



پیامبر اکرمؐ :

ہر کار از شمنده کہ در آن
بسم اللہ ذکر نشود ناقص است

بحار الأنوار، ج ۷۶، ص ۳۰۵

فصلنامه علمی پژوهش‌های سایبرالکترونیک

صاحب امتیاز: دانشکده علوم و مهندسی دفاعی دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

سر دبیر: دکتر محمدعلی جوادزاده

مدیر مسئول: دکتر محمد کاظم بصیرتی

اعضای هیئت تحریریه

دکتر محمد کاظم بصیرتی	استادیار دانشگاه
دکتر حمیدرضا لشکریان	استادیار دانشگاه
دکتر مسعود باقری	دانشیار دانشگاه
دکتر محمدعلی جوادزاده	استادیار دانشگاه
دکتر حمید باباخانیان	مدرس دانشگاه
دکتر ضرغام رستمی	استادیار دانشگاه
دکتر حسین صابری	استادیار دانشگاه
دکتر مهدی علی‌نژاد	استادیار دانشگاه
مهندس سید محمود قطبانی	مدرس دانشگاه
مهندس علیرضا صفایی	مدرس و عضو هیئت علمی دانشگاه
مهندس حامد شیروی	مدرس دانشگاه
مهندس مرتضی یزدان‌پناه	مدرس دانشگاه
مهندس یوسف برجعلی	مدرس دانشگاه



همکاران علمی و داوران این شماره

دکتر منصور احدنژاد، دکتر حمید اکبری، دکتر رضا جلالی، دکتر بهروز خادم، دکتر علی کریمی، دکتر مصطفی عباسی،
دکتر مهدی علی‌نژاد، دکتر مهدی نقوی، مهندس علی بهتری، مهندس حامد شیروی، مهندس رامین دلیر،
مهندس سامان کشوری، مهندس پیمان قنوازی، مهندس مجید حاج جواد

مدیر اجرایی: مهندس علیرضا صفایی

ویراستار ادبی: سرکار خانم مهندس طوفانی

ویراستار انگلیسی و مترجم: مهندس فرامرز شمس سوسه‌باب

حروفچین و صفحه‌آرا: مهندس مرتضی یزدان‌پناه

طراح جلد: مهندس علی ذوالفقاریان

شمارگان: ۱۰۰ (نسخه چاپی) ۲۰۰ (نسخه الکترونیکی) قیمت نسخه چاپی:

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، بعد از پل لشکرک، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، دانشکده علوم و مهندسی دفاعی، تلفن: ۷۷۱۰۳۰۵۰ داخلی ۱۰۹

Web Site: www.Jce.ihuo.ac.ir

E-mail: Jce@ihuo.ac.ir

تمام حقوق مادی و معنوی برای دانشکده علوم و مهندسی دفاعی محفوظ است.

فهرست

- ❖ سخن سردیر..... (یازده)
- ❖ تقسیم‌بندی معنایی برای تصاویر پهپاد با استفاده از روش‌های یادگیری عمیق..... ۱۳
 - سید محمدعلی ضیائی
- ❖ کاربرد سطوح انتخاب‌گر فرکانسی پهن باند در الکترونیک دفاعی..... ۲۷
 - علی عزیزی
- ❖ بررسی ارتباطات بی‌سیم برای شبکه هوشمند مبتنی بر رویکردها و فناوری‌های نوپدید از دیدگاه EMC..... ۳۷
 - ضرغام رستمی، احمد عطائی
- ❖ تحلیل و شبیه‌سازی ساختار نیم جمع‌کننده‌های نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی و ارائه پیشنهادهایی جهت بهبود عملکرد در مدارهای مجتمع نوری..... ۴۷
 - محمد مقصودی
- ❖ مزایای استفاده از جنگ سایر الکترونیک در محیط‌های عملیاتی..... ۵۷
 - مهرداد نجفی نوکاشتی، محمدرضا موحدی‌صفت
- ❖ ارائه یک دسته‌بندی بر اساس مشخصه‌های سیستم عامل‌های بی‌درنگ..... ۷۱
 - مهدی قزلسفلو، مهدی نقوی

کاربرد سطوح انتخاب‌گر فرکانسی پهن باند در الکترونیک دفاعی

علی عزیزی^۱

چکیده

در این مقاله یک سطح انتخاب‌گر فرکانسی پهن باند به منظور ایجاد ایزولاسیون امواج الکترومغناطیسی ارائه شده است. از این ساختارها به منظور جلوگیری از اختلالات سیگنال‌های مزاحم جمر در عملکرد سیستم گیرنده استفاده می‌شود. سلول واحد پیشنهادی، ساختاری تک‌لایه با زیرلایه FR4 است که در یک سمت آن حلقه مسی و در سمت دیگر ساختاری مشابه دوقطبی متقاطع تعمیم‌یافته چاپ شده است. استفاده از زیرلایه FR4 باعث ارزان‌قیمت شدن در ساخت خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در پهنای باند نسبتاً وسیع ۵/۵ – ۱۵ GHz، ایزولاسیون بالاتر از ۱۰dB تحقق یافته است.

کلیدواژه‌ها: سطوح انتخاب‌گر فرکانسی، ایزولاسیون، حفاظت الکترونیکی، پهن باند

۱ دانشجوی دکتری تخصصی جنگ الکترونیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع) azizi_ali20@ihu.ac.ir

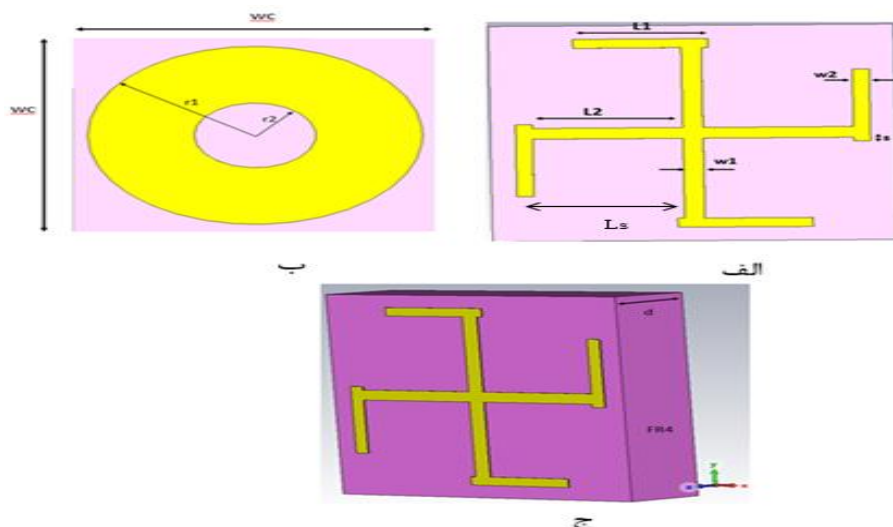
۱- مقدمه

پیشگیری و حساسیت دستگاه‌های الکترونیکی و رایانه‌ای و کاربرد روزافزون آن‌ها در محیط‌های اداری، صنعتی، پزشکی سبب شده تا ایمنی و کارکرد آن‌ها مورد توجه خاص قرار بگیرد و تلاش شود تا از ضریب اطمینان بالایی برخوردار گردند. بخشی از مشکلات کاربرد این‌گونه تجهیزات ناشی از تداخل سیگنال‌های ناخواسته و ایجاد اختلال در عملکرد آن‌ها و آسیب‌دیدگی و یا حتی خرابی دستگاه است. این پدیده می‌تواند منجر به خسارات اقتصادی، صنعتی و یا صدمات جانی شود. مهم‌ترین راه مقابله با این پدیده ایزولاسیون الکترومغناطیسی است [1]. از دیگر کارکردهای ایزولاسیون می‌توان به ساخت اتاق‌های تست الکترومغناطیسی آنتن و سایر تجهیزات اشاره کرد [2]. هرچند شاید در نگاه اول بهترین گزینه جهت ایزوله کردن امواج الکترومغناطیسی استفاده از صفحه فلزی به نحوی است که کل باند فرکانسی را فیلتر نماید باشد، ولی در عمل گاهی نیاز است که باند فرکانسی خاصی را حذف یا فیلتر کنیم. یکی از راه‌های تحقق چنین عملیاتی استفاده از سطوح انتخاب‌گر فرکانس است. سطوح انتخاب‌گر فرکانسی (FSS) ساختارهای متناوبی هستند که از سلول‌های واحدی تشکیل شده‌اند که قابلیت فیلتر کردن محدوده فرکانسی مشخصی را می‌دهند. از کاربردهای این سطوح می‌توان به کاهش سطح مقطع راداری جنگنده‌ها با توجه به حجم و قابلیت انعطاف بیشتر این سطوح در مقایسه با مواد جاذب، کاهش تزویج متقابل در آنتن‌های MIMO، جلوگیری از اختلال سیگنال‌های مزاحم بر عملکرد سیستم الکترونیکی و به عبارتی حفاظت الکترونیکی و بسیاری از موارد دیگر اشاره نمود [3]، [4]. FSS ها به دلیل سادگی ساخت و ضخامت اندک خود می‌توانند گزینه مناسبی برای کاربردهای ایزولاسیون باشند. حتی برخی از این سطوح دارای ویژگی شفافیت [5] و نیز چاپ روی پارچه هستند [6]، [7]. لذا می‌توان با استفاده از این نوع ساختارها، از ورود امواج الکترومغناطیسی مزاحم در باندهای مورد نظر به ساختمان‌ها و فضاهای مشخص در باند فرکانسی مورد نظر جلوگیری نماییم. استفاده از این صفحات حتی بر روی دیوارها، پنجره‌ها، درب شیشه‌ای اجاق مایکروویو و... امکان‌پذیر است. از کاربردهای FSS می‌توان به استفاده در پوشش آنتن‌ها به نحوی که تشعشعات آنتن در فرکانس مورد نظر با حداقل تلفات عبور نماید و تشعشعات خارج باند آنتن حذف گردد، اشاره نمود. همچنین این نوع پوشش می‌تواند با بهبود مشخصات آنتن نظیر کاهش سطح لوب‌های فرعی (SLL)، کاهش امواج سطحی و کاهش پلاریزاسیون متعامد، سطح مقطع راداری آنتن را نیز کاهش دهد [8]. در [9] یک روش برای کنترل دینامیک پهنای باند آنتن توسط FSS ها ارائه شده است. سلول واحد، ترکیبی از دولایه H شکل است که در کنار یک دیود ویکتور قرار گرفته است. با استفاده از این روش پترن آنتن به وسیله تغییر ولتاژ ویکتورها می‌تواند از ۱۳ تا ۳۰ درجه تغییر نماید. کاربرد دیگر این سطوح در آنتن‌های آرایه‌ای است به عنوان مثال در [10] با استفاده از بهبود سطح لوب‌های فرعی، بازده و پهنای باند آرایه افزایش یافته است و یا در [11] ساختار مبتنی بر سطوح انتخاب‌گر فرکانسی باعث بهبود مشخصات یک آنتن آرایه

قابل تغییر گردیده است. از دیگر کاربردهای جذاب FSS ها می‌توان به تبدیل امواج با پلاریزاسیون خطی به دایروی اشاره نمود که بخصوص در ارتباطات ماهواره‌ای حائز اهمیت است [13]، [12]. کاهش سطح مقطع راداری اهداف و همچنین ساخت صفحات جذاب از دیگر کاربردهای FSS است. همچنین به منظور تغییر و یا کنترل مشخصات در ساختارهای FSS می‌توان از سلول‌های واحد فعال (اکتیو) نیز استفاده نمود [15]، [14]. همان‌طور که اشاره گردید ایزولاسیون منابع الکترومغناطیسی چالش اساسی برای جلوگیری از تداخل‌های ناخواسته، اختلال در عملکرد دستگاه‌های الکترونیکی و تهدید سلامتی انسان هستند. امروزه رشد روزافزون استفاده از تجهیزات ارتباطی نظیر موبایل، WiMAX و غیره در منازل و ساختمان‌های اداری باعث گردیده است که هر فرد در تمام مدت روز در معرض انواع تشعشعات ناشی از دستگاه‌های خود و دستگاه‌های ساختمان‌های مجاور باشد. این امر در کنار مشکلات ناشی از تداخل ناخواسته می‌تواند باعث کاهش کیفیت سلامت زندگی مردم گردد از طرفی شیلدینگ کامل امواج الکترومغناطیسی با مواد جذب معمولی و یا فلزات باعث حذف امواج سایر سیستم‌ها در منازل مانند موبایل خواهد شد که مطلوب نیست. یکی از بهترین و موثرترین راه‌های غلبه بر این مشکلات ایزولاسیون مؤثر و انتخابی با استفاده از سطوح انتخاب‌گر فرکانسی است. به عنوان مثال در [16] فرکانس‌های شبکه موبایل GSM و GPRS توسط این سطوح ایزوله گردیده است. در این مقالات با طراحی مناسب صفحات FSS به شیلدینگ بهتر از 20 dB در فرکانس‌های GSM 900 و GSM 1800 دست یافته‌اند. در [17] با استفاده از یک ساختار جذاب FSS، شیلدینگ مناسبی در فرکانس WLAN به دست آمده است. در این مقاله با استفاده از جذب امواج WLAN اثرات ناشی از پدیده چندمسیرگی کاهش یافته است. همچنین شیلدینگ در فرکانس‌های بالا نیز مورد توجه بوده است به عنوان مثال شیلدینگ EMI در [18] با استفاده از یک سلول واحد شکافی متعامد در باند فرکانسی 12/7 GHz - 12/2 به دست آمده است. یکی از مشکلات عمده ساختارهای FSS، پهنای باند اندک آن‌هاست. برای مثال در برخی از کاربردها نیاز است باند حذف یک FSS افزایش یابد تا ساختار بتواند طیف وسیعی از کانال‌ها و امواج مزاحم را حذف نماید و ایزولاسیون مناسبی به دست آید. به عنوان نمونه در [19] با استفاده از آرایه‌ای از حلقه‌های مربعی و دوقطبی‌های متقاطع به مقدار $-10\text{dB} < |S_{21}|$ در پهنای باند حدود 60٪ دست یافته است. اخیراً با استفاده از یک ساختار تک لایه به پهنای باند حدود 73٪ دست یافته است که در کاربردهای پهن باند بسیار مؤثر است [20]. در این مقاله با ترکیبی از یک دوقطبی متقاطع و المان رینگ (حلقه دایروی) توانسته‌ایم شیلدینگ بیشتر از 20dB را در پهنای باند حدود 14-6/5 GHz دست یابیم. پایین آوردن فرکانس کاری صفحه شیلد و افزایش پهنای باند آن برای پوشش بهتر باند فرکانسی می‌تواند یکی از روش‌های بهینه‌سازی باشد. لذا در این مقاله با بهینه‌سازی ساختار فوق و جایگزینی دوقطبی متعامد با ساختاری مشابه سلول اورشلیم، توانسته‌ایم به پهنای باند بیشتری در مقایسه با کارهای مشابه داشته باشیم. مقاله ارائه شده شامل 3 بخش است. در بخش اول مقدمه آورده شده است و سپس در بخش دوم ساختار سلول FSS طراحی گردیده است. در این بخش پس از شبیه‌سازی، بهره‌وری شیلدینگ سلول و کل صفحه FSS و همچنین تحلیل پارامتری ساختار ارائه گردیده است و در نهایت در بخش سوم نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- طراحی سلول واحد FSS

در شکل ۱ ساختار سلول FSS پیشنهادی نمایش داده شده است. هر سلول شامل المان اورشلیم متقاطع و یک حلقه در دو طرف یک زیرلایه FR4 با ضخامت $3/2$ mm، ثابت دی‌الکتریک $4/4$ و تانژانت تلفات $0/02$ است. همچنین ابعاد هر سلول واحد در صفحه xoy برابر با 12×12 mm است. همچنین ابعاد سلول پیشنهادی که در نرم‌افزار CST طراحی شده است، در جدول ۱ آمده است.

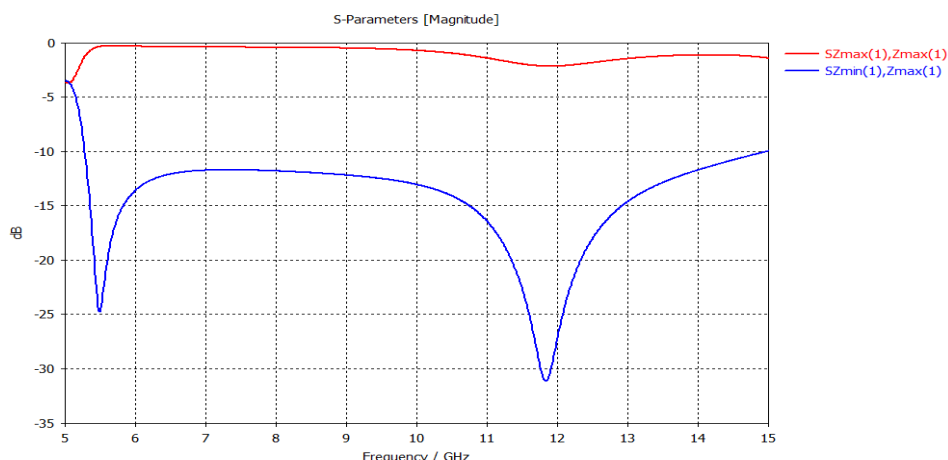


شکل ۱: نمایی از سلول پیشنهادی. الف: ساختار اورشلیم متقاطع در لایه بالایی ب: ساختار حلقه در لایه زیرین ج: نمای سه‌بعدی

جدول ۱: ابعاد سلول پیشنهادی (تمامی ابعاد برحسب mm)

r_2	r_1	L_s	L_2	L_1
۲	۵/۵	۴/۷	۴/۴۵	۴
d	s	W_2	W_1	W_c
۳/۲	۰/۲	۰/۵	۰/۶	۱۲

برای شبیه‌سازی و طراحی ساختار، ابتدا بایستی یک سلول واحد طراحی و مورد ارزیابی قرار گیرد. دامنه بازتاب $(|S_{11}|)$ و انتقال $(|S_{21}|)$ سلول واحد فوق توسط نرم‌افزار CST شبیه‌سازی شده است و در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: دامنه $|S_{11}|$ (نمودار قرمز) و $|S_{21}|$ (نمودار آبی) سلول واحد فوق

شکل ۲ نشان می‌دهد که ساختار ارائه‌شده دارای پهنای باند ممنوعه ($|S_{21}| < -10\text{dB}$) وسیعی است. اما با توجه به قرار گرفتن دو ساختار در دو طرف زیرلایه به دلیل ایجاد تزویج متقابل، کارکرد ساختار نهایی مختل می‌شود. راه مقابله با افزایش تزویج متقابل استفاده از زیرلایه با ضخامت بالاتر است. به همین دلیل ضخامت زیرلایه $3/2\text{mm}$ انتخاب شده است. اما در هر صورت تزویج متقابل می‌تواند باعث تغییر فرکانس‌های رزونانس دو ساختار و کاهش دامنه حذف موج عبوری گردد. مطابق شکل ۲ پهنای باند $|S_{21}| < -10\text{dB}$ سلول نهایی $5/3 - 15\text{GHz}$ خواهد بود. مهم‌ترین پارامتر بررسی کیفیت یک شیلدینگ مناسب، معیاری به نام اثرگذاری شیلدینگ^۱ است. این پارامتر به صورت رابطه (۱) تعریف می‌گردد.

$$S.E_{dB} = 20 \log \left| \frac{E_{incident}}{E_{transmit}} \right| \quad (1)$$

مطابق تعریف هرچه موج عبوری از یک ساختار نسبت به موج تابشی به آن ساختار کوچک‌تر باشد، $S.E$ در رابطه (۱) بالاتر و بهره‌وری شیلدینگ یا به عبارتی ایزولاسیون مناسب‌تر خواهد بود. هدف از این مقاله نیز ارائه یک ایزولاسیون با قابلیت پوشش فرکانسی وسیع^۱ است. در برخورد موج با یک سطح دو نوع تلفات وجود دارد، بخشی از موج تابشی به یک سطح به سمت فرستنده انعکاس می‌یابد که به آن تلفات انعکاسی^۲ می‌گوییم و با R نمایش داده می‌شود. بخشی از موج نیز که وارد صفحه شیلد می‌شود، در ضخامت لایه دچار تلف شده که به آن تلفات جذبی^۳ گویند و با A نمایش می‌دهیم. مقداری از موج وارد شده به دیواره با انعکاس‌های متوالی قبل از

^۱S.E: Shielding Effectiveness

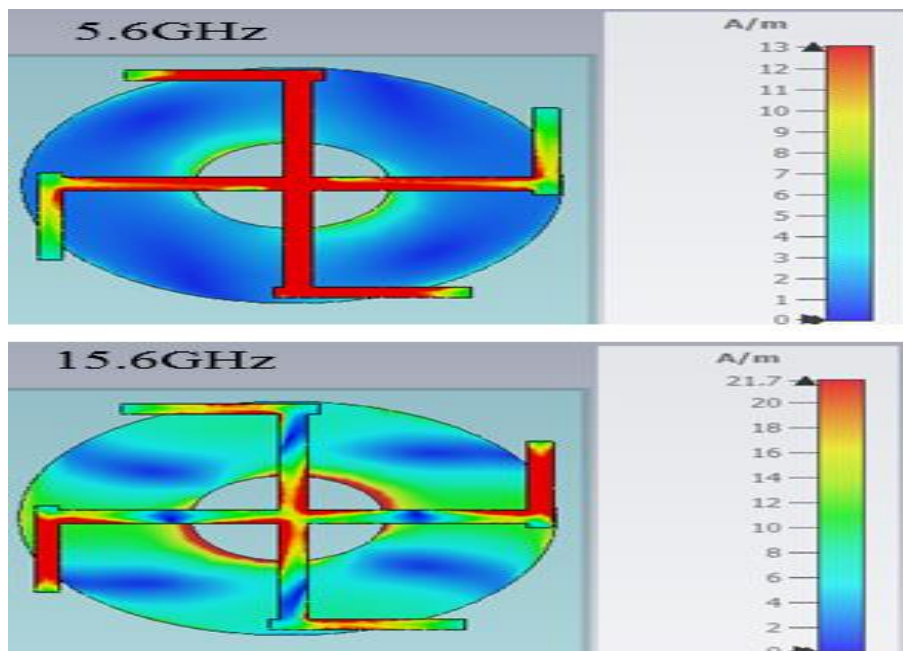
^۲Reflective

^۳Absorptive

صفحه شیلد دچار انعکاس‌های متوالی شده و این تلفات را با پارامتر B نشان می‌دهند. مطابق می‌توان کار آبی هر ساختار شیلد یا $S.E$ را به فرم رابطه (۲) نوشت:

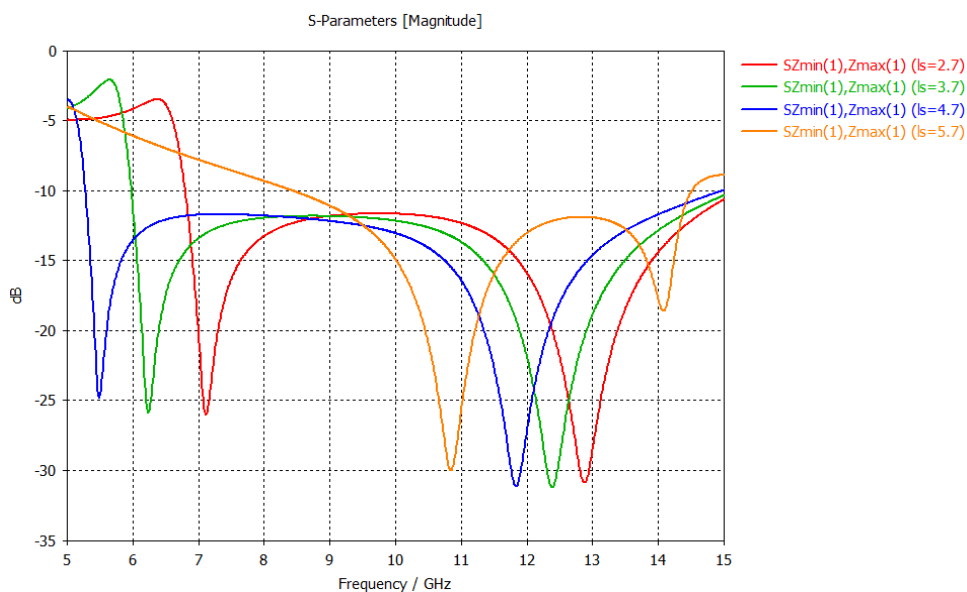
$$S.E_{dB} = A + R + B \quad (2)$$

در فرمول فوق می‌توان گفت مقدار R توسط ضریب انعکاس $|S_{11}|$ و مقدار $A+B$ توسط ضریب انتقال $|S_{21}|$ تعیین خواهد شد. همچنین تأثیر هر دو المان اورشلیم متقاطع و المان حلقوی در تولید فرکانس رزونانس را می‌توان با شبیه‌سازی توزیع جریان مشابه شکل ۳ مشاهده نمود. توزیع جریان شکل ۳ نشان می‌دهد که در فرکانس 5.6 GHz و 15.6 GHz حلقه مسی تقریباً بی‌تأثیر و المان مؤثر برای تلفات جذبی موج عبوری، ساختار اورشلیم متقاطع است. همچنین در فرکانس‌های $11/8 \text{ GHz}$ و $15/6 \text{ GHz}$ تأثیر حلقه بسیار افزایش یافته و اورشلیم متقاطع نیز در حذف موج عبوری مؤثر خواهد بود.



شکل ۳: توزیع جریان سطحی روی ساختارهای اورشلیم متقاطع و حلقه سلول FSS. الف: فرکانس 5.6 GHz . ب: فرکانس 15.6 GHz

یکی از ویژگی‌های FSS پیشنهادی قابلیت تنظیم و تغییر پهنای باند ایزولا سیون صفحه پیشنهادی با تغییر پارامتر L_s است تا در صورت نیاز کاربر بتواند صفحه‌ای با پهنای باند ایزولا سیون موردنظر خود بسازد. در شکل ۴ تغییرات باند فرکانسی ایزولا سیون را به‌ازای تغییرات پارامتر L_s از سلول مشاهده می‌کنید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با تغییر پارامتر L_s به‌خوبی توانسته‌ایم باند حذف (ایزوله) هر سلول را تغییر دهیم.



شکل ۴: نمودار تغییرات باند فرکانسی ایزولاسیون برحسب مقادیر گوناگون LS

نحوه تست و اندازه‌گیری ایزولاسیون و یا شیلدینگ مطابق شکل ۵ است. مطابق این شکل ابتدا تلفات بین دو آنتن هورن را در حالت بدون حضور صفحه FSS اندازه‌گیری نموده و مقدار تلف به دست آمده را از مقدار تلف پس از جای‌گذاری صفحه FSS تفریق می‌نماییم.



شکل ۵: نحوه اندازه‌گیری ایزولاسیون.

۳- نتیجه‌گیری

همان‌طور که اشاره شد، سطوح انتخاب‌گر فرکانسی ساختارهای متناوبی هستند که از سلول‌های واحدی تشکیل شده‌اند که قابلیت فیلترکردن محدوده فرکانسی مشخصی را می‌دهند. از کاربردهای این سطوح می‌توان به کاهش سطح مقطع راداری جنگنده‌ها با توجه به حجم و قابلیت انعطاف بیشتر این سطوح در مقایسه با مواد جاذب، کاهش تزویج متقابل در آنتن‌های MIMO، جلوگیری از اختلال سیگنال‌های مزاحم بر عملکرد سیستم الکترونیکی و به عبارتی حفاظت الکترونیکی و بسیاری از موارد دیگر اشاره نمود. در این مقاله سلول تک لایه‌ای با زیرلایه FR4 ارائه و طراحی شد که در یک سمت زیرلایه، حلقه مسی و در سمت دیگر ساختار به شکل اورشلیم تعمیم‌یافته چاپ شده است و در محدوده فرکانسی وسیع ۵/۵-۱۵ GHz می‌تواند ایزولاسیون یا شیلدینگ بهتر از ۱۰ dB ایجاد نماید.

- [1] H. W. Ott, *Electromagnetic compatibility engineering*. John Wiley & Sons, 2011.
- [2] H. Hemming, *Electromagnetic anechoic chambers: a fundamental design and specification guide*. IEEE Press New York, 2002.
- [3] M. Kokkonen, "A double layer FSS filter for sub-THz applications", vol. 11, 2021.
- [4] K. Mandal, "Reconfigurable All Dielectric 3D FSS Filter," in 2020 International Symposium on Antennas & Propagation (APSYM),
- [5] H. Chen and W. Che, "Transparent FSS on Glass Window for Signal Selection of 5G Millimeter-Wave Communication," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 20, no. 12, pp. 2319–2323, 2021.
- [6] L. Alonso-González "Broadband flexible fully textile-integrated bandstop frequency selective surface," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 66, no. 10, pp. 5291–5299, 2018.
- [7] N. Naseer, "Analysis and Design of Stopband FSS Unit Cell on Textile Substrates," *IEEE Lett. Electromagn. Compat. Pract. Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 15–18, 2020.
- [8] G. Gonçalves Machado, "Stealth technologies based on thin microwave FSS absorbers," PhD Thesis, Queen's University Belfast, 2021.
- [9] P. Das, K. Mandal, and A. Lalbakhsh, "Beam-steering of microstrip antenna using single-layer FSS based phase-shifting surface," *Int. J. RF Microw. Comput.-Aided Eng.*, p. e23033, 2021.
- [10] M. Pasian, S. Monni, A. Neto "Frequency selective surfaces for extended bandwidth backing reflector functions," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 1, pp. 43–50, 2009.
- [11] S. Barbagallo, A. Monorchio, and G. Manara, "Small periodicity FSS screens with enhanced bandwidth performance," *Electron. Lett.*, vol. 42, no. 7, pp. 382–384, 2006.
- [12] R. Kumar and N. Kushwaha, "On the design of linear to circular polarization converter based on FSS," in 2020 International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICE3), 2020, pp. 101–104.
- [13] H. Mirza et al., "Deployable linear-to-circular polarizer using PDMS based on unloaded and loaded circular FSS arrays for pico-satellites," *Ieee Access*, vol. 7, pp. 2034–2041, 2018.
- [14] S. H. Ibrahim, and G. I. Kiani, "Tunable FSS using PIN diodes and microcontroller," in 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT), 2019, pp. 577–579.
- [15] S. Narayan, B. Sangeetha "Design of low observable antenna using active hybrid-element FSS structure for stealth applications," *AEU-Int. J. Electron. Commun.*, vol. 80, pp. 137–143, 2017.
- [16] W. Yin, H. Zhang "A novel compact dual-band frequency selective surface for GSM shielding by utilizing a 2.5-dimensional structure," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 60, no. 6, pp. 2057–2060, 2018.
- [17] V. Chaudhary and R. Panwar, "ECM Enabled Whale optimization assisted facile design of dual-band conformal FSS for WLAN shielding applications," *J. Electromagn. Waves Appl.*, pp. 1–12, 2021.
- [18] D. Li and J. Zhang, "A 2.5-D angularly stable frequency selective surface using via-based structure for 5G EMI shielding," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 60, no. 3, pp. 768–775, 2017.
- [19] S. Segundo, S. Campos, and A. Gomes Neto, "A design proposal for ultrawide band frequency selective surface," *J. Microw. Optoelectron. Electromagn. Appl.*, vol. 12, pp. 398–409, 2013.
- [20] Y. Ranga, L. Matekovits "A single-layer frequency-selective surface for ultrawideband electromagnetic shielding," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 56, no. 6, pp. 1404–1411, 2014.

Wideband Frequency Selective Surface in Electronic Defence

Ali Azizi

Abstract

In this paper a wideband Frequency Selective Surface(FSS) is presented in order to Isolation of electromagnetic wave.FSSs can be used to prevent interference of jamming signals in reciver system performance. The proposed unit cell consists of a ring element etched on the bottom of FR4 substrate and a generalized cross dipole element on the top layer. Using FR4 substrate makes the structure cost effective. The simulated results shows that better than 10 dB isolation is achieved in wide frequency range of 5.5-15 GHz. **Keywords:** frequency selector levels, isolation, electronic protection, broadband

Keywords: Frequency selective surface (FSS) ;Isolation ;Wideband; Electronic Protection