## **کاهش RCS اجسام با استفاده از هادی مغناطیسی مصنوعی ترکیبی**

علی آذربر'، مصطفی مشهدی ٔ

۱استادیار دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند ،تهران، ایران ۲دانشجوی دکتری مخابرات میدان، دانشگاه علم و صنعت ایران، تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۴

## چکیدہ

در این مقاله روش جدیدی برای کاهش سطح مقطع راداری اجسام (RCS) در یک محدوده فرکانسی وسیع با استفاده از سطوح هادی مغناطیسی مصنوعی (AMC) ترکیبی ارائه شده است. در این مقاله نشان داده شده است که استفاده از زیرلا به مغناطیسی میتواند پهنای باند انعکاسی هم فاز ساختار های AMC را به طور قابل توجهی افزایش دهد. اصول طراحی ساختار با RCS پایین در یک محدوده فرکانسی وسیع در این مقاله بر مبنای استفاده از دو ساختار AMC با ابعاد متفاوت است که در دو باند فرکانسی مختلف کار میکنند. اما ابعاد و فرکانس های کاری این دو ساختار AMC به گونهای تنظیم شدهاند که در یک محدوده وسیع فرکانسی اختلاف فاز انعکاسی این دو ساختار نزدیک به ۱۸۰ درجه باقی بماند و بنابراین انعکاس های آنها یکدیگر را خنثی نموده و RCS ساختار کاهش یابد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این روش میتواند تا BCS یک ساختار فلزی را در یک یهنای باند ۳۲ کاهش یابد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این روش میتواند تا BCS یک ساختار فلزی را در یک یهنای باند ۳۱ ما بعاد.

#### كليدواژه

سطح مقطع راداری، هادی مغناطیسی مصنوعی، زیرلایه مغناطیسی، کاهش RCS.

#### مقدمه

کاهش سطح مقطع راداری<sup>۱</sup> (RCS) یکی از موضوعات مورد توجه در فناوریهای رادارگریزی و پنهانکاری<sup>۲</sup>است. هدف از کاهش RCS، کاهش دادن امواج الکترومغناطیسی پراکندگی است که در اثر برخورد امواج تابشی با اجسام مورد نظر از آنها ساطع میشود. سه راهکار اساسی متفاوت برای کاهش RCS اجسام وجود دارد که عبارتند از: استفاده از مواد جاذب راداری<sup>۳</sup> (RAM)، شکلدهی<sup>\*</sup> و پوشش<sup>6</sup> جسم.

مواد RAM [۱و۲] به طور بسیار گسترده در تجهیزات اندازه گیری آنتن و RCS مورد استفاده قرار می گیرد تا پژواک از دیوارها و کف اتاق را حذف نموده و انرژی الکترومغناطیسی آنها را به گرما تبدیل نماید. عیب اصلی مواد جاذب راداری، وزن، هزینه و ابعاد آنها است[۳]. رویکرد دیگر برای کاهش RCS، شکلدهی اجسام است. هدف از شکلدهی اجسام هدایت امواج الکترومغناطیسی بازگشتی از جسم در جهت های مورد نظر ما و جلوگیری از

- 2 Stealth Technology3 Radar Absorbing Material
- 4 Shaping

انعکاس امواج در جهت امواج تابشی است[۴]. در این روش معمولاً نیاز به یک مصالحه میان مشخصات کاهش RCS و ویژگیهای عملیاتی ساختار وجود دارد. روش سوم برای کاهش RCS پوشش اجسام است[۵و۶]. در این روش مبنای کار ایجاد اختلاف فاز بین انعکاسهای مختلف و خنثی کردن همدیگر است. صفحه سالیسبوری<sup>2</sup> یکی از روشهای پیادهسازی پوشش RAM است[۷]. این ساختار متشکل از یک صفحه مقاومتی تلفاتی است

که در فاصله ۸/4 از یک هادی کامل الکتریکی (PEC) قرار گرفته است. مشکل اساسی که صفحه سالسیبوری دارد ضخامت زیاد آن و وابستگی فرکانسی آن است. در [۸] نشان داده شده است که این ضخامت میتواند با قرار دادن صفحه تلفاتی بر روی یک سطح مغناطیسی کاهش پیدا نماید. در واقع در این حالت دیگر به فاصله ۸/4 نیاز نخواهد بود. پیاده سازی سطوح مغناطیسی نیز توسط دکتر انقطاع در [۹] ارائه شده است. استفاده از سطوح هادی مغناطیسی مصنوعی<sup>۷</sup> (AMC) میتواند به طور قابل توجهی ضخامت صفحه سالیسبوری را کاهش دهد. در مقایسه با یک

فصلنـامه صنـايع الكترونيـک دوره ۷ شعـاره ۳ پاييز ۱۳۹۵ ElectronicsIndustriesQuarterlyVol.7No.3Autumn2016

<sup>1</sup> Radar Cross Section

<sup>5</sup> Coating

<sup>6</sup> Salisbury Screen

<sup>7</sup> Artificial Magnetic Conductor

نموده و دارای ضریب انعکاس ۱- است، سطوح AMC دارای امپدانس بسیار بالا و ضریب انعکاس ۱+ هستند که این بدین معنی است که می توانند مانند یک هادی مغناطیسی عمل نماید.

علاوه بر این سطوح AMC می تواند برای کنترل و هدایت امواج الكترومغناطيسى پراكنده شده از جسم همچون روش شكلدهى مورد استفاده قرار بگیرد. در این حالت امواج الکترومغناطیسی بازگشتی در راستایی غیر از راستای موج تابشی هدایت می شود تا توسط آنتن فرستنده قابل ردیابی نباشد. بدین منظور در [۱۲-۱۰] سطوح ترکیبی PEC و AMC که در یک ساختار شطرنجی شکل قرار می گیرند، پیشنهاد شده است. در این روش سطوح PEC و AMC دارای ضرایب انعکاس مخالف هم بوده و بنابراین اثر همدیگر را خنثی نموده و باعث کاهش RCS ساختار می شوند. مشکل اصلی این ساختار پهنای باند کمی است که در آن کاهش RCS ایجاد می شود که علت آن نیز پهنای باند کمی است که در آن AMC دارای ضریب انعکاس ۱+ است و به عبارتی دیگر پهنای باند کمی که در آن AMC همانند یک هادی مغناطیسی عمل مینماید. برای رفع این مشکل در [۱۸-۱۳] ساختارهای جدیدی پیشنهاد شده است که در آن قسمتهای PEC شبکه شطرنجی شکل با سطوح AMC دیگری که دارای فرکانس کاری متفاوت با سطوح AMC اولیه هستند جایگزین شده است. با استفاده از این ساختارها حداکثر پهنای باند کاری ۶۰٪ گزارش شده است.

در این مقاله، ما برای افزایش پهنای باند کاهش RCS ساختارهای شطرنجی شکل، استفاده از زیرلایه مغناطیسی را ارائه مینماییم در [۲۰] نشان داده شده است که استفاده از موادی با ضریب نفوذپذیری مغناطیسی<sup>^</sup> بیشتر از یک میتواند پهنای باند انعکاس هم-فاز<sup>\*</sup> سطوح AMC را افزایش دهد. بنابراین، در این کار ما به بررسی و مطالعه ساختارهای شطرنجی شکل تشکیل شده از دو نوع AMC با زیرلایه مغناطیسی میپردازیم و نشان میدهیم که این سطوح میتوانند کاهش RCS پهنباندی را در مقایسه با سطوح PEC ایجاد نمایند.

در بخش های بعدی، در ابتدا نشان میدهیم که استفاده از زیر لایه مغناطیسی (زیر لایه ای با ضریب نفوذپذیری مغناطیسی بیشتر از یک) منجر به افزایش پهنای باند انعکاس هم-فاز ساختار AMC می شود. سپس با بکارگیری این روش به طراحی دو ساختار AMC متفاوت می پردازیم که در آن اختلاف فاز انعکاسی بین دو AMC در یک پهنای باند وسیع فرکانسی نزدیک ۱۸۰ درجه باقی می ماند. سپس این دو ساختار AMC را در ساختار شطرنجی شکل بکار برده و نشان می دهیم که این ساختار قادر است در یک محدوده فرکانسی وسیع RCS را به طور قابل توجهی کاهش دهد.

## **طراحی سطوح AMC**

سطوح AMC را میتوان با یک مدار LC موازی مدل نمود [۲۰] که در آن پهنای باند انعکاسی هم-فاز متناسب با  $\sqrt{L/C}$  است. بنابراین به منظور افزایش پهنای باند انعکاسی هم-فاز باید مقدار L را افزایش داد. برای افزایش L نیز باید از موادی مغناطیسی که دارای ضریب نفوذپذیری بیشتر از یک هستند استفاده نمود. با افزایش مقدار L علاوه بر این فرکانس کاری سطوح AMC کاهش پیدا می کند و بنابراین برای ثابت نگهداشتن فرکانس کاری باید ابعاد سطوح پچ را کوچکتر کرد که این کار باعث کوچکتر شدن ظرفیت خازنی می شود. در این کار، پهنای باند مفید سطوح AMC در محدودهای فرکانسی در نظر گرفته شده است که در آن حداکثر اندازه فاز ضریب انعکاسی برابر ۴۵ درجه باشد.

برای تایید این تئوری یک سلول واحد از ساختار AMC را مطابق شکل ۱ را در نظر بگیرید. سلول واحد AMC از یک پچ مربعی تشکیل شده است که بر روی یک زیرلایه مغناطیسی که طرف دیگر آن نیز با PEC پوشانده شده است، تشکیل شده است. با شبیه سازی این ساختار با استفاده از تحلیل فلوکه با شرایط مرزی متناوب در نرم افزار CST STUDIO SUITE مىتوان به اثر نفوذپذیری مغناطیسی ماده بر روی مشخصات انعکاسی و فرکانسی ساختار AMC دست یافت. در ساختار پیشنهادی ابعاد سلول واحد  $W = 7.3 \ mm, \ L = 8 \ mm, \ h = 1.6 \ mm$  به صورت AMC انتخاب شده است و شبیه سازی برای مقادیر مختلف  $\varepsilon_r = 1$ . ضریب نفوذیذیری مغناطیسی انجام شده است. با تحریک کردن سطوح AMC تحت تابش عمودی به نتایج نشان داده شده در شکل ۲ برای فاز انعکاسی از آن برای مقادیر مختلف ضرایب نفوذپذیری میرسیم. برای درک بهتر شکل ۲ نتایج شبیهسازی برای مقادیر مختلف ضرایب نفوذپذیری به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است. همان طور که در این جدول مشاهده می شود، با افزایش ضریب نفوذپذیری مغناطیسی پهنای باند ساختار افزایش یافته و علاوه بر آن فرکانس کاری نیز کاهش پیدا میکند.

همان طور که مشاهده می شود، با افزایش ضریب نفوذپذیری مغناطیسی، پهنای باند انعکاس هم-فاز سطوح AMC افزایش پیدا میکند. این ویژگی میتواند برای افزایش پهنای باند کاهش RCS ساختارهای شطرنجی شکل متشکل از AMC های ترکیبی مورد استفاده قرار بگیرد. بدین منظور ابتدا باید ابعاد دو ساختار AMC را به گونهای طراحی و انتخاب کنیم که دو ساختار دارای فرکانس های کاری متفاوت بوده و اختلاف فاز انعکاسی بین این دو ساختار در یک محدوده فرکانسی بسیار وسیع در محدوده ۱۸۰ درجه باقی بماند.

<sup>8</sup> Permeability

<sup>9</sup> In-Phase Reflection



شكل ۱. شماتيك يك سلول واحد از ساختار AMC پيشنهادي.



جدول ۱. مقایسه نتایج شبیهسازی برای مقادیر مختلف ضریب نفوذپذیری

ضريب	پهنای باند	فركانس	درصد پهنای
نفوذپذيرى	انعکاسی هم–فاز	مرکزی (GHz)	باند
مغناطيسي	(GHz)		
١	1.,٣_11,90	۱۱,۱	%14,9
٢	$\forall, 1 = \Lambda, \Lambda$	٧,٩	%٢١,٥
۴	۵_ ۶,۵	۵,۷	%79,0
Ŷ	۴,۲ _ ۵,۷	4,9	%٣.,۶

اکنون هدف خود را بر روی کاهش RCS ساختار در محدوده فرکانسی ۲۰GHz-۸ قرار می دهیم ( محدوده ای که اکثر سیستم های راداری در این بازه فرکانسی کار می کنند). برای سادگی طراحی و بهینه سازی نیز ضریب نفوذپذیری ماده مغناطیسی برابر ۴، ضریب گذردهی الکتریکی لایه مفناطیسی برابر یک، و ضخامت زیرلایه مغناطیسی برابر ۱٫۶ mm در نظر می گیریم.

به منظور کاهش RCS تک پایه<sup>۱۰</sup> باید ابعاد ساختار دو نوع AMC را به گونه ای انتخاب و بهینه سازی نمایم که اختلاف فاز انعکاسی بین این دو ساختار در بازه فرکانسی فوق در محدوده ۱۸۰ درجه باقی بماند. یک تقریب اولیه برای شروع بهینه سازی میتواند این

باشد که AMC ساختار اول (Structure A) در حوالی ابتدای محدوده فرکانسی که کاهش RCS مورد نظر است طراحی شود و AMC ساختار دوم (Structure B) نیز در محدوده انتهایی باند طراحی شود. هر ساختار AMC باید ابتدا به صورت جداگانه شبیه سازی شود و فاز انعکاسی از آن تحت تابش عمود بدست آید. شبیه سازی انجام شده در این مرحله به صورت سلول واحد و با در نظر گرفتن شرط مرزی متناوب با استفاده از تئوری فلوکه انجام می شود. پس از طراحی اولیه دو ساختار AMC به صورت جداگانه و بدست آوردن فاز برگشتی از این دو ساختار اختلاف فاز انعکاسی آمده در محدوده فرکانسی مورد نظر در حدود ۱۸۰ درجه باشد به هدف خود رسیده ایم و در غیر این صورت باید ابعاد سلول های AMC را تغییر داد تا فرکانس کاری AMC تغییر نموده و اختلاف

فاز حدود ۱۸۰ درجه در باند فرکانسی مورد نظر اتفاق بیفتد. با انجام بهینهسازی مقادیر بدست آمده برای ساختار A برابر L = 2 mm و برای ساختار B برابر mm در تابش و M = 1 mm و برای ساختار MC در تابش عمود در شکل ۳ نشان داده شده است و اختلاف فاز انعکاسی بین دو ساختار AMC نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. اگر فرض کنیم که اختلاف فاز مورد قبول در محدوده زاویهای ۲۰±۰۸ نیرم که اختلاف فاز مورد قبول در محدوده زاویهای ۲۰±۰۸ شکل متشکل از این دو نوع AMC در محدودههای فرکانسی شکل متشکل از این دو نوع AMC در محدودههای فرکانسی RCS توجه اتفاق بیفتد.



شکل۳. تغییرات فاز انعکاسی بر حسب فرکانس برای دو ساختار AMC پیشنهاد شده.

www.SID.ir

فصلنامه صنايع الكترونيك دوره ۷ شماره ۳ پاييز ۱۲۹۵ ElectronicsIndustriesQuarterlyVol.7No.3Autumn2016

<sup>10</sup> Monostatic



شکل۴. اختلاف فاز انعکاسی بین دو ساختار AMC بر حسب فرکانس.

# ساختار شطرنجي شكل

شبیه سازی یک سلول واحد با استفاده از تئوری فلوکه و با شرایط مرزی متناوب معادل با در نظر گرفتن یک ساختار مسطح بی نهایت متشکل از آن سلول است. به عبارتی دیگر، برای تحقق رفتار فازى ارائه شده توسط شبيه سازى سلول واحد، ساختارى متناوب و بی نهایت از این سلول ها را باید در کنار هم قرار داد، اما با توجه به محدودیت طولی ساختار می توان به تقریب تنها چند سلول از آن را در نظر گرفت. به عنوان نمونه، همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود به منظور تحقق AMC ساختار A یک ساختار متناوب ۶×۶ از سلول واحد در نظر گرفته شده است. ساختار AMC نوعB نیز با در نظر گرفتن یک آرایش ۲۴×۲۴ از سلول اوليه ساخته شده است. تعداد سلول ها در دو ساختار AMC به گونه ای در نظر گرفته شده است که دو ساختار دارای ابعاد یکسانی باشند. علت برابر گرفتن ابعاد دو ساختار AMC نیز آن است که اندازه میدان های بازگشتی از این دو AMC یکسان باشد تا بتواند با استفاده از اختلاف فاز ۱۸۰ درجه ای بین این دو نوع ساختار، میدان مجموع را تا حد ممکن تضعیف نماید. به عبارتی دیگر اختلاف فاز ۱۸۰ درجه بین دو ساختار AMC به تنهایی نمی تواند کاهش قابل توجهی در RCS ایجاد نماید و این کاهش هنگامی بیشینه خواهد شد که دو ساختار اندازه یکسانی داشته باشند تا اندازه میدان های بازگشتی از دو ساختار نیز یکسان باشد. یک ساختار شطرنجی شکل ۲×۲ ساخته شده از دو نوع AMC در شکل ۵ نشان داده شده است. این ساختار توسط نرم افزار CST STUDIO SUITE تحت تابش عمود شبیه سازی شده است که نتایج آن در شکل ۶ رسم شده است. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود کاهش RCS تک پایه ساختار شطرنجی شکل در مقایسه با یک صفحه فلزی با همان ابعاد در محدوده فرکانسی ۷٫۱ GHz تا ۱۹٫۵ GHz بیش از ۱۳ dB خواهد بود که دارای پهنای باند ۹۳٫۲٪ خواهد بود.



شکل۵. ترکیب دو نوع ساختار AMC پیشنهاد شده در یک ساختار شطرنجی-شکل ۲×۲.



علاوه براین تطابق بسیار خوبی در باند فرکانسی کاهش RCS بین نتایج پیشربینی شده از منحنی اختلاف فاز با نتایج شبیهسازی ساختار شطرنجی شکل وجود دارد. برش های صفر و ۴۵ درجهای از RCS نرمالیزه دوپایه<sup>۱۱</sup> ساختار شطرنجی شکل و همچنین یک صفحه PEC برحسب  $\theta$  در فرکانس های ۸، ۱۲، ۱۶ و ۱۹ گیگاهرتز در شکل ۷ برای تابش عمود رسم شده است. همان طور که از شکل ۷ مشاهده میشود در تمامی فرکانس های رسم شده، امواج پراکنده شده از ساختار شطرنجی شکل عمدتاً در جهاتی غیر از راستای موج تابشی را راستای موج تابشی عمود بر صفحه شطرنجی شکل در نظر گرفته شده است) منعکس میشود و میزان انعکاس امواج در راستای موج تابشی بسیار ناچیز خواهد بود. اما اگر صفحه محتاً در راستای موج تابشی خواهد میشود میزان پراکندگی امواج

11 Bistatic

94

اثر تغییر زاویه تابش در میزان کاهش RCS تک پایه در شکل  $\Lambda$ برای زوایای تابشی صفر، ۱۵ و ۳۰ درجه نسبت به محور z (محور عمود برصفحه AMC) رسم شده است. در این حالت بردار انتشار امواج صفحه ای تابشی در صفحه z-z در نظر گرفته شده است و در هر دو پلاریزاسیون TE و RCS ، TM تک پایه مقایسه شده است. همان طور که مشاهده می شود در حالت تابش عمود نمودار کاهش RCS تک پایه برای هر دو پلاریزاسیون یکسان است. اما رفتار آنها در تابش مایل برای دو پلاریزاسیون متفاوت است.





شکل ۲. RCS نرمالیزه دوپایه سطوح AMC ترکیبی و صفحه فلزی PEC در برخورد عمود و در فرکانسهای مختلف (الف) GHz ۸(ب) GHz ۲(ج) GHz (ج). ۱۹ GHz (د)



شکل۸. کاهش RCS تک پایه ساختار شطرنجی شکل در مقایسه با یک صفحه PEC با همان ابعاد در زوایای تابش مختلف بر حسب فرکانس. (الف) پلاریزاسیون TE<sub>y</sub> (ب) پلاریزاسیون TM<sub>y</sub>.

علاوه براین، همان طور که مشاهده می شود با تغییر تابش از عمود به مایل عملکرد ساختار خراب می شود و میزان کاهشRCS بشدت کم می شود که علت آن نیز بدلیل آن است که طراحی ها

برای تابش عمود انجام شده است و در تابش مایل اختلاف ۱۸۰ درجه ای نمی تواند ایجاد شود.

میزان کاهش RCS دو پایه ساختار در حالت بازتاب در زاویه ارتفاع ۹۰ درجه (<sup>0</sup>0 = *θ*) و بازتاب انعکاسی ( یا آینهای) در زوایای تابش مختلف در هر دو پلاریزاسیون و بر حسب فرکانس به ترتیب در شکل های ۹ و ۱۰ رسم شده است. همان طور که در شکل ۹ مشاهده می شود با افزایش زاویه تابش (*θ*) در هر دو پلاریزاسیون میزان کاهش RCS کمتر می شود. در زاویه بازتاب آینه ای نیز در پایه کمتر می شود. اما با این حال مشاهده می شود که ساختار پایه کمتر می شود. اما با این حال مشاهده می شود که ساختار می تواند تقریباً در یک باند وسیع فرکانسی RCB دو می تواند برای کاهش دهد. بنابراین به طور کلی از نتایج بدست آمده می توان به این نتیجه رسید که ساختار AMC ترکیبی پیشنهادی می تواند برای کاهش RCS تک پایه در برخورد عمود و RCS می تواند برای کاهش دهد. بنابراین مورد استفاده قرار گیرد.



تاویه ارتفاع ۹۰ درجه و در زوایای تابش مختلف (الف) پلاریزاسیون TE<sub>۲</sub> (ب) پلاریزاسیون ۲M<sub>۲</sub>.



پلاريزاسيون TM<sub>v</sub>.

نیجه گیری

استفاده از زیرلایه مغناطیسی در سطوح AMC پهنای باند انعکاس هم-فاز ساختارهای AMC را افزایش می دهد. این ویژگی می تواند در طراحی ساختارهای AMC شطرنجی شکل به منظور افزایش پهنای باند کاهش RCS مورد استفاده قرار یگیرد. در این مقاله به طراحی و شبیه سازی یک سطح مسطح متشکل از دو نوع ساختار AMC با زیر لایه مغناطیسی پرداخته شد. ابعاد دو ساختار AMC به گونه ای انتخاب شدهاند که دارای فرکانس های کاری متفاوت بوده و اختلاف فاز ضرایب انعکاسی آن ها در یک بازه فرکانسی وسیع حدود ۱۸۰ درجه باشد، به طوری که امواج انعکاسی یکدیگر را خنثی نمایند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با ساختار پیشنهادی می توان به یک کاهش RCS تک پایه در حدود BM 10 در پهنای باند فرکانسی ۳۳٫۲ برای برای برخورد عمود دست یافت.

### مرجعها

[1]A. Abdelaziz, "Improving the performance of an antenna array by using radar absorbing cover,"

٩۶

[16] M.E. de Cos, Y. Alvarez, and F. Las-Heras, "RCS reduction using a combination of artificial magnetic conductors," Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation, 1336-1340, 11-15 April 2011.

[17]Y. Zhang, R. Mittra, B. Z. Wang, and N. T. Huang, "AMCs for ultrathin and broadband RAM design," Electronics Letters, vol. 45, No. 10, 484-485, 2009.

[18] Y. Zhang, R. Mittra, and B. Z. Wang, "Novel design for low- RCS screens using a combination of Dual-AMC," Antennas and Propagation Society Intl. Symposium, APSURSI'09, 1-4, Jun. 1-5, 2009.

[19] J. C. Iriarte, A. Tellechea, I. Maestrojuan, I. Liberal, A. Rebollo, I. Ederra and R. Gonzalo, "ChessBoard Structure Evolution for RCS Reduction," Proceedings of the 3rd International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics, META'12,.

[20]L. Yousefi, B. Mohajer-Iravani, M. Ramahi, Omar, "Enhanced Bandwidth Artificial Magnetic Ground Plane for Low-Profile Antennas," Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol.6, no., pp.289,292, 2007.

Progress In Electromagnetics Research Letters, vol. 1, 129-138, 2008.

[2]A. Hebeish, M. A. Elgamel, R. A. Abdelhady, and A. Abdelaziz, "Factors affecting the performance of the radar absorbant textile materials of different types and structures," Progress In Electromagnetics Research B, vol. 3, 219-226, 2008.

[3] L. H. Hemming, "Electromagnetic Anechoic Chambers: A Fundamental Design and Specification Guide," IEEE Press, John Wiley Interscience, 2002.

[4] E. F. Knott, J. F. Shaeffer, and M. T. Tuley, "Radar Cross Section," 2nd edition, 269-276, Artech House, 1993.

[5]H. Oraizi, and A. Abdolali, "Combination of MLS, GA&CG for the reduction of RCS of multilayered cylindrical structures composed of dispersive metamaterials," Progress In Electromagnetics Research B, vol. 3, 227-253, 2008.

[6] H.-Y. Chen, P. Zhou, L. Chen, and L. Deng, "Study on the properties of surface waves in coated ram layers and monostatic RCS performances of the coated slab," Progress In ElectromagneticsResearch M, vol. 11, 123-135, 2010.

[7]W. W. Salisbury, "Absorbent Body for Electromagnetic Waves," U. S.Patent 2 599-944, Jun. 10, 1952.

[8]R. L. Fante and M. T. McCormack, "Reflection properties of the Salisbury screen," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 36, no. 10, pp. 1443–1454, Oct. 1988.

[9]N. Engheta, "Thin absorbing screens using metamaterial surfaces," in Proc. IEEE Antennas Propagation Societ Int. Symp., pp.392–395, 2002.

[10]M. Paquay, J. C. Iriarte, I. Ederra, R. Gonzalo, and P. de Maagt, "Thin AMC structure for radar cross-section reduction,", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 55, No. 12, December 2007.

[11] J. C. Iriarte, M. Paquay, I. Ederra, R. Gonzalo, and P. de Maagt, "RCS reduction in a chessboard-like structure using AMC cells," Proceedings EUCAP 2007, 1-4, Nov. 11-16, 2007.

[12]S. Simms, and V. Fusco, "Chessboard reflector for RCS reduction," Electronic. Letters., 44, (4), pp. 316–317, 2008.

[13] J. C. Iriarte, I. Ederra, R. Gonzalo, and P. de Maagt, "Dual Band RCS Reduction Using Planar Technology by Combining AMC Structures," Proceedings EuCAP 2009.

[14] J.C. Iriarte, J.L. Martinez de Falcon; I. Maestrojuan I. Liberal, A. Rebollo, I. Ederra, and R. Gonzalo, "Broadband RCS reduction using AMC technology," Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation,1322-1323, 11-15 April 2011.

[15] M. E. de Cos, Y. Alvarez, and F. Las-Heras, "A novel approach for RCS reduction using a combination of artificial magnetic conductors," Progress In Electromagnetics Research, vol. 107, 147-159, 2010.