

طراحی و بهینه سازی نوعی جدید از مواد جاذب راداری در پهنای باند وسیع و پلاریزاسیون دلخواه به کمک الگوریتم ژنتیک

نوشین واثقی^۱

محمد صادق ابریشمیان^۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تهران- ایران

n-vaseghi@yahoo.com

۲- دانشیار- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تهران- ایران

msabrish@etd.kntu.ac.ir

چکیده : یک کلاس جدید از مواد جاذب راداری در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته اند. در ساختارهای چند لایه صفحه ای، ترکیبی از مواد پاشنده^۱ RH^2 و همچنین فرامواد^۲ پاشنده در نظر گرفته شده است و به جهت تحقق پذیری فیزیکی، از رابطه پاشندگی مواد استفاده شده است و مقادیر μ, ϵ در تمامی باند فرکانسی، ثابت فرض نشده اند. موج تابشی صفحه ای است با پلاریزاسیون TM, TE که به صورت عمودی یا مایل به ساختار چند لایه صفحه ای می تابند. بهینه سازی روی یک پهنای باند فرکانسی، محدوده ای از زوایای تابش و همچنین به صورت توأمان روی $\Delta\theta, \Delta f$ صورت پذیرفته است که نتایج قابل قبولی ارائه داده است. در ضمن به علت پیچیدگی توابع و تعداد زیاد پارامترها، از الگوریتم ژنتیک^۳ برای بهینه سازی استفاده شده است.

کلمات کلیدی: پراکندگی امواج الکترومغناطیسی، فرامواد، محیط های چند لایه.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۸۶/۸/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۸۹/۴/۱۵

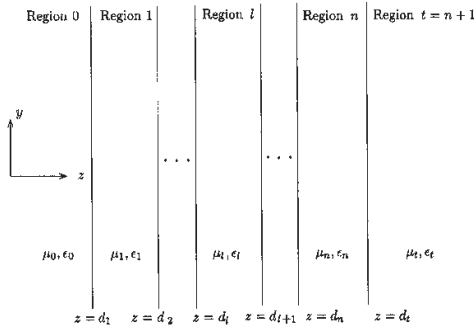
نام نویسنده ی مسئول : نوشین واثقی

نشانی نویسنده ی مسئول : ایران - تهران - خیابان دکتر شریعتی - تقاطع بزرگراه رسالت - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده ی مهندسی برق



۲- فرمول بندی حل تمام موج انتشار امواج در محیط های چند لایه صفحه ای

یک موج صفحه ای که به ساختار صفحه ای چند لایه مطابق شکل (۱) می تابند، در نظر بگیرید. تابعیت زمانی را با فاکتور $e^{-j\omega t}$ در نظر می گیریم. [5] مرزها در صفحات d_1, d_2, \dots, d_t می باشند. محیط (n+1) ام، یک محیط شبه نامحدود بوده و با عنوان ناحیه t ام نامگذاری شده است. (t=n+1). پرمیٹیویته و پرمابلیته هر محیط را با μ_t, ϵ_t نمایش می دهیم.



شکل (۱): محیط چند لایه صفحه ای

تمامی میدانها فقط تابع Y و Z بوده و مستقل از X می باشند $(\frac{\partial}{\partial x} = 0)$. با این فرض معادلات ماکسول در ناحیه l ام قابل تفکیک به مودهای TE و TM بوده که با مؤلفه های E_{lx} و H_{lx} کنترل می شوند. برای مود TE داریم:

$$TE \begin{cases} H_{ly} = \frac{1}{j\omega\mu_l} \frac{\partial}{\partial z} E_{lx} \\ H_{lz} = \frac{-1}{j\omega\mu_l} \frac{\partial}{\partial y} E_{lx} \end{cases} \quad (1)$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \omega^2 \mu_l \epsilon_l \right) E_{lx} = 0$$

برای یک موج صفحه ای TE:

$$E_x = E_0 e^{jK_z z + jK_y y} \quad (2)$$

مواد جاذب راداری دارای کاربردهای وسیعی همچون اتاقهای ضد انعکاس و محافظت از تداخل های الکترومغناطیسی در مدارهای پرسرعت و کاهش نویز در مخابرات سلولی و ... می باشند.

در این کار از مواد معمولی و «فراماده» [1] با فرمول های پاشندگی شان که در مرجع [2] به طور مفصل به آنها اشاره شده است، برای طراحی [3] RAM^۵ ها استفاده شده است. در ذیل نمونه هایی از روابط پاشندگی برخی از مواد که در این کار به عنوان پوشش بکار گرفته شده اند، آمده است:

جدول (۱): لیست مواد LH^۶, RH^۷ بکار گرفته شده در طراحی RAM. (فرکانسها در روابط بر حسب GHz آمده اند)

Class of materials	Permittivity model	Permeability model	Parameters Ranges
(Rods & Rings)	$\epsilon = 1 - \frac{f_{rp}^2}{f^2 + j f \gamma_e}$	$\mu = 1 - \frac{f_{mp}^2 - f_{mo}^2}{f^2 - f_{mo}^2 + j f \gamma_m}$	$1 \leq f_{rp}, f_{mo} \leq 30$ $f_{mp} \sim f_{mo} + [0.1, 5]$ $0.001 \leq \gamma_e, \gamma_m \leq 5$
Relaxation -type magnetic	$\epsilon = \epsilon_r$	$\mu = \frac{\mu_m (f_m^2 + j f_m f)}{f^2 + f_m^2}$	$1 \leq \epsilon_r \leq 25$ $1 \leq \mu_m \leq 25$ $1 \leq f_m \leq 30$

مزیت بزرگ فرامواد آن است که رابطه ی پاشندگی μ, ϵ آنها قابل کنترل است و این یک درجه آزادی بالایی را به طراح ارائه می دهد. از طرفی به خاطر تعداد زیاد پارامترهای ناشناخته و رفتار غیر خطی مسأله از روش الگوریتم ژنتیک [4] برای بهینه سازی بهره برداری می نماییم.

در این کار بهینه سازی در سه مرحله انجام می شود. (الف) ابتدا برخورد را عمودی در نظر گرفته و در یک پهنای باند وسیع فرکانسی، بهینه سازی می کنیم. (ب) سپس فرکانس را ثابت گرفته و در یک محدوده ی وسیع از زوایای تابش، توان بازگشتی را مینیمم می نماییم. (ج) و نهایتاً، توأمان در یک پهنای باند وسیع فرکانسی و همچنین محدوده وسیع از زوایای تابش بهینه سازی کرده و پارامترهای مطلوب با هدف کاهش انعکاس از چنین ساختار چند لایه ای را بدست آوریم. در این کار، از مواد LH و RH و ترکیبی از آنها استفاده نموده ایم تا نتایج با یکدیگر قابل مقایسه نیز باشند. پارامترهایی که در بهینه سازی شرکت می نمایند عبارتند از (۱) نوع ماده بکار گرفته شده در پوشش (۲) ضخامت پوشش ها (۳) پارامترهای موجود در روابط پاشندگی ϵ و μ مواد پوشش در بخش بعدی، فرمول بندی مختصر مسأله، آمده است.

از روابط $\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}, k = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$ صحیح بوده و نیاز به دقت ویژه ای ندارند، اما وقتی فرامواد (MNG^y, ENG^x, DNG^z) وارد مسأله می شوند باید علامتهای صحیح انتخاب گردد تا سیستم پایدار باشد. نکته اصلی آن است که اولاً باید قسمت موهومی عدد موج k منفی باشد تا موج میرا شونده باشد و ثانیاً در سیستم غیرفعال طبق تعریف باید قسمت حقیقی امپدانس مشخصه η مثبت باشد. که به تفصیل توضیحات کاملی در مراجع [6,7] در این خصوص آمده است.

۳- نتایج عددی و چند نمونه طراحی و بهینه سازی RAM

در اینجا پنج مثال در حالات مختلف با انواع پوشش ها و پلاریزاسیون های دلخواه متشکل از انواع مواد معمولی و فرا مواد آورده و نتایج را با یکدیگر مقایسه کرده ایم.

۳-۱- طراحی و بهینه سازی RAM با یک لایه پوشش از مواد پاشنده DPS^{10} و فراماده در تابش عمودی، در پهنای باند $[1-10]GHz$

در این مثال با توجه به ساختار نیمه بی نهایت مورد بررسی و با توجه به تابش عمودی، واضح است که پلاریزاسیونهای TE و TM دارای پاسخ فرکانسی یکسانی می باشند. در حالتی متنوعی با انواع پوششهای RH و LH مسأله بهینه سازی شد. در شکل (۲)، مقدار توان بازگشتی بر حسب فرکانس برای بهترین حالات بهینه سازی آمده است.

ملاحظه می شود که اولاً هر چه ضخامت پوشش را افزایش دهیم، ضریب انعکاس و همچنین توان بازگشتی کاهش می یابد، ضمناً در حالت یک لایه پوشش در بین فرامواد، پوشش Rods & Rings بهترین نتیجه را به ما ارائه می دهد و در بین انواع مواد پاشنده RH ملاحظه می شود که بهترین نتیجه، (کمترین R) با بکارگیری مواد Relaxation-type در پوشش عاید می شود.

که به این محیط چند لایه برخورد می نماید، میدان کل در ناحیهی ℓ به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} E_{\ell x} &= \left(E_{\ell}^{+} e^{jK_{\ell z} z} + E_{\ell}^{-} e^{-jK_{\ell z} z} \right) e^{jK_y y} \\ H_{\ell y} &= \frac{K_{\ell z}}{\omega \mu_{\ell}} \left(E_{\ell}^{+} e^{jK_{\ell z} z} - E_{\ell}^{-} e^{-jK_{\ell z} z} \right) e^{jK_y y} \quad (3) \\ H_{\ell z} &= \frac{-K_y}{\omega \mu_{\ell}} \left(E_{\ell}^{+} e^{jK_{\ell z} z} + E_{\ell}^{-} e^{-jK_{\ell z} z} \right) e^{jK_y y} \end{aligned}$$

حالا میدان $E_{\ell x}$ رابطهی (۳)، باید معادلهی هلمهولتز را اقلان نماید. با جایگذاری معادله (۳) در معادلهی هلمهولتز به رابطهی پاشندگی می رسیم:

$$K_{\ell z}^2 + K_y^2 = \omega^2 \mu_{\ell} \epsilon_{\ell} \quad (4)$$

برای مولفه y بردار \bar{K} ، اندیس ℓ نمی گذاریم، چرا که به خاطر تطبیق فاز در مرز محیطها، K_y در تمامی محیطها یکسان می باشد. در واقع در هر کدام از لایهها، انعکاسات متوالی و انتقال های متوالی وجود دارد. E_{ℓ}^{+} ، اشاره دارد به مجموع موجهای لایه ℓ ام که در جهت $\hat{z} +$ در حال انتشار است و E_{ℓ}^{-} اشاره به مجموع موجهایی دارد که در لایه ℓ ام در جهت $\hat{z} -$ در حال انتشار می باشند. دامنه امواج E_{ℓ}^{+} و E_{ℓ}^{-} به دامنه امواج در لایههای همسایه و شرایط مرزی در مرز آن لایهها بستگی دارد. در مرز $Z = d_{\ell} + 1$ ، شرایط مرزی ایجاب می کند که H_y و E_x پیوسته باشند

ملاحظه می شود که $n + 1$ مرز وجود دارد که $2n + 2$ معادله بر مسأله تحمیل می نماید، در ناحیهی o ، یک ضریب ناشناخته انعکاس (R) داریم. در ناحیهی t ، یک ضریب ناشناخته انتقال (T) داریم. و در هر یک از نواحی $n, n-1, \dots, 2, 1, \ell$ دو مقدار ناشناخته E_{ℓ}^{-} ، E_{ℓ}^{+} خواهیم داشت، پس در مجموع $2n + 2$ مجهول داریم. برای رسیدن به این $2n + 2$ مجهول، از روی $2n + 2$ معادله خطی، می توانیم معادلات را به فرم ماتریسی مرتب نماییم.

در اینجا لازم به ذکر است که تا زمانی که مقادیر پرمیتیویته و پرمالیتیته مثبت باشند، مقادیر k, η محاسبه شده توسط کامپیوتر

جدول (۲): مشخصات بدست آمده پس از بهینه سازی برای کاهش توان منعکسه از صفحه PEC^{11} در باند $[1-10]GHz$ در تابش عمودی با یک لایه پوشش از مواد پاشنده DPS و فراماده

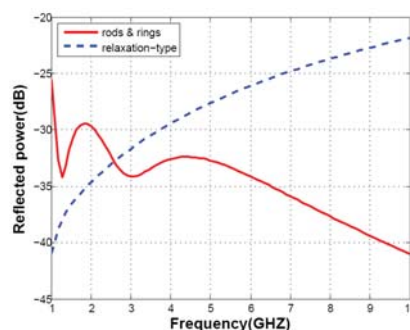
Class of materials	ضخامت بر حسب mm	پارامترهای رابطه ای پاشندگی دو لایه پس از بهینه سازی
Rods & Rings	۳۰	$f_{ep} = 2.9143GHz$, $\gamma_e = 5GHz$. $f_{mo} = 2.1960GHz$, $f_{mp} = 3.0465GHz$, $\gamma_m = 4.649GHz$.
Relaxation-type	۰.۱۷	$\epsilon_r = 1, \mu_m = 1$, $f_m = 1.03GHz$.

۳-۲- طراحی و بهینه سازی RAM با دو لایه پوشش از مواد پاشنده DPS و فراماده در تابش عمودی، در پهنای باند $[1-10]GHz$

در این مثال نیز به جهت تابش عمودی، پلاریزاسیونهای TE و TM پاسخ یکسانی دارند، مجدداً مراحل مثال قبل را تکرار می کنیم، منتهی در اینجا با دو لایه پوشش؛ نکته حائز اهمیت آنکه، گاهی با وجود آنکه مجموع ضخامت های دو لایه کمتر از ضخامت یک لایه پوشش است و لیکن نتایج بهتری به ما ارائه می دهد، به همین جهت در برخی کاربردها استفاده از دو لایه پوشش توصیه می گردد. در اینجا به جهت تنوع مواد قابل استفاده در هر لایه، تعداد حالات بسیار متنوعی قابل طراحی است که ما در شکل (۳) بهترین نتایج بهینه متناظر کمینه توان بازگشتی- را آورده ایم.

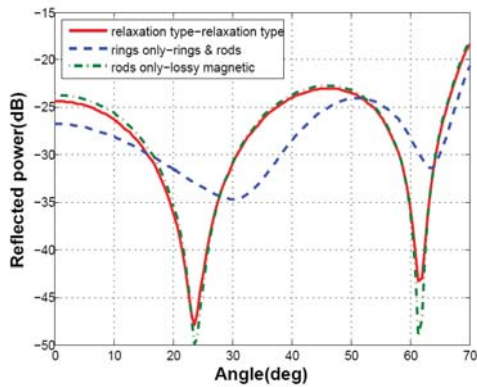
جدول (۳): مشخصات بدست آمده پس از بهینه سازی برای کاهش ضریب انعکاس (R) از صفحه نامحدود PEC با دو لایه پوشش با ترکیبی از مواد پاشنده DPS و فراماده در تابش عمودی در پهنای باند فرکانسی $[1-10]GHz$

Class of Materials	ضخامت بر حسب mm	پارامترهای رابطه ای پاشندگی دو لایه، پس از بهینه سازی
لایه اول: Relaxation - type	۰.۵۵۴	$\epsilon_r = 1, \mu_m = 21.465$, $f_m = 2.437GHz$.
لایه دوم: Lossy magnetic	۲۱.۰۹	$\epsilon_r = 8.387, \mu_r = 6.389$, $\mu_i = 5.782$, $\alpha = 0.691, \beta = 0.790$
لایه اول: Relaxation - type	۰.۴۶۱	$\epsilon_r = 1.0001, \mu_m = 12.387$, $f_m = 6.796GHz$.
لایه دوم: Relaxation - type	۲۹.۷۱	$\epsilon_r = 21.385, \mu_m = 22.203$, $f_m = 3.793GHz$.
لایه اول: Relaxation-type	۰.۱۶۲	$\epsilon_r = 1.001, \mu_m = 24.49$, $f_m = 1.232GHz$.
لایه دوم: Rods & Rings	۸.۹۶۶	$f_{ep} = 20.366, \gamma_e = 4.999GHz$, $f_{mo} = 1GHz, f_{mp} = 18.391GHz$, $\gamma_m = 4.717GHz$.



شکل (۲): کمینه توان منعکسه (بر حسب فرکانس) از یک صفحه ی هادی کامل پوشیده شده توسط یک لایه پوشش از مواد پاشنده. پارامترهای متناظر حالت بهینه - مربوط به ضخامت و پارامترهای روابط پاشندگی پوشش - در جدول (۲) آمده است.

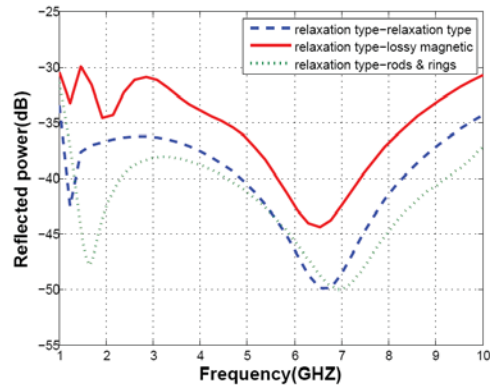
مشاهده می شود که اگر چه در برخی از فرکانسها، پوشش Relaxation-type انعکاس کمتری را موجب می شود ولی در پهنای باند فرکانسی $[1-10]GHz$ در مجموع پوشش Rods & Rings به طور چشمگیری، توان بازگشتی کمتری ارائه می دهد و اگر چنانچه ضخامت پوشش برایمان از اهمیت بالایی برخوردار باشد، انتخاب Relaxation-type بهترین انتخاب است.



شکل (۴): توان بازگشتی کمینه (در مقیاس dB) از ساختار صفحه ای PEC پوشیده شده توسط دو لایه از مواد پاشنده DPS و فراماده در فرکانس $f = 10GHz$ در پلاریزاسیون TE در محدوده ای از زوایای تابش ($0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$)

جدول (۴): مشخصات بدست آمده پس از بهینه سازی برای کاهش ضریب انعکاس از صفحه ی نامحدود PEC با دو لایه پوشش با ترکیبی از مواد پاشنده DPS و فراماده در فرکانس $f = 10GHz$ و در محدوده ای از زوایای تابش ($0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$) در پلاریزاسیون TE

Class of Materials	ضخامت بر حسب mm	پارامترهای رابطه پاشندگی هر دو لایه پس از بهینه سازی
لایه اول: Relaxation -type	۰.۳۲۱۹	$\epsilon_r = 1.000, \mu_m = 15.664,$ $f_m = 25.490GHz$
لایه دوم: Relaxation -type	۸.۴۵۷۶	$\epsilon_r = 1.336, \mu_m = 1.569,$ $f_m = 21.379GHz$
لایه اول: Rings only	۲۵.۰۳۲۴	$f_{m0} = 11.386, f_{mp} = 11.727GHz,$ $\gamma_m = 4.995GHz$
لایه دوم: Rods & rings	۱۹.۴۳۱۷	$f_{ep} = 1GHz, \gamma_e = 4.982GHz$ $f_{m0} = 12.930,$ $f_{mp} = 17.370GHz, \gamma_m = 3.141GHz$
لایه اول: Rods only	۱.۱۳۱۹	$f_{ep} = 10.1724, \gamma_e = 0.0138GHz$
لایه دوم: Lossy magnetic	۱۶.۳۶۱۱	$\epsilon_r = 1.046, \mu_r = 17.513,$ $\mu_i = 5.513,$ $\alpha = 0.7422, \beta = 0.896$



شکل (۳): توان بازگشتی کمینه (در مقیاس dB) از ساختار صفحه ای PEC پوشیده شده توسط دو لایه از مواد پاشنده DPS و فرامواد با تابش عمودی در پهنای باند فرکانسی $[1-10]GHz$ طبق جدول (۳)

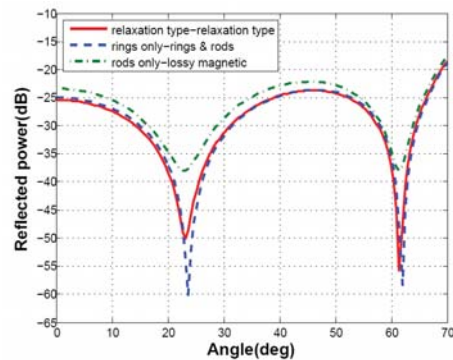
از مقایسه منحنی های کمینه توان بازگشتی در پهنای باند فرکانسی $[1-10]GHz$ در شکل (۳) مشاهده می شود که بهترین انتخاب برای کاهش ضریب انعکاس از ساختار صفحه ای چند لایه، استفاده از ترکیبی از مواد پاشنده DPS و فراماده می باشد و این گویای این حقیقت است که کشف مواد فراماده در وصول به RAM هایی با پهنای باند بیشتر و توان بازگشتی کمتر بسیار مفید فایده است.

۳-۳- طراحی و بهینه سازی RAM با دو لایه پوشش از مواد پاشنده DPS و فراماده در فرکانس $f = 10GHz$ در محدوده ای از زوایای تابش ($0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$) در پلاریزاسیون TE:

در این مثال، چون دیگر تابش عمودی نیست، پاسخ فرکانسی در پلاریزاسیونهای TE و TM یکسان نمی باشد و باید این دو مسأله را جداگانه تحلیل نمود. برنامه کامپیوتری نوشته شده بر طبق روابط گفته شده، قابلیت تحلیل تمام موج در تمامی فرکانسها و تمامی زوایای تابش در هر پلاریزاسیون دلخواهی را داراست. باز بهینه سازی روی ضخامت لایه های پوشش و پارامترهای مواد پوشش را به کمک روش G.A برای حالت های متنوع انجام می دهیم که نتیجه تعدادی از این بهینه سازی ها به عنوان نمونه در شکل (۴) آمده است.

۳-۴- طراحی و بهینه سازی RAM با دو لایه پوشش از مواد پاشنده DPS و فراماده در فرکانس $f = 10GHz$ در محدوده ای از زوایای تابش $(0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ)$ در پلاریزاسیون TM

مثال قبلی را با همان شرایط، منتهی در اینجا با پلاریزاسیون TM تکرار می کنیم. نتایج منحنی های کمینه توان بازگشتی در شکل (۵) برای سه ترکیب از مواد RH و LH (مشابه مثال قبل)، قابل مشاهده است. ضمناً پارامترهای متناظر حالت بهینه در جدول (۵) آمده است.



شکل (۵): توان بازگشتی کمینه (در مقیاس dB) از ساختار صفحه ای PEC پوشیده شده توسط دو لایه از مواد پاشنده معمولی و فراماده در فرکانس $f = 10GHz$ در پلاریزاسیون TM در محدوده ای از زوایای تابش $(0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ)$ مطابق جدول (۵).

۳-۵- طراحی و بهینه سازی RAM با دو لایه پوشش با ترکیبی از مواد پاشنده DPS و فراماده در محدوده ای از زوایای تابش $(0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ)$ و یک پهنای باند وسیع فرکانسی $[1-10]GHz$ در پلاریزاسیون TE

در یک طراحی واقعی و کاربردی، هم فرکانس متغیر است و هم زاویه ی تابش. بنابراین کاربردی ترین طراحی و بهینه سازی وقتی است که توأمان روی محدوده ای از زوایای تابش و همچنین در یک پهنای باند وسیع فرکانسی باشد.

محدوده ی زوایای تابش را به n_θ زاویه تقسیم می کنیم و در هر زاویه، پهنای باند فرکانسی را به n_f فرکانس تقسیم می کنیم، بنابراین $n_\theta \times n_f$ مقدار برای توان بازگشتی بدست می آید که آن را به روش الگوریتم ژنتیک (GA) کمینه می نمایم.

بهترین نتایج بدست آمده برای یک حالت نمونه در شکل (۶)

مشاهده می گردد. ضمناً در جدول (۶) پارامترهای متناظر این حالت بهینه قابل ملاحظه است. نتایجی مشابه پلاریزاسیون TE، برای پلاریزاسیون TM نیز بدست می آید که برای پرهیز از اطاله ی کلام، از آوردن آنها در اینجا، خودداری می نمایم.

جدول (۵): مشخصات بدست آمده پس از بهینه سازی برای کاهش ضریب انعکاس (R) از صفحه نامحدود PEC با دو لایه پوشش با ترکیبی از مواد پاشنده DPS و فراماده در فرکانس $f = 10GHz$ و در محدوده ای از زوایای تابش $(0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ)$ در پلاریزاسیون

TM

Class of Materials	ضخامت بر حسب mm	پارامترهای رابطه پاشندگی هر دو لایه پس از بهینه سازی
لایه اول: Relaxation-type	۶.۵۷۶	$\epsilon_r = 1.918, \mu_m = 1, f_m = 27.060GHz$
لایه دوم: Relaxation-type	۴.۶۹۶۸	$\epsilon_r = 1.249, \mu_m = 1.924, f_m = 20.968GHz$
لایه اول Rings only	۰.۸۶۸۱	$f_{mo} = 20.757, f_{mp} = 3.001GHz, \gamma_m = 0.001GHz$
لایه دوم: Rods & rings	۹.۱۹۰۷	$f_{ep} = 21.065, \gamma_e = 1.166GHz, f_{mo} = 2.104, f_{mp} = 13.1364GHz, \gamma_m = 0.721GHz$
لایه اول Rods only	۰.۳۵۲۶	$f_{ep} = 8.493GHz, \gamma_e = 0.001GHz$
لایه دوم: Lossy magnetic	۱۱.۸۲۲۱	$\epsilon_r = 3.280, \mu_r = 6.672, \mu_i = 2.044, \alpha = 0.834, \beta = 0.992$

از کمینه سازی ضریب انعکاس روی فرکانس، زوایای تابش و توأمان مشاهده می شود که استفاده از فرامواد در دستیابی به RAM های با کارایی بهتر، مفید و مؤثر واقع شده است.

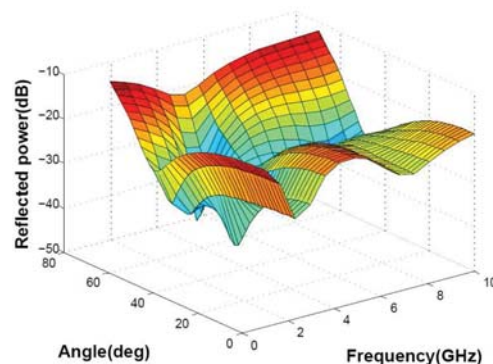
مراجع

- [1] Veselago, V. "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ," Soviet Physics Uspekhi, vol. 10, no. 4, pp. 509–514, Jan., Feb. 1968.
- [2] Michielssen, E., Sajer, J.M., Ranjithan, S. and Mitra, R. "Design of lightweight, broad-band microwave absorbers using genetic algorithms." IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 41(67):1024{1031, Jun/July 1993
- [3] Vinoy K.J., and Jha. R.M. Radar Absorbing Materials: From theory to design and characterization. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Masschusetts, 1996.
- [4] Rahmant-Samii Y., and Michielssen. E. Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms. Wiley, New York, 1999.
- [5] Cory, H. and C. Zach, "Wave propagation in metamaterial multi layered structures," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 40, No. 6, 460–465, 2004.
- [6] Oraizi, H. and Abdolali, A., "Design and Optimization of Planar Multilayer Antireflection Metamaterial Coatings at Ku Band under Circularly Polarized Oblique Plane Wave Incidence," *Progress In Electromagnetics Research C, PIER C* vol. 3, pp. 1–18, 2008.
- [7] Kong, J. A., "Electromagnetic Wave Interaction with Stratified Negative Isotropic Media," *Progress In Electromagnetics Research*, PIER, vol. 35, pp. 1-52, 2002.

- ¹ Dispersive
- ² Right-handed media
- ³ Metamaterials
- ⁴ Genetic algorithm
- ⁵ Radar absorbing material
- ⁶ Left-handed media
- ⁷ Mu-negative
- ⁸ Epsilon -negative
- ⁹ Double negative material
- ¹⁰ Double positive material
- ¹¹ Perfect electric conductor

جدول (۶): مشخصات بدست آمده پس از بهینه سازی برای کاهش ضریب انعکاس (R) از صفحه نامحدود PEC با دو لایه پوشش با ترکیبی از مواد پاشنده DPS و فراماده در پهنای باند فرکانسی $[1-10]GHz$ و در محدوده ای از زوایای تابش $(0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ)$ در پلاریزاسیون TE.

Class of Materials	ضخامت بر حسب mm	پارامترهای رابطه پاشندگی هر دو لایه پس از بهینه سازی
لایه اول: Relaxation-type	۳۰	$\epsilon_r = 1, \mu_m = 1.312$ $f_m = 30GHz$
لایه دوم: Rods & rings	۳۰.۳۲۳	$f_{ep} = 20.959, \gamma_e = 5GHz$ $f_{mo} = 1, f_{mp} = 27.257GHz,$ $\gamma_m = 3.996GHz$



شکل (۶): منحنی سه بعدی توان بازگشتی (در مقیاس dB) بر حسب فرکانس $[1-10]GHz$ و زاویه تابش $(0^\circ \leq \theta \leq 70^\circ)$ از یک صفحه PEC با دو لایه پوشش از مواد - rods & rings relaxation-type و در پلاریزاسیون TE مطابق جدول (۶).

مشاهده شد که بهترین ترکیب برای کاهش انعکاس از ساختار صفحه ای PEC استفاده از ترکیبی از مواد پاشنده معمولی (DPS) و مواد پاشنده فراماده در پوشش می باشد.

۴- نتیجه گیری

ترکیب مورد بررسی، ساختار صفحه ای چند لایه است که در یک طرف آن صفحه هادی کامل (PEC) قرار دارد و با روش تمام موج تحلیل گردیده است. به منظور طراحی مواد جاذب راداری، ترکیبی از مواد پاشنده معمولی (DPS) و فرامواد مورد بررسی قرار گرفته است. بهینه سازی به کمک ژنتیک الگوریتم انجام شده است. پس