar{a}_y e^{-jkz}$ عمود بر هدایت‌کننده واقع شده در صفحه XOY می‌تابد. میدان عبوری از این هدایت‌کننده به سادگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$E^t = e^{-jkz} e^{j\theta_x} (\bar{a}_x + j\bar{a}_y e^{j(\theta_y - \theta_x)}) \quad (1)$$

میدان بالا را می‌توان به دو مولفه با قطبش دایروی تجزیه کرد:

$$E^t = e^{-jkz} e^{j\theta_x} \left[\bar{e}_r \left(\frac{1 - e^{j(\theta_y - \theta_x)}}{\sqrt{2}} \right) + \bar{e}_l \left(\frac{1 + e^{j(\theta_y - \theta_x)}}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (2)$$

که در آن

$$\bar{e}_l = \frac{(\bar{a}_x + j\bar{a}_y)}{\sqrt{2}}, \quad \bar{e}_r = \frac{(\bar{a}_x - j\bar{a}_y)}{\sqrt{2}}$$

که در آن θ_x و θ_y بیانگر فازهای عبوری امواج قطبیده در جهت‌های بترتیب Y و X هستند. برای یک پوشش فراماده‌ی همسانگرد ($\theta_y - \theta_x = 0$) موج عبوری کاملاً چپگرد بوده و بنابراین قطبش تغییر نخواهد کرد. به منظور تغییر قطبش موج تابشی، پوشش فراماده‌ی وابسته به قطبش را می‌توان به عنوان هدایتگر به کار برد.

در یک فرکانس معین که $\theta_y - \theta_x = 180^\circ$ درجه است و اندازه موج عبوری نیز قابل توجه می‌باشد، قطبش موج عبوری راستگرد خواهد بود. موج تابشی با قطبش دایروی چپگرد را همچنین می‌توان به یک موج با قطبش خطی تبدیل کرد. برای این منظور کفایت که اختلاف فاز برابر 90° درجه باشد. همین روند را برای موج تابشی با قطبش خطی، $E^i = \bar{a}_x e^{-jkz} + \bar{a}_y e^{-jkz}$ میتوان به کار برد. که در این حالت موج عبوری به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E^t = \bar{a}_x e^{-j(kz - \theta_x)} + \bar{a}_y e^{-j(kz - \theta_y)} = e^{-jkz} e^{j\theta_x} \left[\bar{e}_l \left(\frac{1 + e^{j(\theta_y - \theta_x + \pi/2)}}{\sqrt{2}} \right) + \bar{e}_r \left(\frac{1 - e^{j(\theta_y - \theta_x + \pi/2)}}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (3)$$

در نتیجه، ساختار تشعشعی یک آنتن با قطبش خطی با پوشش فراماده به کمک معادله (۳) قابل توصیف است. برای یک پوشش فراماده همسانگرد اختلاف فاز بین دو قطبش متعامد صفر است و بنابراین قطبش تغییر نمی‌کند. در حالیکه اگر پوششهای فراماده ای وابسته به قطبش با اختلاف فاز عبوری $+90^\circ$ و -90° درجه به عنوان هدایتگر به کار روند، قطبش موج عبوری از خطی به ترتیب به دایروی چپگرد و راستگرد تبدیل میشود. بنابراین به سادگی میتوان با چرخاندن یک پوشش فراماده به صورت یکنواخت و با پله‌های 90° درجه نسبت به وضعیت آنتن پلاریزاسیون آنتن تحت پوشش را از راستگرد به چپگرد و بالعکس تغییر داد.

بر اساس بحث بالا می‌توان نتیجه گرفت که پوشش فراماده میتواند به خوبی به عنوان یک صفحه تغییردهنده ای قطبش عمل نماید. باند فرکانسی عملیاتی یک آنتن با پوشش فراماده‌ی وابسته به قطبش بازه فرکانسی است که در آن اندازه ضرایب عبور برای مولفه های قطبش در جهت های Y و X نزدیک به مقدار بیشینه آنها بوده و اختلاف فاز عبوری آنها مناسب است. این مشخصه جذاب با تغییر ساختار سلول واحد، همانند بریدن سوراخ‌های مستطیلی به جای سوراخ‌های مربعی و تغییر ارتفاع نسبی بین نوارهای در جهته ای Y و X هر لایه امکان پذیر است.

پوشش های فراماده با سوراخ‌های مستطیلی

پوشش‌های فراماده ای همسانگرد سوراخ‌های مربعی متقارنی دارند. به همین دلیل فاز عبوری برای تابش عمودی صرفنظر از قطبش موج تابشی، ثابت باقی می ماند. بنابراین برای داشتن یک ساختار وابسته به قطبش میتوان سوراخ‌های مستطیلی را جایگزین سوراخ‌های مربعی کرد. هنگامی که عرض سوراخ افزایش می‌یابد، فرکانس پلاسما [۲] به سمت فرکانس‌های پایین تر منتقل میگردد. در نتیجه، با تغییر طول و عرض سوراخ‌های مستطیلی قطبش موج عبوری را می‌توان تغییر داد. به عنوان یک نمونه، یک پوشش فراماده با مقادیر پارامتری زیر را در نظر بگیرید:

$$h=24.5\text{mm}, P=20.5\text{mm}, L=17.5\text{mm}, W=16.5\text{mm}$$

برای یک آنتن با قطبش خطی، نسبت قطبش^۱ موج عبوری در شکل (۳) رسم شده است. همچنین شکل (۴) منحنی عبور را برای موج‌های تابشی با قطبش‌های درجهت های X , Y نشان میدهد. باند فرکانسی که در آن نسبت قطبش موج عبوری دایروی راستگرد کمتر از 6 dB بوده و اندازه‌ی ضرایب عبور برای هر دو موج تابشی با قطبش‌های در جهتهای X و Y بیشتر از 90% است، از 4.75 تا 5 گیگاهرتز است.

پوشش‌های فرامواد با نوارهای غیر هم صفحه

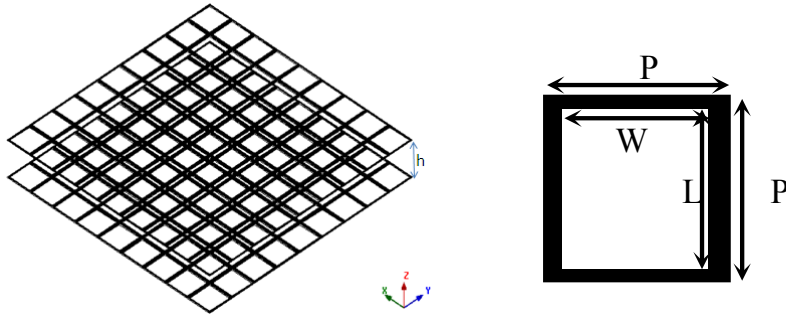
روش دیگر برای تحقق پوشش‌های فراماده‌ی وابسته به قطبش ایجاد یک فاصله مناسب بین نوارهای در جهت های X و Y هر لایه است (شکل ۵). در حالیکه برای یک پوشش فراماده همسانگرد، نوارهای در جهت های X و Y در یک صفحه مشترک قرار میگیرند. برای یک نمونه غیر هم صفحه بحث شده در این بخش، ابعاد پوشش فراماده به قرار زیر است:

$$L=W=13.5\text{mm}, P=18.5\text{mm}, h=27.5\text{mm}, h_{r1}=3.5\text{mm}, \text{ and } h_{r2}=7\text{mm}$$

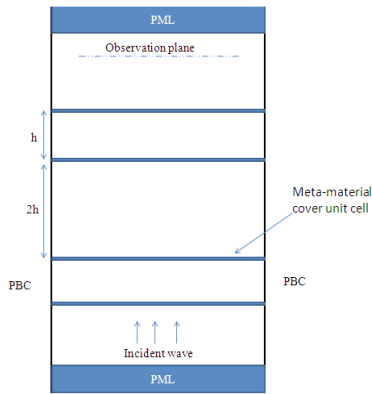
که در آن ارتفاع نسبی بین نوارهای در جهت‌های X و Y لایه اول و h_{r2} ارتفاع نسبی بین نوارهای در جهت های X و Y لایه دوم است. اندازه ضریب عبور برای موج تابشی با قطبش‌های در جهت های X و Y در شکل (۶) رسم شده است. نسبت قطبش موج تشعشع شده از آنتن با قطبش خطی نیز در شکل (۷) رسم شده است. همان طور که از شکل‌های (۶) و (۷) می‌توان دریافت، فرکانس آنتن پیشنهادی در حدود ۱.۹ گیگاهرتز است. فرکانسی که پوشش فراماده دارای اختلاف فاز عبوری مناسب و ضریب عبور قابل توجه است. نتایج شبیه سازی در این مقاله صحت روش پیشنهادی را برای کنترل جهت و قطبش موج عبوری اثبات می‌کند. مولفان بر این باورند که پوشش فراماده پیشنهادی قابلیت استفاده در حوزه‌های وسیعی از الکترومغناطیس همانند منابع نوری و مهندسی آنتن را دارد.

نتیجه گیری

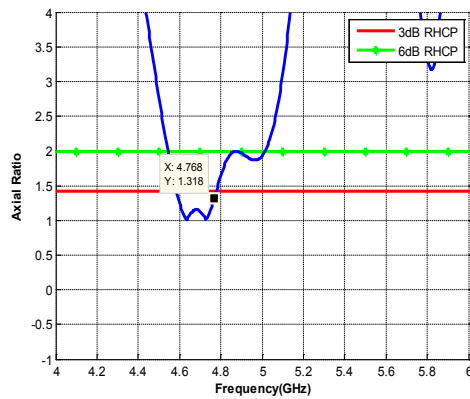
در این مقاله امکان داشتن همزمان نرخ عبور بیشینه و تعدد قطبش بررسی شده است. دو پوشش فراماده وابسته به قطبش جدید، شامل پوشش فراماده با سوراخ‌های مستطیلی و پوشش فراماده با نوارهای جابه جا شده، معرفی شده اند. فازهای عبوری به روش تفاضلات محدود حوزه زمان، شبیه سازی شده و اختلاف فاز بین امواج تابشی با قطبش‌های در جهت های X و Y به عنوان تابعی از فرکانس ثبت شده اند. همانطور که مشاهده شد، پوشش‌های فراماده‌ی وابسته به قطبش پیشنهاد شده در این مقاله نه تنها نرخ عبور را افزایش میدهند، بلکه در همان زمان، قابلیت تعدد قطبش را نیز فراهم میکنند.



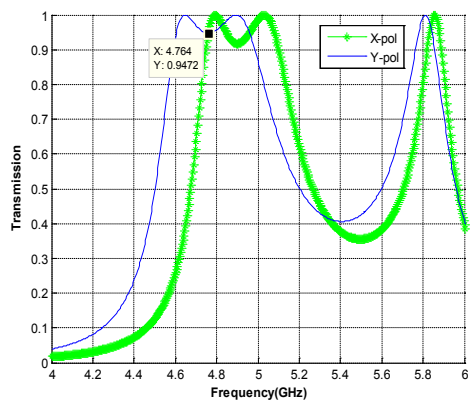
شکل ۱: نمایی از یک پوشش فراماده دولایه ای به همراه سلول واحد آن.



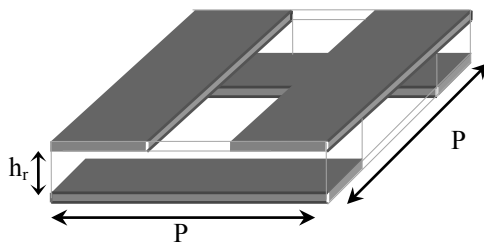
شکل ۲: مدل تفاضات محدود در حوزه زمان برای تحلیل پوشش فراماده.

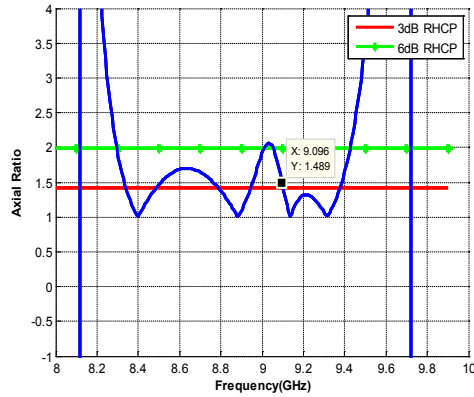


شکل ۳: نسبت قطبش موج عبوری از پوشش فراماده با سوراخ های مستطیلی.



شکل ۴: اندازه ضریب عبور پوشش فراماده با سوراخه ای مستطیلی.





شکل ۷: نسبت قطبش موج عبوری از پوشش فراماده با نوارهای جابجا شده.

مراجع

1. A. Alù, F. Bilotti, N. Engheta and L. Vegni “Metamaterial Covers Over a Small Aperture,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-54, no. 6, pp. 1632–1643, June. 2006.
2. S. Enoch, G. Tayeb, P. Sabouroux, N. Guérin, and P. Vincent, “A Metamaterial for Directive Emission,” Physical Review Letters 89, 213902 (2002).
3. H. Xu, Z. Zhao, Y. Lv, C. Du and X. Luo, “Metamaterial Superstrate and Electromagnetic Band-Gap Substrate for High Directive Antenna,” Int J Infrared Milli Waves, (2008) 29:493–498
4. C. Huang, Z. Zhao, W. Wang and X. Luo “Dual Band Dual Polarization Directive Patch Antenna Using Rectangular Metallic Grids Metamaterial,” J Infrared Milli Terahz Waves (2009) 30:700–708
5. F. Yang and Y. Rahmat-Samii, “A low profile single dipole antenna radiating circularly polarized waves,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 53, no. 9, 3083–6, 2005.

- 6.F. Yang and Y. Rahmat-Samii, “Polarization-dependent electromagnetic bandgap surfaces: characterization, designs, and applications, 2003 IEEE AP-S Dig3 (2003), 339–342.
- 7.F. Yang, and Y. Rahmat-Samii, “Electromagnetic band gap structures in antenna engineering”, Cambridge University Press, 2009.
- 8.J. C. Iriarte, I. Ederra, R. Gonzalo, A. Gosh, J. Laurin, C. Caloz, Y. Brand, M. Gavrilovic, Y. P. de Demers, “EBG Superstrate for Gain Enhancement of a Circularly Polarized Patch Antenna”, IEEE, APS, pp 2993-2996 (2006).
- 9.M. Diblanc, E. Rodes, E. Amaud, M. Thevenot, T. Monediere, B. Jecko, “Circularly Polarized Metallic EBG Antenna”, IEEE Microwave and Wireless Components letters., vol. 15, no. 10, 638-640, 2005.
- 10.E. Arnaud, R. Chantalat, M. Koubeissi, C. Menudier, T. Monediere, M. Thevenot, B. Jecko, “New Process of Circularly Polarized EBG Antenna by using meander Lines” IET, EuCAP, PP. 1-6, 2007.

