مجله علمی پژوهشی «الکترومغناطیس کاربردی»
سال سوم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵؛ ص ۴۴-۳۹

افزایش بهره و پهنای باند آنتن پچ با به‌کارگیری رولایه فراماده

علیرضا شریفی، جعفر خلیل‌پور[۲*]

۱- کارشناسی ارشد مخابرات میدان، ۲- استادیار، دانشکده برق، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

(دریافت: ۹۵/۰۴/۲۸، پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۹)

چکیده: یکی از کاربردهای فراماواد، بهینه‌سازی خواص تشعشعی آنتن‌های میکرواستریپ می‌باشد. در این تحقیق یک آرایه ۷×۷ سلولی از ساختارهای تشدیدی شامل حلقه شکاف‌دار (SRR) مستطیلی در نظر گرفته شده است. پارامترهای ساختاری فراماده حاصل شامل ضریب نفوذپذیری مغناطیسی (μ) و ضریب گذردهی الکتریکی (ε) آن با روش نیکلسون- رز استخراج شده است. یک آنتن پچ میکرواستریپ در فرکانس ۵/۸ GHz طراحی شده و از آرایه فراماده ، به‌عنوان رولایه آن، استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نرم‌افزار CST در غیاب رولایه و در حضور آن، آورده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بهره آنتن ۱۱۴٪ و پهنای باند آن ۱۱۶٪ بهبود پیدا کرده است. برد فراماده و آنتن میکرواستریپ، ساخته شده است. الگوی تشعشعی و تلفات بازگشتی آنتن در حضور و عدم حضور رولایه، اندازه‌گیری عملی شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری، توافق خوبی با نتایج شبیه‌سازی دارد. به دلیل استاندارد نبودن کانکتورهای SMA که در بازار وجود دارند و همچنین تلفات ناشی از پراب‌ها، سیم‌ها و نیز تلفات ناشی از خود دستگاه اندازه‌گیری، مقداری اختلاف بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری (فرکانس تشدید و دامنه تلفات بازگشتی) وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: فراماواد، آنتن پچ، رولایه ساختارهای تشدیدی، حلقه شکافدار (SRR)

۱- مقدمه

فراماواد[1]، مواد مرکبی هستند که خواص الکترومغناطیسی غیر معمول ازخود نشان می‌دهند [۲ -۱]. این مواد با ترکیب میله‌های کوچک و یک‌سری از حلقه‌های فلزی شکاف‌دار در اشکال مختلف ساخته می‌شوند [۲].

خواص جالب توجه این مواد سبب به‌کارگیری گسترده آن‌ها در حوزه‌های مختلف مهندسی مایکروویو نظیر ادوات موجبری [۴ -۳]، آنتن هوشمند [۵]، لنز [۶] و بسیاری زمینه‌های دیگر [۷]، شده است.

آنتن‌های میکرواستریپ، به خاطر خصوصیاتی مانند وزن‌کم، قیمت پایین، ساخت آسان و توانایی آن‌ها برای تولید مدارات مجتمع بسیار مورد توجه هستند. از آنتن‌های میکرواستریپ در کاربردهای مختلفی مانند سامانه‌های نوری و رادیویی استفاده می‌شود.

فراماواد در بسیاری از تحقیقات قبلی برای بهبود بخشیدن پارامترهای تشعشعی آنتن مورد توجه واقع شده‌اند. مانند ساختارهای تشدیدی شامل حلقه شکاف‌دار SRR [۸]، خازن‌های بارگذاری شده شکافی [۹] یا ساختار S شکل کوپل‌شده و یا ساختارهای تشدیدی شامل حلقه شکاف‌دار دوبل [۱۰].

در بعضی از مقالات ساختارهای چندلایه (دو یا سه لایه) از فراماده برای بهبود بخشیدن بهره و پهنای باند آنتن پیشنهاد شده است [۹-۱۰].

در این مقاله پس از طراحی آنتن در فرکانس ۵/۸ GHz، برای بهبود خواص تشعشعی آن از رولایه فراماده استفاده شده است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش نیکلسون- رز با استفاده از نرم-افزار متلب نشان می‌دهد که μ و ε، ساختار رولایه SRR به‌کار رفته در این فرکانس، هر دو منفی می‌باشند.

۲- طراحی

طراحی ساختار شامل دو مرحله طراحی آنتن و طراحی فراماده SRR می‌باشد که در ادامه به طور مفصل مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۱- طراحی آنتن پچ

شکل (۱) پیکربندی آنتن پیشنهادی را نشان می‌دهد. این آنتن بر روی ماده زمینه FR4 که ثابت دی‌الکتریک آن ۴/۴ ($\varepsilon_r = 4.4$) و ضخامتش ۱/۶ mm است، با استفاده از روابط (۴-۱) طراحی شده است. ابعاد آنتن پچ در شکل (۱- الف) بعد از بهینه‌سازی نشان داده شده است. ابعاد زیر لایه ۱۰۰×۱۰۰ mm است.

*نویسنده پاسخگو: J_khalilpour@yahoo.com

1. Metamaterial

پارامترهای ضروری برای طراحی و شبیه‌سازی آنتن پچ معمولی در فرکانس مورد نظر، با استفاده از روابط (۴-۱) به‌دست می‌آید:

$$W = \frac{c}{2f_r}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_{eff}+1}} \quad (۱)$$

$$L = \frac{c}{2f_r\sqrt{\varepsilon_{eff}}} - 2\Delta l \quad (۲)$$

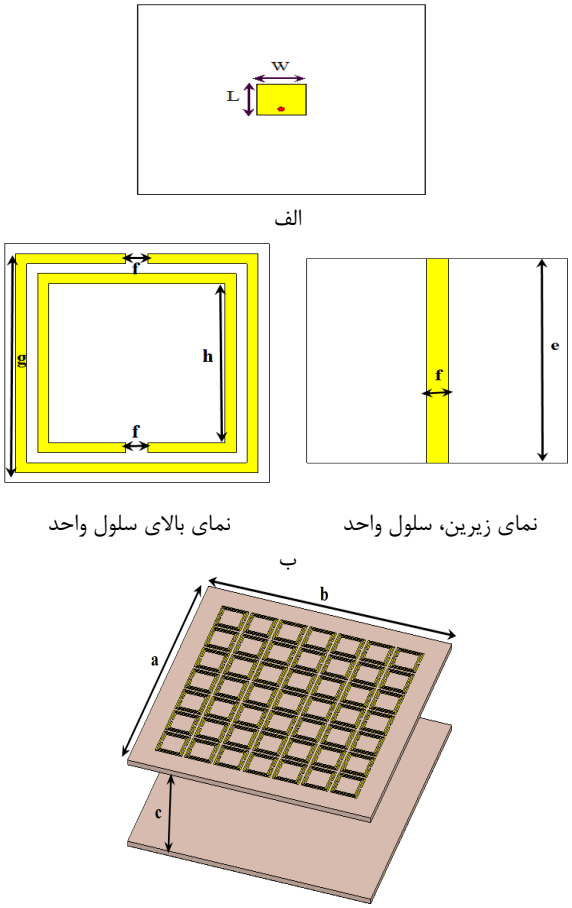
$$\Delta l = 0.412h\frac{(\varepsilon_{eff}+0.3)(W/h+0.264)}{(\varepsilon_{eff}-0.258)(W/h+0.8)} \quad (۳)$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r+1}{2} + \frac{\varepsilon_r-1}{2}(1+10\frac{h}{W})^{-\frac{1}{2}} \quad for \quad \frac{W}{h}>1 \quad (۴)$$

در این روابط W و L ابعاد پچ، C سرعت نور در فضا، fr فرکانس رزونانس، ε_{eff} ضریب دی الکتریک موثر، Δl افزایش نرمالیزه طول و h ضخامت زیر لایه است.

شکل (۱- ج) نمای کلی آنتن به همراه رولایه طراحی شده را نشان می‌دهد. در شبیه‌سازی انجام شده ابعاد به‌کار رفته عبارتند از:

a=b=100mm, c=26.4mm, W=12mm, e=12mm, f=1mm, g=11mm, h=8mm, L=11.6mm



شکل (۱): آنتن طراحی شده، الف- آنتن پچ، ب- سلول واحد، ج- آنتن نهایی

۲-۲- طراحی فراماده

در طراحی فراماده از روش نیکلسون- رز که در روابط (۸-۵) آمده، استفاده شده است. برای طراحی رولایه فراماده SRR ابتدا سلول واحد را طراحی کرده و با استفاده از روابط نیکلسون- رز ثابت می‌کنیم که ε و μ سلول واحد، هر دو در فرکانس مورد نظر منفی هستند. بعد از طراحی سلول واحد، نتایج را به یک آرایه ۷×۷ سلولی تعمیم می‌دهیم. شکل (۱- ب) ابعاد سلول واحد رولایه فراماده SRR را نشان می‌دهد.

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}-1}{\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}+1} = \frac{\eta-1}{\eta+1} \quad (۵)$$

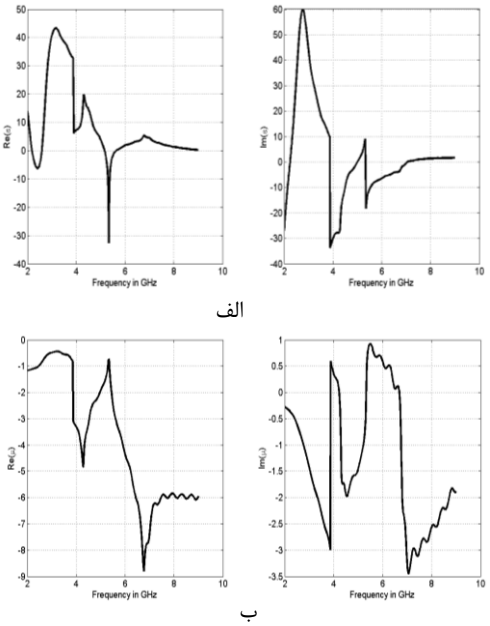
$$\varepsilon_r \approx \frac{2}{jk_0d}\frac{1-V_1}{1+V_1} \quad (۶)$$

$$\mu_r \approx \frac{2}{jk_0d}\frac{1-V_2}{1+V_2} \quad (۷)$$

$$k = \frac{1}{jd}\frac{(1-V_1)(1+\Gamma)}{(1-\Gamma V_1)} \quad (۸)$$

در روابط فوق، Γ ضریب انعکاس، η امپدانس ذاتی محیط، μ_r ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی، ε_r ضریب گذردهی الکتریکی نسبی فراماده، d ضخامت لایه، k_0 عدد موج فضای آزاد، $V_1 = s_{21} + s_{11}$ و $V_2 = s_{21} - s_{11}$ می‌باشند.

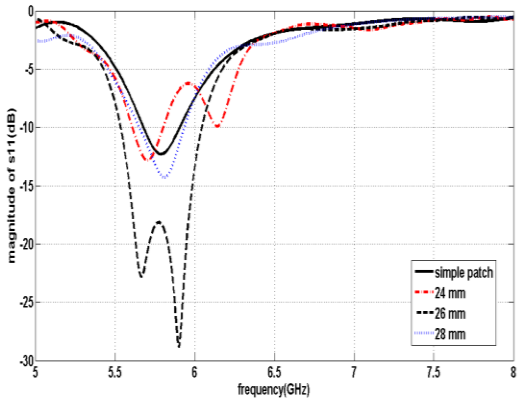
ضریب گذردهی الکتریکی و ضریب نفوذپذیری مغناطیسی فراماده حاصل با استفاده از روابط (۸-۵) به‌دست‌آمده و در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. در شکل (۲) به وضوح نشان داده شده است که ضریب گذردهی الکتریکی و ضریب نفوذپذیری مغناطیسی فراماده حاصل در فرکانس رزونانس مورد نظر (۵/۸ GHz) منفی هستند.



شکل (۲): پارامترهای فراماده، الف- ضریب گذردهی الکتریکی(ε)، ب- ضریب نفوذ مغناطیسی (μ)

۳- نتایج شبیه‌سازی

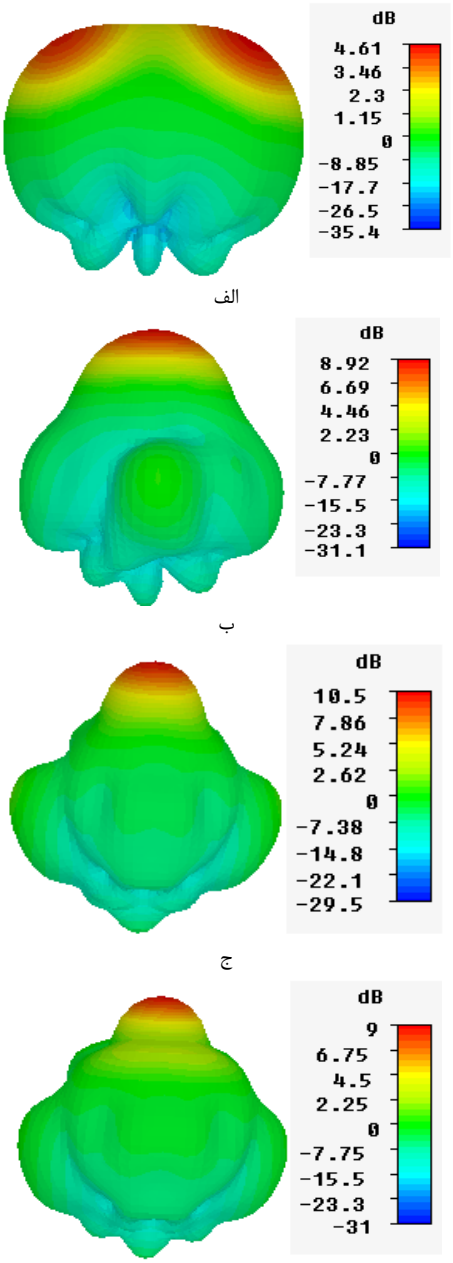
نتایج حاصل ازتلفات بازگشتی شبیه‌سازی در شکل (۳) نشان داده شده است. آنتن طراحی‌شده یک بار به تنهایی بدون رولایه و سپس با به‌کارگیری رولایه فراماده توسط نرم‌افزار CST شبیه سازی شده است. تلفات بازگشتی آنتن پچ بدون رولایه، ۱۲ dB- و پهنای باند آن در فرکانس ۵/۸ GHz برابر ۲۲۰ MHz است. با به‌کارگیری رولایه فراماده، تلفات بازگشتی به ۲۸ dB- می‌رسد. همچنین با مبناء قرار دادن S11 کمتر از ۱۰dB- دیده می‌شود که پهنای باند آنتن به ۵۱۱ MHz می‌رسد. در شبیه‌سازی انجام شده، تلفات بازگشتی برای سه فاصله مختلف (۲۴ mm، ۲۶ mm و ۲۸ mm) آنتن از رولایه، در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل، دیده می‌شود که با تنظیم فاصله ۲۶ mm بیشترین بهبود در خواص تشعشعی آنتن به‌دست می‌آید. در فرکانس کاری آنتن، طول موج ۵۲ mm است و لایه فراماده در فاصله λ/2 قرار دارد.



شکل (۳): تلفات بازگشتی آنتن طراحی‌شده برای آنتن پچ ساده و پچ با لایه فراماده در فواصل مختلف

الگوی تشعشعی سه بعدی آنتن، در غیاب رولایه و همچنین در حضور رولایه فراماده در شکل (۴) نشان داده شده است. شکل (۴- الف) نشان می‌دهد که الگوی آنتن دارای بهره بیشینه ۴/۶ dBi بوده و دارای دو مقدار بیشینه در زوایای مختلف تشعشعی است که برای کاربردهای راداری مناسب نیست.

برای بهبود خواص تشعشعی آنتن از رولایه فراماده SRR استفاده می‌کنیم. الگوی تشعشعی سه‌بعدی آنتن در فواصل مختلف، ۲۴ mm، ۲۶ mm و ۲۸ mm در شکل‌های (۴- ب)، (۴- ج) و (۴- د) نشان داده شده است. از نتایج حاصل دیده می‌شود که بالاترین بهره، زمانی به‌دست می‌آید که لایه فراماده در فاصله ۲۶ mm از لایه پچ قرار دارد. در این حالت بهره آنتن ۱۰/۵ dBi است (شکل (۴- ج)). بهره آنتن در فواصل ۲۴ mm و ۲۸ mm به ترتیب برابر ۸/۹ dBi و ۹ dBi است. همچنین در این شکل‌ها به وضوح دیده می‌شود که بیشینه مقدار بهره، فقط در یک جهت رخ می‌دهد.



شکل (۴): الگوی تشعشعی سه بعدی در فرکانس۵/۸GHz الف- آنتن پچ بدون رولایه ب- فراماده در فاصله ۲۴mm ج - فراماده در فاصله۲۶mm د- فراماده در فاصله ۲۸mm

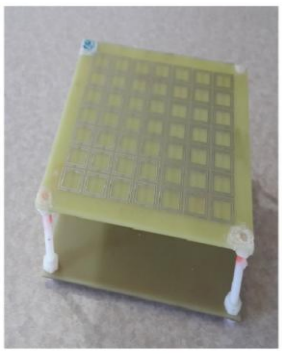
در ادامه این مقاله، بهبود حاصل از رولایه پیشنهادی با نتایج حاصل از تحقیقات قبلی انجام شده در این زمینه، در جدول (۱) مقایسه شده است. جدول (۱) نشان می‌دهد که پهنای‌باند آنتن با فراماده از ۳/۷ ٪ به ۷/۹۵٪ افزایش پیدا کرده است. بهره آنتن نیز از ۴/۶ dBi به ۱۰/۵ dBi در حضور فراماده مورد نظر می‌رسد. جدول (۱) به وضوح نشان می‌دهد که در مقایسه با تحقیقات قبلی، بهره و پهنای‌باند آنتن در حضور فراماده SRR، بهبود بهتری پیدا کرده است.

جدول(۱) : مقایسه آنتن در حضور یاعدم حضور فراماده

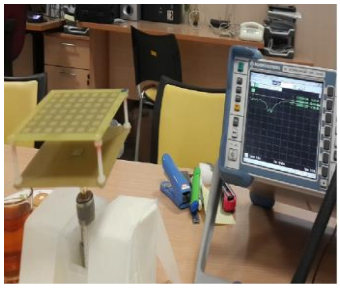
	مرجع ۸	مرجع ۹	مرجع ۱۰	آنتن طراحی شده
فرکانس	۲/۱۲ GHz	۲/۴ GHz	۱۵/۲۵ GHz	۵/۸ GHz
پهنای باند بدون فراماده	۷/۱ ٪	۲/۵ ٪	۷/۱ ٪	۳/۷ ٪
پهنای باند با فراماده	۴/۷ ٪	۴ ٪	۴/۷ ٪	۷/۹۵ ٪
بهره بدون فراماده	۲/۱۲ dBi	۷ dBi	۶/۵ dBi	۴/۶ dBi
بهره با فراماده	۵/۶ dBi	۱۱dBi	۱۲/۵ dBi	۱۰/۵ dBi
S_{11}بدون فراماده	-۱۸ dB	-۱۷ dB	-۱۴ dB	-۱۲ dB
S_{11} با فراماده	-۱۳ dB	-۱۸ dB	-۱۳ dB	-۲۸ dB

۴- اندازه‌گیری عملی

شکل (۵) تصویر آنتن ساخته‌شده را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری عملی تلفات بازگشتی در بازه فرکانسی ۵ GHz تا ۸ GHz در شکل (۶) نشان داده شده است. در شکل (۶) همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیز جهت مقایسه آورده شده است. در این شکل دیده می‌شود که به دلیل استاندارد نبودن کانکتورهای SMA که در بازار وجود دارند و همچنین تلفات ناشی ار پراب‌ها و کابل‌ها و همچنین تلفات ناشی ار خود دستگاه اندازه‌گیری، مقداری اختلاف بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری، در فرکانس تشدید و دامنه‌ی تلفات بازگشتی، وجود دارد.

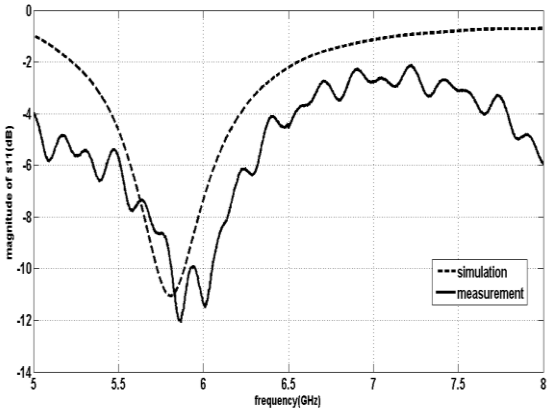


الف

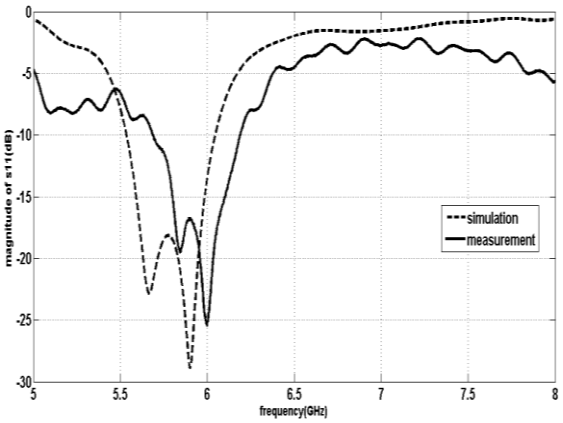


ب

شکل (۵): شمای آنتن ساخته‌شده درآزمایشگاه (الف و ب)



الف- آنتن پچ ساده



ب- آنتن نهایی(پچ و فراماده)

شکل (۶): مقایسه تلفات بازگشتی بین شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با به‌کارگیری فراماده SRR به‌عنوان رولایه، یک آنتن پچ میکرواستریپ، نشان داده شد که پهنای باند آنتن به میزان ۱۱۴٪ و بهره آنتن ۱۱۶٪ افزایش یافته است. از طرف دیگر الگوی تشعشی آنتن اولیه (پچ بدون رولایه) دارای دو مقدار بیشینه در زاویه‌های مختلف است که با به‌کارگیری فراماده به‌عنوان رولایه بیشینه مقدار الگوی تشعشی آنتن در یک زاویه قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که استفاده از رو لایه به طور طبیعی سبب می‌شود که آنتن از حالت مسطح درآمده و استفاده از آن محدودتر شود. درنهایت، آنتن طراحی‌شده، درآزمایشگاه پیاده‌سازی و نتایج ساخت با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در فرکانس‌های مختلف، مورد مقایسه قرارگرفت.

۶- مراجع

[1] F. B. Zarrabi, R. Ahmadian, M. Rahimi, and Z. Mansouri, "Dual band antenna designing with composite right/left handed," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 57, no. 4, pp.774-779, 2015.

[2] N. Engheta and R. Ziolkowski, "Metamaterials: physics and engineering xplorations," Wiley-IEEE press, 2006.

[3] D. J. Khalilpour and A. Koohestani, "Adjustment of Waveguide Power Divider Properties by Changing the Dimension of S-shaped Ring Resonators," IJECT vol. 2, Issue 3, ISSN : 2230-9543, Sept. 2011.

[4] T. Asenov, N. Dončov1, and B. Milovanović, "Application of Metamaterials for the Microwave Antenna Realisations," Serbian Journal of Electrical Engineering, vol. 9, no. 1, February 2012.

[5] S. Kodgirwar, Mrs V. Kodgirwar T. Aphale, and S. Gadgil, "Adaptive Antenna using Metamaterial," International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), vol. 1, Issue 8, September 2014. ISSN: 2349-2163

[6] R. A. Shelby, D. R. Smith, S. C. Nemat-Nasser, and S. Schultz, "Microwave transmission through a two-dimensional, isotropic, left-handed metamaterial," Applied Physics Letters, vol. 78, no. 4, pp. 489-491, 2001.

[7] A. Ejati, F. B. Zarrabi, M. Rahimiand, and Z.Mansouri, " The effect of photonic crystal arrangement on metamaterial characteristic at THz domain," Optik-International Journal for Light and Electron Optics, vol. 126, no. 19, pp. 2153-2156, 2015.

[8] M. Latrach, H. Rmili, C. Sabatier, E. Seguenot, and S. Toutain, "Design of a new type of metamaterial radome for low frequencies," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 52, no. 5, pp. 1119-1123, 2010.

[9] H. A. Majid, M. K. A. Rahim, and T. Masri, "Microstrip antenna's gain enhancement using left-handed metamaterial structure," Prog. Electromag. Res. M, vol. 8, pp. 235-247, 2009.

[10] R. K. M. Lou, T. Aribi, and C. Ghobadi, "Improvement of characteristics of microstrip antenna using of metamaterial superstrate," 1st International Conference on Communications Engineering, Quetta, Pakistan, pp. 126-129, December 2010.

[11] Z. B. Weng, N. B. Wang, and Y. C. Jiao, "Study on high gain patch antenna with metamaterial," cover. 7th International Symposium on Antennas, Propagation & EM Theory, 2006.

Journal of Applied Electromagnetics
Vol. 3, No. 3, 2016 (Serial No. 8)

Patch Antenna Gain Enhancement with Meta-Material Spilt Ring Resonator Radome

A. Sharifi, J. Khalilpour*

Sattari Aerial University

(Received: 18/07/2016, Accepted: 07/02/2017)

Abstract

One of the applications of meta-materials is radiation attribute optimization in micro-strip antennas. In this research, a 7×7 cellular array of rectangular Split Ring Resonator (SRR) structures is considered. The structural parameters of the resultant meta-material including permeability (μ) and permittivity (ε) are extracted by using Nicolson- Rose method. A patch antenna is designed in 5.8 GHz frequency so that the meta-material array is used as superstrate. The results obtained from simulations done by CST software without the superstrate and the presence of it are presented. Consequently, aforementioned simulation results show that gain and bandwidth of the proposed antenna are improved by 114% and 116%, respectively. The meta-material and constructed antenna, the antenna's radiation pattern and return loss are operationally measured with and without the presence of a superstrate. Subsequently, the measurement results are properly compatible with simulations results; however, due to lack of standard SMA connectors that exist on the market, and also losses from wires and probes and also losses resulting from the measurement device, there are some differences between simulation results and the measurement (resonance frequency and return loss amplitude)

Keywords*:* Metamaterial, Microstrip, Patch, Superstrate, Split Ring Resonator

* Corresponding author E-mail: J_khalilpour@yahoo.com