

افزایش بهره و پهنای باند آنتن پچ با به کارگیری رولایه فراماده

علیرضا شریفی، جعفر خلیل پور*

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 فرامواد، بهینه‌سازی خواص تشعشی آنتن‌های میکرواستریپ می‌باشد. در این تحقیق یک آرایه 7×7 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 5.8 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 114% و پهنای باند آن 116% بهبود پیدا کرده است. برد فراماده و آنتن میکرواستریپ، ساخته شده است. الگوی تشعشی 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: فرامواد، آنتن پچ، رولایه ساختارهای تشدیدی، حلقه شکافدار (SRR)

۱- مقدمه

ساختارهای تشدیدی شامل حلقه شکافدار دابل [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 5.8 GHz ، برای بهبود خواص تشعشی آن از رولایه فراماده استفاده شده است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش نیکلسون-رز با استفاده از نرم‌افزار متلب نشان می‌دهد که μ و ϵ ، ساختار رولایه SRR به‌کار رفته در این فرکانس، هر دو منفی می‌باشند.

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

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

آنتن‌های میکرواستریپ، به خاطر خصوصیتی مانند وزن کم، 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.

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

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 $4/4$ ($\epsilon_r = 4.4$) و ضخامتش $1/6 \text{ mm}$ 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 $100 \times 100 \text{ mm}$ است.

*نویسنده پاسخگو: J_khalilpour@yahoo.com

۲-۲- طراحی فراماده

در طراحی فراماده از روش نیکلسون-رز که در روابط (۵-۸) 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 7×7 سلولی تعمیم می‌دهیم. شکل (۱-ب) ابعاد سلول واحد رولایه فراماده SRR را نشان می‌دهد.

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\frac{\mu_r - 1}{\epsilon_r}} - 1}{\sqrt{\frac{\mu_r - 1}{\epsilon_r}} + 1} = \frac{\eta - 1}{\eta + 1} \quad (5)$$

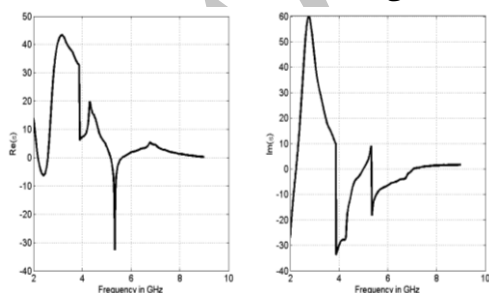
$$\epsilon_r \approx \frac{2}{jk_0 d} \frac{1 - V_1}{1 + V_1} \quad (6)$$

$$\mu_r \approx \frac{2}{jk_0 d} \frac{1 - V_2}{1 + V_2} \quad (7)$$

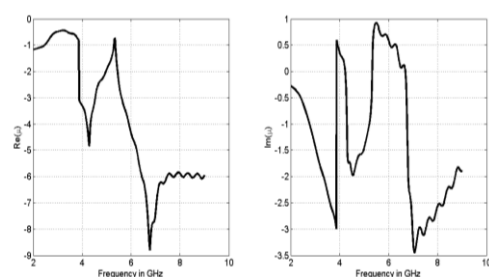
$$k = \frac{1}{jd} \frac{(1 - V_1)(1 + \Gamma)}{(1 - \Gamma V_1)} \quad (8)$$

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 (۵-۸) به دست آمده 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 منفی هستند.



الف



ب

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

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

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

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

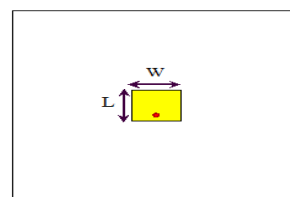
$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_{eff} - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{W}\right)^{-1} \text{ for } \frac{W}{h} > 1 \quad (4)$$

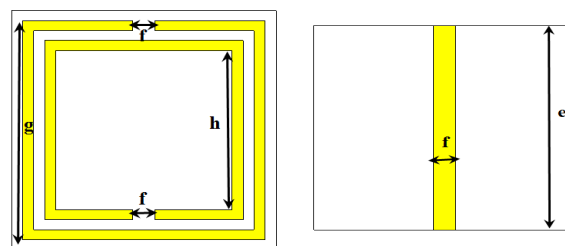
در این روابط W و L ابعاد پچ، C سرعت نور در فضا، f_r فرکانس رزونانس، ϵ_{eff} ضریب دی الکتریک موثر، Δl افزایش نرمالیزه طول h ضخامت زیر لایه است.

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

$$a=b=100\text{mm}, c=26.4\text{mm}, W=12\text{mm}, e=12\text{mm}, f=1\text{mm}, g=11\text{mm}, h=8\text{mm}, L=11.6\text{mm}$$

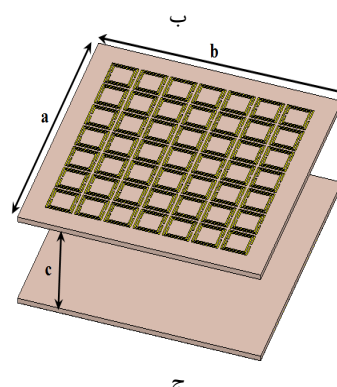


الف



نمای بالای سلول واحد

نمای زیرین، سلول واحد



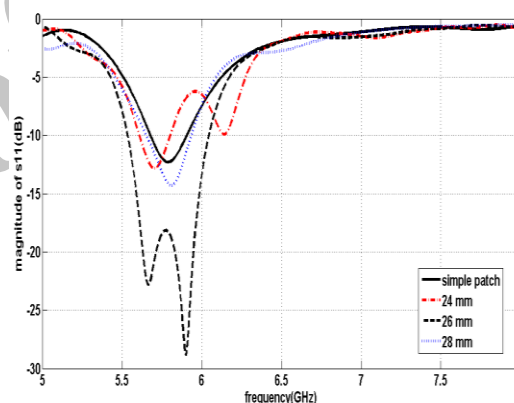
ج

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

ج- آنتن نهایی

۳- نتایج شبیه سازی

نتایج حاصل از تلفات بازگشتی شبیه سازی در شکل (۳) نشان داده شده است. آنتن طراحی شده یک بار به تنهایی بدون رولایه و سپس با به کارگیری رولایه فراماده توسط نرم افزار CST شبیه سازی شده است. تلفات بازگشتی آنتن پچ بدون رولایه، -12 dB و پهنای باند آن در فرکانس $5/8$ GHz برابر 220 MHz است. با به کارگیری رولایه فراماده، تلفات بازگشتی به -28 dB می رسد. همچنین با مبناء قرار دادن S_{11} کمتر از -10 dB دیده می شود که پهنای باند آنتن به 511 MHz می رسد. در شبیه سازی انجام شده، تلفات بازگشتی برای سه فاصله مختلف (26 mm، 24 mm و 28 mm) آنتن از رولایه، در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل، دیده می شود که با تنظیم فاصله 26 mm بیشترین بهبود در خواص تشعشی آنتن به دست می آید. در فرکانس کاری آنتن، طول موج 52 mm است و لایه فراماده در فاصله $\lambda/2$ قرار دارد.

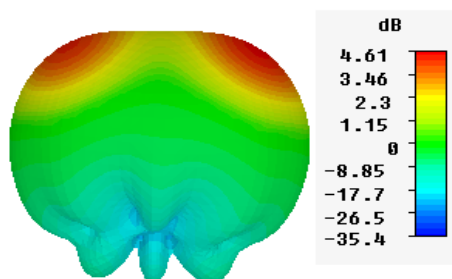


شکل (۳): تلفات بازگشتی آنتن طراحی شده برای آنتن پچ ساده و پچ با لایه فراماده در فواصل مختلف

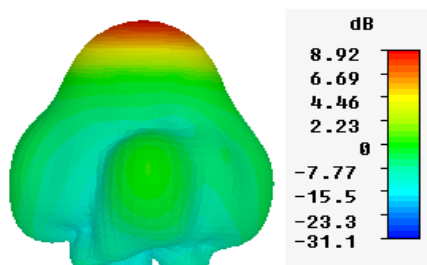
الگوی تشعشی سه بعدی آنتن، در غیاب رولایه و همچنین در حضور رولایه فراماده در شکل (۴) نشان داده شده است. شکل (۴-الف) نشان می دهد که الگوی آنتن دارای بهره بیشینه $4/6$ dBi بوده و دارای دو مقدار بیشینه در زوایای مختلف تشعشی است که برای کاربردهای راداری مناسب نیست.

برای بهبود خواص تشعشی آنتن از رولایه فراماده SRR استفاده می کنیم. الگوی تشعشی سه بعدی آنتن در فواصل مختلف، 24 mm، 26 mm و 28 mm در شکل های (۴-ب)، (۴-ج) و (۴-د) نشان داده شده است. از نتایج حاصل دیده می شود که بالاترین بهره، زمانی به دست می آید که لایه فراماده در فاصله 26 mm از لایه پچ قرار دارد. در این حالت بهره آنتن $10/5$ dBi است (شکل (۴-ج)). بهره آنتن در فواصل 24 mm و 28 mm به ترتیب برابر $8/9$ dBi و 9 dBi است. همچنین در این شکل ها به وضوح دیده می شود که بیشینه مقدار بهره، فقط در

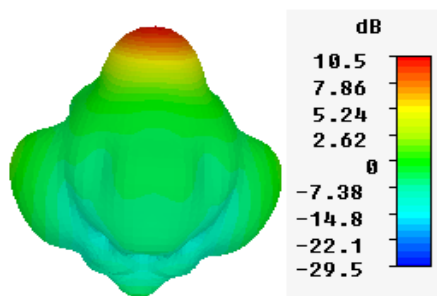
یک جهت رخ می دهد.



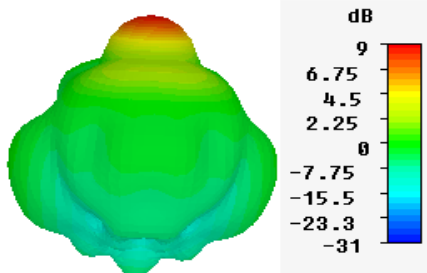
الف



ب



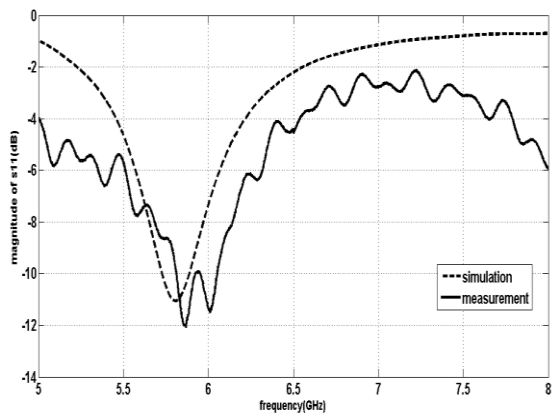
ج



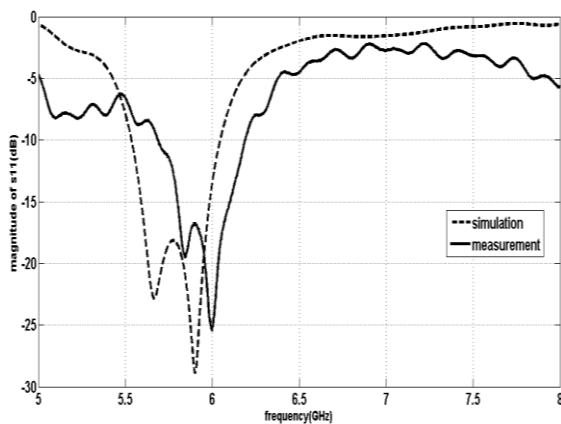
د

شکل (۴): الگوی تشعشی سه بعدی در فرکانس $5/8$ GHz - الف - آنتن پچ بدون رولایه ب - فراماده در فاصله 24 mm ج - فراماده در فاصله 26 mm د - فراماده در فاصله 28 mm

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 می دهد که پهنای باند آنتن با فراماده از $3/7$ ٪ به $7/95$ ٪ افزایش پیدا کرده است. بهره آنتن نیز از $4/6$ dBi به $10/5$ dBi در حضور فراماده مورد نظر می رسد. جدول (۱) به وضوح نشان می دهد که در مقایسه با تحقیقات قبلی، بهره و پهنای باند آنتن در حضور فراماده SRR، بهبود بهتری پیدا کرده است.



الف - آنتن پیچ ساده



ب - آنتن نهایی (پیچ و فراماده)

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

۵- نتیجه‌گیری

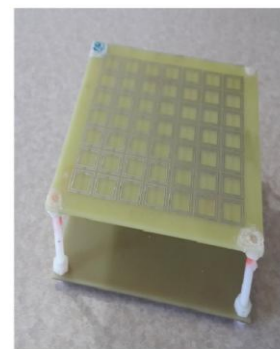
در این مقاله، با به‌کارگیری فراماده SRR به‌عنوان رولایه، یک آنتن پیچ میکرواستریپ، نشان داده شد که پهنای باند آنتن به میزان ۱۱۴٪ و بهره آنتن ۱۱۶٪ افزایش یافته است. از طرف دیگر الگوی تشعشی آنتن اولیه (پیچ بدون رولایه) دارای دو مقدار بیشینه در زاویه‌های مختلف است که با به‌کارگیری فراماده به‌عنوان رولایه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

جدول (۱): مقایسه آنتن در حضور یا عدم حضور فراماده

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

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 از پرابها و کابل‌ها و همچنین تلفات ناشی از 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 در آزمایشگاه (الف و ب)

۶- مراجع

- [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.
- [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.

Archive of

Patch Antenna Gain Enhancement with Meta-Material Split 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