

طراحی و شبیه‌سازی ساختار جاذب پهن‌بند مبتنی بر FSS با مقاومت‌های فشرده

مجتبی بصراوی^۱، ذاکر حسین فیروزه^۲، محسن مداح علی^۳

m.basravi@ec.iut.ac.ir

۱-۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در این مقاله با کمک ساختارهای انتخابگر فرکانسی^۱ FSS تک‌لایه‌ای، یک جاذب طراحی شده است که دارای پایداری زاویه خوبی بوده و تا ۴۵ درجه تغییر زاویه تابشی عملکرد جاذب حفظ می‌شود. همچنین پهنای باند این ساختار بسیار چشم‌گیر بوده و برای انعکاس کم‌تر از $-10dB$ دارای پهنای باند ۱۱۰ درصدی (از فرکانس $2/16$ تا $7/46$ گیگاهرتز) است. ساختار این جاذب بسیار ساده بوده و نیازی به صفحات مقاومتی نیست و با طراحی توسط مقاومت‌های فشرده، این میزان جذب امکان‌پذیر شده است.

واژگان کلیدی: جاذب، FSS، پهن‌بند، پایداری زاویه تابشی

۹۴/۱۲/۱۳

تاریخ دریافت مقاله

۹۵/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله

۱- مقدمه

از مسأله‌های مهم که امروزه بیش از پیش به آن اهمیت می‌دهند، کاهش سطح مقطع راداری (RCS^1) است [۱]. دو روش اصلی که برای کاهش RCS وجود دارد که ذیلا بیان می‌شود. از این دو روش به تنهایی یا به طور هم‌زمان ممکن است استفاده گردد.

ا- شکل دادن هدف‌های راداری

با شکل‌دهی به هدف، امواج انعکاسی در جهتهایی به غیر از امتداد رادار منحرف می‌شوند. شکل‌دهی هدف بیش‌تر در قسمتی از هدف که در معرض تابش امواج الکترومغناطیسی است و همچنین لبه‌های هدف صورت می‌گیرد. از نمونه‌های شکل‌دهی می‌توان به ایجاد زاویه مخروطی که در جلوی هدف نظیر موشک و هواپیما صورت می‌گیرد، اشاره کرد. در هواپیما این حالت را با انحنای دادن به بال‌ها به سمت عقب با زاویه زیاد بوجود می‌آورند. البته این روش فقط برای رادارهای تک‌پایه^۲ مصداق دارد و اگر رادارها، دوپایه^۳ باشند باید تغییرات زیادی در شکل‌دهی هدف صورت گیرد [۱].

ب- استفاده از مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی

اگرچه روش شکل دادن هدف می‌تواند در بعضی از جهات RCS را کم کند، ولی در بسیاری از موارد لازم است که از مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی استفاده کرد. کاهش RCS با جاذب‌ها، مستلزم استفاده از مواد با نفوذپذیری الکتریکی (ϵ) و گذردهی مغناطیسی (μ) مختلط می‌باشد [۱].

یکی از جاذب‌های امواج الکترومغناطیسی RAM استفاده از ساختار جاذب متناوب سطوح انتخابگر فرکانسی FSS است [۲]. ساختارهای متناوب FSS یک ساختار با حجم و وزن پایین بوده و در همه محیط‌ها قابل استفاده است. در این ساختار صفحات تلفاتی مقاومتی با فاصله ربع طول موج از صفحه ی زمین قرار می‌گیرند. ساختارهای جاذب FSS می‌توانند نقش کاهش RCS آنتن‌ها را داشته و به گونه ای در باندهای کناری آنتن نقش جاذب را ایفا می‌کنند،

مانند ساختارهیبریدی FSS با عنصر مربعی [۳] و ساختارهای FSS مارپیچی [۴]. ساختارهایی دیگر از جاذب‌های FSS که می‌توانند نقش جاذب را عمل کنند، ساختارهایی با صفحات مقاومتی بوده که این صفحات را سالیسبری^۴ می‌نامند. از این نوع ساختار، می‌توان به ساختارهای مربعی سه حلقه ای [۵] اشاره کرد که در نقش جاذب عمل کرده و می‌توان از این ساختار برای کاهش RCS اجسام استفاده کرد. معمولا این ساختارها پهن باند بوده اما عیب عمده این ساختار در دسترس نبودن این صفحات مقاومتی می‌باشد [۱].

دسته دیگر از ساختارهای جاذب FSS، ساختارهایی با مقاومت بارگذاری شده می‌باشد که این ساختار شامل عناصرقابل دسترسی مانند مس و همچنین مقاومت‌های فشرده است. بنابراین این ساختارهای جاذب تک لایه قابل دسترس‌تر و ارزان‌تر می‌باشد.

در این پژوهش، طراحی و شبیه‌سازی ساختار جاذب FSS با طرح فرکتال هیلبرت^۵ می‌باشد که به منظور پیاده سازی این ساختارها، طرح مذکور روی لایه ی FR4 طراحی شده و این لایه با فاصله ربع طول موج از صفحه زمین، روی دی‌الکتریک با ضریب گذردهی نزدیک یک (معمولا فوم استفاده می‌شود) تعبیه شده است. قابل ذکر است، شبیه سازی این ساختار در محیط CST انجام شده است. طرح فرکتال هیلبرت پیشنهادی، با به کارگیری ۱۲ مقاومت SMD در هر سلول، پهنای باند بسیار خوبی داشته و برای انعکاس کم‌تر از $-10dB$ دارای ۱۱۰ درصد پهنای باند با فرکانس مرکزی ۵ گیگاهرتز می‌باشد. این ساختار، پایداری زاویه‌ای مناسبی داشته و تا تغییر زاویه تابشی ۴۵ درجه، عملکرد جاذب حفظ می‌شود.

۲- ساختار جاذب FSS با مقاومت بارگذاری شده

شکل ۱ نمایانگر ساختار جاذب FSS با طرح فرکتال هیلبرت با ۱۲ مقاومت بارگذاری شده می‌باشد. در این طرح، حلقه فرکتالی مسی روی لایه FR4، طراحی شده به طوریکه ۱۲ مقاومت روی آن مونتاژ شده است. لایه FR4 نسبت به صفحه زمین در فاصله هوایی h_1 قرار داشته که این ضخامت نقش بسیار مهمی در میزان انعکاس ساختار را

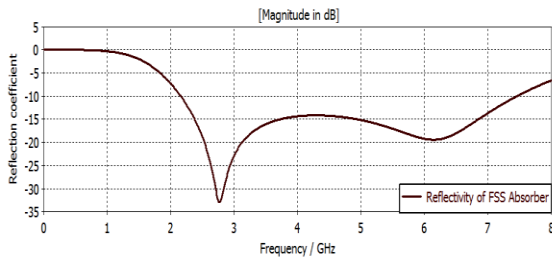
1 Radar Cross Section

2 Monostatic

3 Bistatic

4 Salisbury

5 Hilbert Fractal



شکل (۳) نمودار انعکاس برحسب فرکانس ساختار جاذب FSS

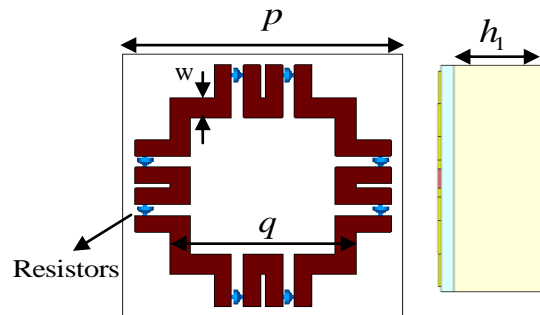
۳- شبیه سازی و بررسی عملکرد ساختار جاذب

یکی از خصوصیات خوب این ساختار عبارت است از اینکه با تغییر اندازه عناصر، می‌توانیم در بقیه باندهای فرکانسی شاهد جاذب باشیم. شکل ۴ (الف) نشانگر نمودارهای انعکاس برحسب فرکانس برای دو اندازه متفاوت عنصر برای تابش عمود می‌باشد که هر کدام در یک باند فرکانسی نقش جاذب بودن خود را ایفا می‌کنند. همانطور که مشخص است، منحنی قرمز رنگ که ساختار جاذب ضخامت حدود ۶/۵ میلی‌متری داشته و ابعاد ۵/۴ میلی‌متر دارد، تقریباً باند فرکانسی C و کل باند X و بیشتر باند KU را در برداشته و عملکرد جاذب را در این باندها به خوبی پوشش می‌دهد. منحنی نقطه چین آبی رنگ نیز باند فرکانسی C را به طور کامل و قسمتی از باندهای S و X عملکرد جاذب حفظ شده و افت برگشتی بیشتر از 10dB است. در شکل ۴ (الف)، افت برگشتی بسیار خوبی را برای هر دو اندازه شاهد هستیم. همچنین در ساختار جاذب شکل ۴ (ب) نیز پهنای باندی وسیعی داشته و سه باند فرکانسی X، KU و K به طور کامل پوشش داده شده و یا به عبارت دیگر پهنای باندی در حدود ۱۸ گیگاهرتز از ۷ تا ۲۵ گیگاهرتز را مشاهده می‌کنیم. قابل ذکر است در شکل ۴ افت برگشتی خیلی خوبی را برای یک ساختار جاذب شاهد بوده و این ساختار جاذب برای انعکاس کم‌تر از 15dB پهنای باند خوبی را پوشش می‌دهد (برای حالت منحنی قرمز رنگ از فرکانس حدود ۵/۴ تا ۱۵/۲ گیگاهرتز افت برگشتی بیش‌تر از 15dB را شاهد هستیم)

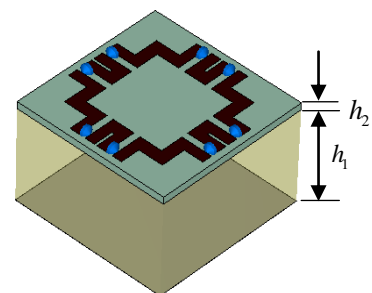
ایفا می‌کند. برای داشتن جواب بهینه معمولاً باید ضخامت لایه FR4 کم باشد ($h_2 \ll h_1$) و همچنین در صورت جدول (۱) مقادیر بهینه پارامترهای موثر در عملکرد جاذب

پارامترهای موثر جاذب	مقادیر بهینه پارامترها
p	12 mm
q	8 mm
w	1.5 mm
h_1	14.2 mm
h_2	0.25mm
Resistor	100 ohm

امکان از موادی که گذردهی پایین‌تری نسبت به FR4 دارند، استفاده شود تا گذردهی موثر ϵ_{eff} ساختار به یک نزدیک شود. شکل ۲ نشانگر نمای سه بعدی این ساختار می‌باشد.



شکل (۱) نمای بالایی و کناری ساختار جاذب FSS با مقاومت‌های بارگذاری شده در طرح فرکتال هیلبرت



شکل (۲) نمای سه بعدی ساختار جاذب FSS با طرح فرکتالی

پارامترهای موثر در عملکرد ساختار جاذب با پیچ دو حلقه‌ای دایروی در جدول ۱ به همراه مقادیر بهینه آن آمده است (مقادیر توسط نرم افزار CST بهینه شده اند). منحنی انعکاس این ساختار برحسب فرکانس نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشهود است، پهنای باند وسیع ۱۱۰ درصدی را شاهدیم.

این ساختار پهنای ۱۱۰ درصدی با فرکانس مرکزی ۵ گیگاهرتز دارد و در مقابل تغییر زاویه تابشی عملکرد خیلی خوبی داشته و تا ۴۵ درجه تغییر زاویه، عملکرد جاذب به خوبی حفظ می‌شود.

منابع

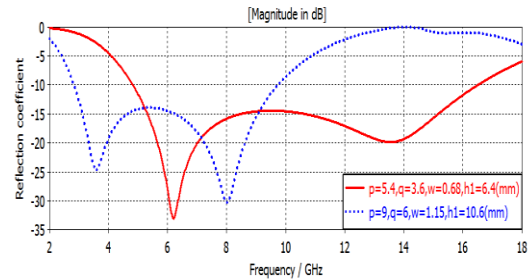
[1] Knott, E. F. J. F. Shaeffer, M. T. Tuley, "Radar Cross Section", 2nd ed. Norwood, MA, USA Artech House, 1993.

[2] S. Genovesi, F. Costa, A. Monorchio, "Use of Frequency Selective Surfaces for the Reduction of Radar Cross Section of Antennas and Scattering Objects," Microwave and Radiation Lab., Università di Pisa Via Caruso

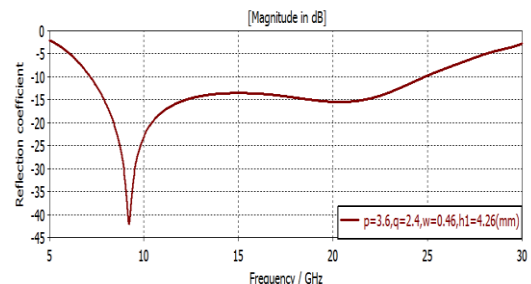
[3] S. Genovesi, F. Costa, A. Monorchio, "Low-Profile Array with Reduced Radar Cross Section by Using Hybrid Frequency Selective Surfaces", IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 60, No. 5, MAY 2012

[4] H-h. YANG, X-y. CAO, Q-r. ZHENG, J-j. MA, W-q. LI, "Broadband RCS Reduction of Microstrip Patch Antenna Using Bandstop Frequency Selective Surface", Radio Engineering, Vol. 22, No. 4, DECEMBER 2013.

[5] M. Li, S. Xiao, Y.-Y. Bai, and B.-Z. Wang, "An Ultrathin and Broadband Radar Absorber Using Resistive FSS", IEEE Antennas Wireless Propag. Lett. vol. 11, pp. 748-751, DEC 2012.



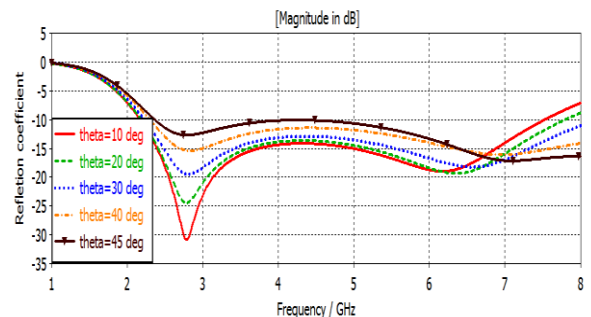
(الف)



(ب)

شکل (۴) نمودار انعکاس ساختار جاذب با ابعاد متفاوت عناصر
($p=3.6$, $q=2.4$, $w=0.46$, $h1=4.26$ (mm))

نکته قابل توجه در آن است که پایداری یک ساختار جاذب نسبت به تغییرات زاویه‌ای از ویژگی‌های مهم یک جاذب می‌باشد. در شکل ۵ پایداری زاویه‌ای در برابر تغییرات زاویه‌ای تابشی در ساختار جاذب FSS با طرح فرکتال هیلبرت بررسی شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشهود است، ساختار مذکور تا ۴۵ درجه، نسبت به زاویه تابشی پایداری داشته و عملکرد جاذب به خوبی حفظ می‌شود.



شکل (۵) بررسی اثر تغییر زاویه تابشی در انعکاس ساختار

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با به کارگیری عناصر قابل دسترسی مانند FR4، فوم و مقاومت‌های فشرده SMD به یک ساختار جاذب با پهنای بسیار وسیعی دست یافته ایم. طرح مسی روی FR4 به صورت فرکتال هیلبرت طراحی شده است.