



دانشکده مهندسی برق و ریاتیک

مهندسی برق گرایش مخابرات میدان

پایان نامه کارشناسی ارشد

کاربرد مواد مغناطیسی جهت کاهش سطح مقطع راداری

نگارنده : وحید عمیدی

استاد راهنما :

دکتر جواد قالیبافان

دی ۱۳۹۸

تقدیم به پدر و مادر عزیز

و

همسر مهربانم

قدردانی

با سپاس از آفریدگار مهربان، که اسباب نگارش این پایان نامه به قدرت او فراهم آمد. در اینجا بر خود لازم می دانم که از زحمات دلسوزانه استاد ارجمند، جناب آقای دکتر قالیبافان کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم

تعهد نامه

اینجانب وحید عمیدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق/مخابرات میدان و موج دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کاربرد مواد مغناطیسی جهت کاهش سطح مقطع راداری تحت راهنمایی دکتر جواد قالبافان متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در میان مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی، مواد فریتی به سبب دارا بودن ویژگی هایی همچون تلفاتی بودن، پایداری شیمیایی بالا و مقاومت در برابر خوردگی می توانند گزینه ی مناسبی برای استفاده در پوشش های راداری باشند. با استفاده از پوششهای جاذب امواج رادار و نصب آنها بر روی بدنه شناورها علاوه بر حفظ طراحی بهینه، می توان بازه ی وسیعی از امواج رادار را تضعیف و جذب کرد، که این امر سبب رادارگریز شدن هدف می شود. مواد نانو به دلیل خواص بینظیر الکتریکی و مکانیکی، گزینه ای مناسبی برای جذب امواج الکترومغناطیسی هستند. مواد کامپوزیتی نانوپایه می توانند کم وزن، ارزان و راحت سنتز شوند. استفاده از نانوذرات آهن، نیکل و کبالت در ساخت نانوکامپوزیت های فریتی به همراه طراحی الگویی برای کاهش سطح مقطع راداری قادر است در محدوده ی فرکانسی امواج رادار، سطح مقطع راداری را مقدار قابل توجهی کاهش دهد. این مواد به صورت روکش یک میلیمتری بر روی بدنه ی شناورها کشیده شده و قادر است آنها را از دید رادارهای دشمن پنهان کند.

در این پایان نامه 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 پایان نامه نشان داده شده است که استفاده از زیرلایه مغناطیسی می تواند پهنای باند عملکرد ساختارهای AMC را افزایش دهد. اصول طراحی ساختار با RCS پایین در یک محدوده فرکانسی وسیع در این پایان نامه 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 گونه ای تنظیم شده اند که در یک محدوده وسیع فرکانسی اختلاف فاز انعکاسی این دو ساختار نزدیک به ۱۸۰ درجه باقی بماند و بنابراین انعکاس یکدیگر را خنثی نموده و RCS ساختار کاهش می یابد. نتایج شبیه

سازی نشان می دهد که این روش می تواند RCS را تا مقدار ۲۰ dB برای یک ساختار فلزی در یک پهنای باند حدود ۵۰٪ کاهش دهد

کلمات کلیدی

کاهش سطح مقطع راداری-پوششهای فریتی جاذب، سطح مقطع راداری، شناورهای تندرو، پوشش مقاوم

فهرست مطالب

فصل اول.....	۱
مقدمه ای بر روش های کاهش دهنده سطح مقطع راداری.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ اهداف طرح.....	۲
۳-۱ معرفی سطح مقطع راداری.....	۳
۴-۱ انواع روش های کاهش سطح مقطع راداری.....	۵
۱-۴-۱ شکل دهی.....	۵
۲-۴-۱ روش حذف فعال.....	۶
۳-۴-۱ روش حذف غیر فعال.....	۷
۴-۴-۱ استفاده از صفحات سالیسبری.....	۸
۵-۴-۱ استفاده مواد جاذب.....	۹
۶-۴-۱ نانوفایبرگلاس و نانو کامپوزیت ها.....	۱۰
۵-۱ روش های بررسی سطح مقطع راداری.....	۱۲
۶-۱ تحلیل بر اساس فاز.....	۱۲
۷-۱ تحلیل کاهش سطح مقطع راداری بر اساس نقطه مشاهده.....	۱۴
فصل دوم.....	۱۹
معرفی طرح پیشنهادی بر روی زیر لایه فریت.....	۱۹
۱-۲ مقدمه طرح پیشنهادی.....	۲۰
۲-۲ معرفی انواع سلول.....	۲۰
۳-۲ نحوه شبیه سازی و محاسبه اختلاف فاز برای دو سلول.....	۲۳
۴-۲ معرفی سلول پیشنهادی.....	۲۷

۳۳	۵-۲ بررسی عوامل موثر بر فاز برگشتی
۳۶	۶-۲ طراحی سلول واحد با ترکیب ۴ سلول
۴۲	۷-۲ بررسی اثر زاویه تابش بر کاهش سطح مقطع راداری
۴۵	فصل سوم
۴۵	نتیجه گیری و ارایه پیشنهادات
۴۶	۱-۳ خلاصه نتایج و دستاورد ها
۴۷	۲-۳ راهکار های پیشنهادی :
۴۸	فهرست منابع

فهرست تصاویر

- شکل (۱-۱) کاهش سطح مقطع راداری در هواپیمای F117 [۲] ۶
- شکل (۲-۱) نمونه یک هواپیما که از روش حذف فعال استفاده میکند [۴] ۷
- شکل (۳-۱) پراکنده های ثانویه (الف) بار های لامپ (مقاومتی) (ب) خط اخلاگر [۳] ۸
- شکل (۴-۱) نمایش جاذب با صفحه سالیسبری [۷] ۹
- شکل (۵-۱) استفاده از رنگ مخصوص برای جلوگیری از ورود امواج الکترومغناطیس [۸] ۱۰
- شکل (۶-۱) نمونه یک ساختار نانو کامپوزیت گرافنی ۱۱
- شکل (۷-۱) اختلاف فاز دو نوع سلول در یک ساختار [۱۱] ۱۳
- شکل (۸-۱) کاهش سطح مقطع راداری ساختار شکل قبل (۷-۱) [۱۱] ۱۳
- شکل (۹-۱) نمونه یک رادار با یا استاتیک ۱۴
- شکل (۱۰-۱) نمونه بازتاب موج از صفحه زمین که با زاویه ۳۰ درجه تابیده شده ۱۵
- و بیشتر انرژی موج در زاویه (۳۰-) بازتاب میشود ۱۵
- شکل (۱۱-۱) نمونه ای از سطح کاهنده سطح مقطع راداری با تابش ۳۰ درجه که ۱۶
- موج بازگشتی در جهات مختلف پراکنده شده ۱۶
- شکل (۱۲-۱) نمونه یک رادار مولتی استاتیک [۱۳] ۱۷
- شکل (۱۳-۱) نمودار FMB برای یک ساختار کاهنده سطح مقطع راداری [۱۴] ۱۸
- شکل (۱-۲) نمونه یک ساختار با زیر لایه فریت منعطف ۲۰
- شکل (۲-۲) چند نمونه سلول برای ایجاد اختلاف فاز [۳] ۲۱

- شکل (۳-۲) تصویر شرایط مرزی در نرم افزار CST ۲۳
- شکل (۴-۲) تصویر مشخص کردن فاصله تا صفحه موج ارسالی ۲۴
- شکل (۵-۲) نمودار فاز برگشتی برای یک سلول در نرم افزار CST ۲۴
- شکل (۶-۲) نمای یک قاب برای تک سلول ۲۵
- شکل (۷-۲) تصویر انتخاب دو وجه برای "Master" و "Slave" ۲۶
- شکل (۸-۲) تصویر تعریف پورت در نرم افزار HFSS برای تحلیل فاز یک سلول ۲۶
- شکل (۹-۲) تصویر یک نمودار فاز برگشتی در نرم افزار HFSS ۲۷
- شکل (۱۰-۲) تصویر سلول های پیشنهادی در این طرح ۲۸
- شکل (۱۱-۲) شبیه سازی فاز برگشتی برای سلول (الف) ۲۹
- شکل (۱۲-۲) مقادیر و مشخصات سلول (الف) ۳۰
- شکل (۱۳-۲) شبیه سازی فاز برگشتی برای سلول (ب) ۳۰
- شکل (۱۴-۲) مقادیر و مشخصات سلول (ب) ۳۱
- شکل (۱۵-۲) شبیه سازی دامنه S_{۱۱} برای سلول (الف) ۳۲
- شکل (۱۶-۲) شبیه سازی دامنه S_{۱۱} برای سلول (ب) ۳۲
- شکل (۱۷-۲) تاثیر گذر دهی نسبی زیر لایه بر میزان فاز برگشتی (الف) ۳۳
- شکل (۱۸-۲) تاثیر گذر دهی نسبی زیر لایه بر میزان فاز برگشتی (ب) ۳۳
- شکل (۱۹-۲) تاثیر تغییر فاصله بین سلول بر میزان فاز برگشتی ۳۴
- شکل (۲۰-۲) تاثیر تغییر طول صلیب برای سلول (الف) بر میزان فاز برگشتی ۳۵
- شکل (۲۱-۲) تاثیر تغییر عرض خط صلیب برای سلول (الف) بر میزان فاز برگشتی ۳۵

- شکل (۲-۲۲) تاثیر زاویه چرخش اتصال کوتاه در سلول (ب)..... ۳۶
- شکل (۲-۲۳) تصویر طرح پیشنهادی با ۴ نوع سلول..... ۳۷
- شکل (۲-۲۴) مقدار کاهش سطح مقطع راداری بر حسب فرکانس..... ۳۸
- شکل (۲-۲۵) شبیه سازی الگوی تابشی مونو استاتیک دو بعدی برای $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$ در فرکانس
 ۲۲ گیگاهرتز..... ۳۹
- شکل (۲-۲۶) شبیه سازی الگوی تابشی مونو استاتیک دو بعدی برای $\varphi = 45^\circ, 135^\circ$ در
 فرکانس ۲۲ گیگاهرتز..... ۳۹
- شکل (۲-۲۷) شبیه سازی الگوی تابشی مونو استاتیک دو بعدی برای $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$ در فرکانس
 ۱۴ گیگاهرتز..... ۴۰
- شکل (۲-۲۸) شبیه سازی الگوی تابشی مونو استاتیک دو بعدی برای $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$ در فرکانس
 ۱۴ گیگاهرتز..... ۴۰
- شکل (۲-۲۹) تصویر سه بعدی ساختار در فرکانس ۲۲ گیگاهرتز..... ۴۱
- شکل (۲-۳۰) نمودار مقدار کاهش سطح مقطع راداری بر حسب FMB..... ۴۲
- شکل (۲-۳۱) نمودار کاهش سطح مقطع راداری بر حسب FMB در زوایای مختلف..... ۴۴

فصل اول

مقدمه ای بر روش های کاهش دهنده سطح مقطع راداری

از گذشته ، محققین در تلاش برای کنترل امواج بازگشتی از اجسام مختلف بودند و به خصوص در زمینه نظامی و پزشکی بسیار مورد توجه قرار داشت .پراکندگی امواج از سطح اجسام را با سطح مقطع راداری (RCS^1) می سنجدند . در تعریف سطح مقطع راداری به قابل شناسایی بودن یک شی توسط رادار گفته می شود و هر چه مقدار آن بیشتر باشد جسم قابل رویت تر برای رادار است.

امواج الکترومغناطیس پس از برخورد به سطح جسم با توجه به شکل هندسی جسم و جنس ماده به جهت های مختلفی پراکنده می شوند.

محاسبه سطح مقطع راداری از نظر تئوری به دلایل مختلفی مانند پیچیده بودن شکل و سطح جسم بسیار مشکل و زمان بر می باشد ولی برای اجسام ساده مانند کره، استوانه و ... قابل محاسبه است.

۱-۲ اهداف طرح

در سال های اخیر طرح های مختلف زیادی برای کاهش سطح مقطع راداری اجسام پیشنهاد شده است لیکن اکثر این طرح ها بر روی زیر لایه های تجاری معمولی مانند زیر لایه های Ro4003 یا FR4 و Ro5880 ساخته شده اند که نه تنها امکان استفاده از این زیر لایه ها در محیط های نظامی نمی باشد بلکه این مواد دارای ثابت دی الکتریک پایین در حدود ۳ الی ۴ می باشند که این نمونه مواد های قابل استفاده بسیار متفاوت است و ساختار های مورد استفاده در صنایع نظامی دارای ثابت دی الکتریک در حدود ۱۰-۱۵ می باشند که از لحاظ پهنای باند یا عمق کاهش سطح مقطع راداری بسیار متفاوت با طرح های پیشنهادی با ثابت دی الکتریک پایین می باشد . امروزه با پیشرفت علوم مهندسی مواد و فیزیک ، کامپوزیت های بسیار مناسب با شرایط محیطی و مقاومت بالا

¹ Radar Cross Section

در برابر خوردگی و غیره طراحی شده اند . به طور مثال در ساختار های دریایی، در نظر گرفتن عدم خوردگی لجن پراکنی از نکات مهم مواد پیشنهادی می باشد . با توجه به تحقیقات صورت گرفته ساختار فریتی^۱ به خاطر ویژگی های مقاومت بالا در برابر خوردگی و تلفاتی بودن آن بسیار مورد توجه طراحان تجهیزات دریایی بوده بر همین اساس طرح پیشنهادی این پایان نامه معرفی الگو و سلول های مختلف برای پیاده سازی بر روی فریت برای کاهش سطح مقطع راداری هدف دریایی می باشد

۳-۱ معرفی سطح مقطع راداری

سطح مقطع راداری RCS برای یک جسم، سطحی (فرضی) است که معرف میزان توان برگشتی از هدف در جهت های مختلف می باشد از بین تمامی جهت های توان برگشتی، جهت برگشتی به سمت رادار از اهمیت بیشتری برخوردار است لذا سطح مقطع راداری را از نظر ریاضی به صورت نسبت توان میدان برگشتی به سمت رادار به توان برخوردی به هدف به شکل زیر تعریف می کنند

$$\sigma = \frac{P_r}{P_i} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E_r|^2}{|E_i|^2} \quad (1-1)$$

در این رابطه R: فاصله هدف از رادار؛ E_r ، شدت میدان برگشتی از هدف به سمت رادار؛ E_i ، شدت میدان تابشی به هدف؛ P_r ، توان انعکاسی از هدف و P_i ، توان تابشی به هدف می باشد. سطح مقطع راداری عموماً بر حسب متر مربع و دسیبل بیان می شود .

^۱ ferrite

سطح مقطع راداری یک هدف اغلب به عنوان نتیجه ای از سه عامل سطح مقطع طراحی شده، بازتاب پذیری و هم راستایی می باشد. بازتاب پذیری توسط میزان نیروی از بین رفته که به وسیله هدف ساطع می شود تعریف میشود

اگر همه انرژی انتشار یافته ی رادار به سمت جسم به طور مساوی در همه جهات منعکس گردد سطح مقطع راداری برابر با سطح مقطع جسم می باشد. اما در عمل بخشی از انرژی جذب جسم میگردد و انرژی انعکاس یافته به طور مساوی در همه ی جهات توزیع نمی شود؛ بنابراین سطح مقطع راداری کاملاً متفاوت با آن تخمین است و بایستی توسط روش های خاصی اندازه گیری گردد. سطح مقطع راداری یک هدف تابعی از ابعاد فیزیکی هدف، مواد تشکیل دهنده هدف (خواص الکتریکی و مغناطیسی هدف)، موقعیت هدف نسبت به رادار، زاویه تابش موج به هدف، فرکانس کار، شکل موج تابشی، درجه حرارت محیط، سرعت هدف، محیطی که هدف در آن قرار دارد فاصله بین هدف و فرستنده و ابعاد هدف و آنتن فرستنده می باشد.

اولین و مهمترین عاملی که باعث پنهان ماندن هدف از دید رادار میشود، کاهش سطح مقطع راداری می باشد. جدول (۱-۱) سطح مقطع راداری بعضی از اجسام را نشان می دهد.

جدول (۱-۱) سطح مقطع راداری تعدادی از اجسام [۱]

اشیاء	سطح مقطع راداری (m ²)	سطح مقطع راداری (db)
پرنده	۰/۰۱	-۲۰
انسان	۱	۰
اتاقک کشتی	۱۰	۱۰
اتومبیل	۱۰۰	۲۰
کامیون	۲۰۰	۲۳
انعکاس دهنده زاویه ای	۲۰۳۷۹	۴۳/۱

درواقع استفاده از سطح مقطع راداری مناسب باعث می شود که امواج رادار طوری منعکس شوند که تجهیزات راداری، انعکاس آنها را دریافت نکنند.

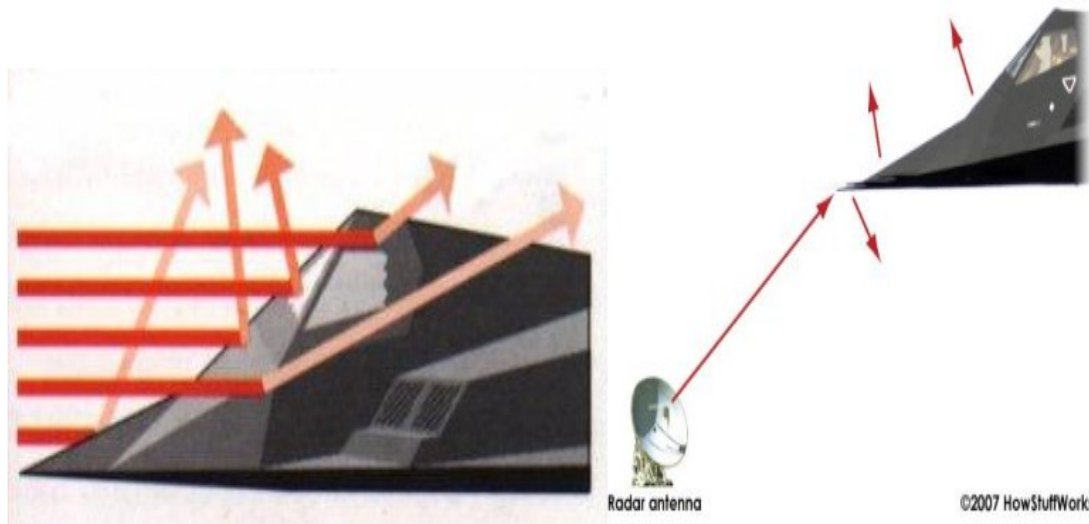
۴-۱ انواع روش های کاهش سطح مقطع راداری

همانطور که در قسمت قبل ذکر شد روش های مختلفی برای کاهش سطح مقطع راداری استفاده می شود که در این قسمت توضیح می دهیم

۱-۴-۱ شکل دهی

با شکل دهی به هدف امواج رادار در جهت هایی به غیر از امتداد رادار منحرف می شوند. شکل دهی هدف بیشتر در قسمتی از هدف که در معرض تابش امواج الکترومغناطیسی است و همچنین لبه های هدف صورت میگیرد. همانطور که میدانیم زاویه تابش و زاویه انعکاس نور به یک سطح صاف با یکدیگر برابر می باشند در حالیکه زاویه تابش و انعکاس یک دسته پرتو موازی به یک سطح ناصاف و خمیده همواره متفاوت است و این اصل همان فناوری کاهش سطح مقطع به کمک تغییر شکل می باشد. شکی نیست که با منحرف کردن تمامی موج انتشار یافته شده در یک مسیر میتوان شانس دریافت امواج را در زمین برای آنتن های زمینی کاهش داد. هدف از شکل دهی این است که لبه ها و سطح هدف به نحوی آرایش و شکل دهی گردد که انرژی تابیده شده مطابق شکل (۱_۱) را در غیر از جهات رادار پراکنده شود. این پراکنده شدن امواج در جهتی مخالف جهت سیگنال ارسالی از رادار می باشد، که این موضوع باعث می شود رادار ، انعکاس امواج را دریافت نکند و در نتیجه نتواند موقعیت هدف را شناسایی کند. استفاده از بریدگی های بسیار ریز صاف در بدنه هدف مانند سطح یک سمباده، موجب می شود که بازتاب از سطح بدنه به قدر کافی کاهش یابد. از نمونه های شکل دهی می توان به ایجاد زاویه مخروطی که در جلوی هدف نظیر موشک و هواپیما صورت می گیرد، اشاره کرد. در هواپیما ها این حالت را با انحنا دادن بالها به سمت عقب با

زاویه زیاد به وجود می آورند. البته این روش فقط برای رادارهای مونواستاتیک مصداق دارد و اگر رادارهای بایاستاتیک باشند باید تغییرات زیادی در شکل دهی هدف صورت گیرد.



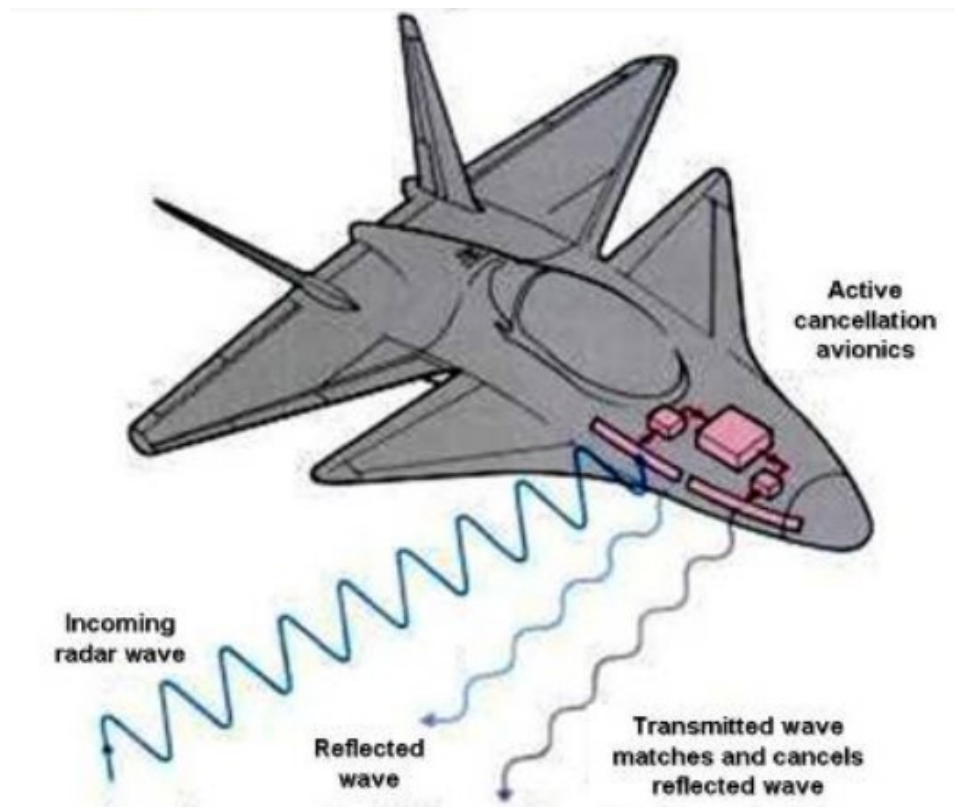
شکل (۱-۱) کاهش سطح مقطع راداری در هواپیمای F117 [۲]

۱-۴-۲ روش حذف فعال

در روش حذف فعال سطح هدف که موج بر آن برخورد میکند در همان لحظه موجی با همان ویژگی و با فازی مخالف از سطح خود ساطع می سازد که باعث حذف شدن موج ورودی می شود. باید مشخصات این دو موج ورودی و ساطع شده از جمله دامنه و طول موج کاملاً شبیه هم و در فاز مخالف یعنی دارای اختلاف فاز 180° باشند برای انجام این کار از یک مدار فعال استفاده می شود تا محدوده ی فرکانسی و محدوده ی زاویه تنظیم شود. یکی از مشکلات این روش همزمانی این دو موج است یعنی دقیقاً در همان لحظه که موج به سطح برخورد می کند باید موجی از سطح ساطع شود و همچنین به دلیل وابستگی به طول موج محدودیت پهنای باند هم دارد و اینکه در فرکانس های بالا تغییر بسیار کوچک در شکل

جسم تاثیر زیادی بر موج می گذارد و این روش برای فرکانس های پایین مناسب است دقیقا

در فرکانس هایی که روش جاذب ها و روش تغییر شکل سطوح ناتوانند [۳-۴]



شکل (۲-۱) نمونه یک هواپیما که از روش حذف فعال استفاده میکند [۴]

۳-۴-۱ روش حذف غیر فعال

ایده اصلی در این روش این است که منبع اکویی معرفی داریم که دامنه و فاز آن می تواند به گونه ای تنظیم شود که منبع اکوی دیگر را حذف کند. در واقع طراحی جسم بایستی به گونه ای باشد که سیگنال بازتابی از قسمتی از هدف، سیگنال بازتابی قسمت دیگر را خنثی کند. این روش برای اهداف به نسبت ساده میتواند به طور کامل انجام شود، به شرط آنکه نقطه بارگیری بر روی بدنه، قابل شناسایی باشد. با طراحی مناسب سطح میتوان حفره هایی به صورت تله ایجاد نمود تا عمل خنثی سازی امواج صورت گیرد. در این روش ممکن است با تغییر کمی در فرکانس یا راستای انتشار امواج،

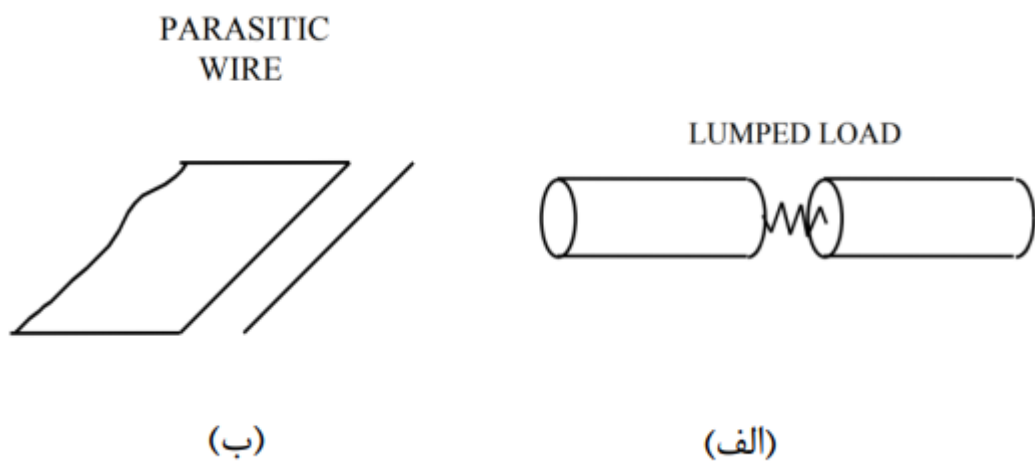
عمل خنثی سازی حتی به تقویت امواج منجر گرد در نتیجه حذف غیرفعال به عنوان یک تکنیک

کاهش سطح مقطع راداری در بیشتر موارد کنار گذاشته شده است [۳ و ۴]

در روش حذف غیر فعال، از یک پراکنده کننده ی ثانویه استفاده می شود که در موج های بازتاب شده

از سطح اختلال ایجاد کند. این روش در پهناهای باند فرکانسی و پهنا زاویه ای بسیار محدود پاسخ می

دهد. برای مثال می توان از عناصر اخلا لگر و بار های لامپ استفاده کرد (شکل ۱-۳).



شکل (۱-۳) پراکنده های ثانویه (الف) بار های لامپ (مقاومتی) (ب) خط اخلا لگر [3]

۴-۴-۱ استفاده از صفحات سالیسبری^۱

این صفحات، صفحاتی مقاومتی با مقاومتی برابر با امپدانس ذاتی فضای آزاد می باشند، که

مطابق با شکل (۴-۱) در فاصله $\lambda / 4$ از صفحه ی زمین قرار می گیرند. با توجه به این

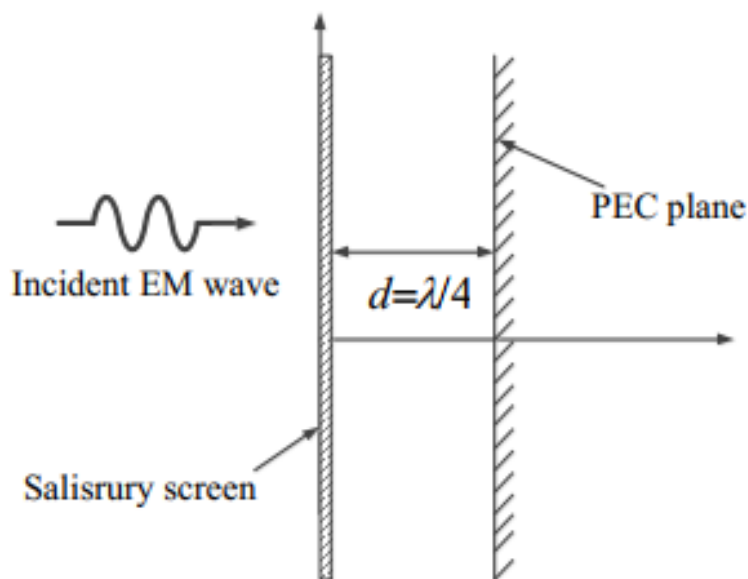
فاصله و اتصال کوتاه بودن زمین به مدار باز تبدیل شده و امپدانس بی نهایت ایجاد می شود

و در کنار امپدانس ذاتی فضای آزاد، مقدار ورودی، همان امپدانس آزاد بدست می آید.

طراحی این ساختار به خاطر معلق بودن صفحه ی مقاومتی در هوا مشکل است. از سوی

^۱ Salisbury screen

دیگر به خاطر تک لایه بودن دارای پهنای باندهای باریک است و زاویه تابش به زاوایای نزدیک به عمود محدود می شوند. برای بهبود این طرح ، جاذب جوامن^۱ که از چند صفحه مقاومتی که در فاصله $\lambda / 4$ از هم قرار داشتند ، معرفی شد . استفاده از این جاذب برای سطوح متحرک دشوار می باشد [5-7]



شکل (۴-۱) نمایش جاذب با صفحه سالیسبری [7]

۵-۴-۱ استفاده مواد جاذب

مواد جاذب راداری (RAM)^۲ با جذب موج و تلف کردن آن باعث کاهش امواج برگشتی به سمت رادار شده و باعث کاهش سطح مقطع راداری می شود . اما این روش باعث افزایش وزن و حجم جسم میشود مواد جاذب می توانند به دو صورت رنگ پوششی و ساختار پوششی باشند و

^۱ Jaumann absorber

^۲ Radar Absorbent Material

از معایب این روش بیشتر بودن سطح برگشتی از سطح جسم به فضای اطراف نسبت به روش دیگر کاهنده RCS می باشد. برای رسیدن به مقدار مناسب کاهش RCS باید حجم مواد جاذب را بیشتر کرده که باعث افزایش وزن ساختار می شود رنگ های جاذب امواج رادار یکی از پرکاربرد ترین روش های کاهش موج برگشتی است که برای استفاده در اشکال پیچیده مناسب است و با طول عمر زیادی می تواند بر روی سطوحی همچون عرشه ها که باید پوشیده باشند مورد استفاده قرار گیرد و به طور قابل توجهی باعث کاهش انرژی امواج برگشتی رادار می گردد.



شکل (۵-۱) استفاده از رنگ مخصوص برای جلوگیری از ورود امواج الکترومغناطیس [8]

۱-۴-۶ نانوفایبرگلاس و نانو کامپوزیت ها

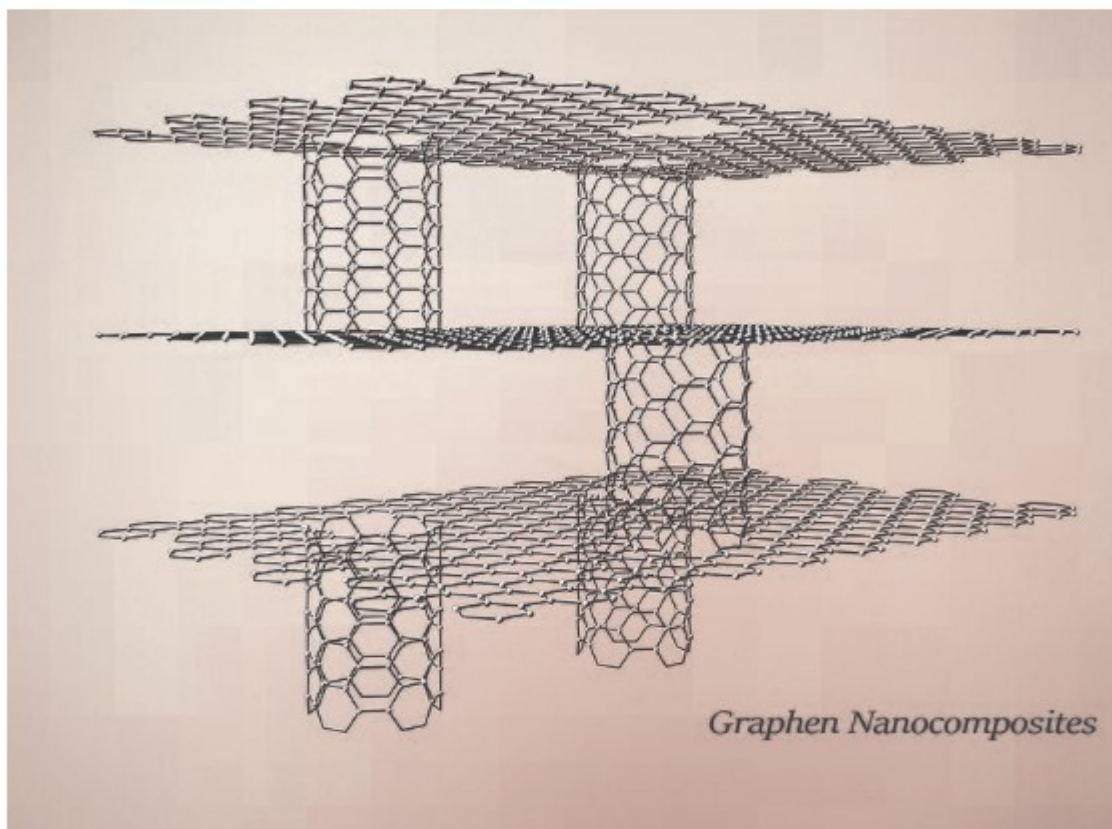
ماده فایبرگلاس با آرایش تار و پودی (ماتریسی) استحکام زیادی دارد. در این مواد، الیاف شیشه ای به صورت تارهای نازک و تحت شرایط خاصی تولید شده و به صورت متفاوتی به هم بافته می شوند این فناوری با اعمال آرایش تار و پودی بین مولکول ها، نانو فایبرگلاس های بسیار محکم و سبکی ایجاد میکند که نسبت به فایبرگلاس های امروزی برتری بسیاری دارند. از ظرفیت های

مهم نانو کامپوزیت ها استفاده از این مواد به عنوان پنهان کار ها و روکش های جاذب راداری

هست [۹]

به عنوان مثال نانو کامپوزیت های گرافنی^۱ با توجه به استحکام بسیار بالا، شفافیت بالا، و اثرات

الکتریکی آن بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است



شکل (۱-۶) نمونه یک ساختار نانو کامپوزیت گرافنی

^۱ Graphen Nanocomposites

۵-۱ روش های بررسی سطح مقطع راداری

روش های مختلفی برای تحلیل کاهش سطح مقطع راداری وجود دارد. با توجه به سختی و طولانی بودن محاسبات امروزه از روش های عددی کمتر برای بررسی سطح مقطع راداری ساختارها استفاده می شود. در این قسمت تحلیل بر اساس فاز و تحلیل بر اساس جهت دید رادار مورد بررسی قرار میگیرد.

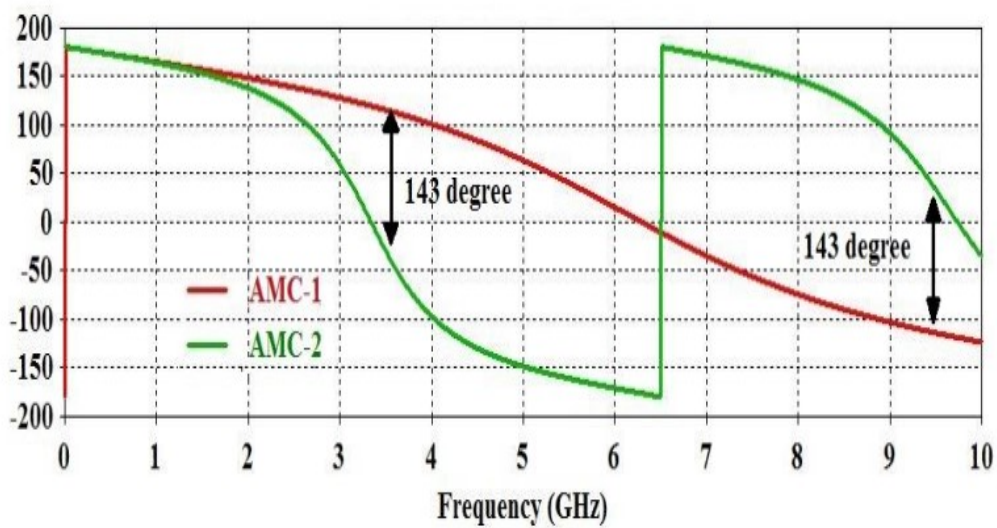
۶-۱ تحلیل بر اساس فاز

یکی از رایج ترین تکنیک ها برای ایجاد یک ساختار کاهنده سطح مقطع راداری ایجاد محیطی است که اختلاف فاز موج برگشتی ۱۸۰ درجه با موج ارسالی تفاوت داشته باشد. در این صورت مقدار موج بازگشتی به فرستنده بسیار ناچیز می شود

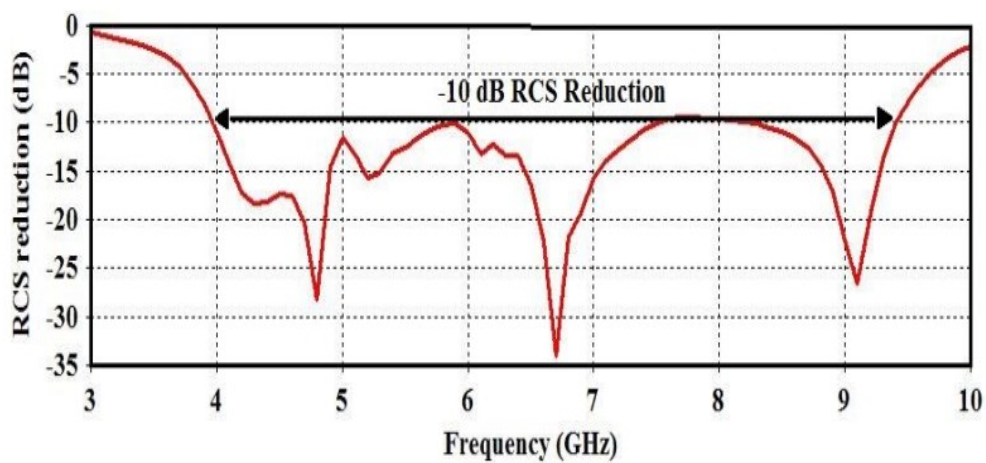
در تعاریف موجود برای کاهش سطح مقطع راداری، کاهش بیش از ۱۰ دسیبل را مطلوب در نظر می گیرند که این مقدار معادل با اختلاف فاز بین ۱۴۳ درجه تا ۲۱۷ بین موج برخوردی و موج بازگشتی می باشد

در روش کاهش سطح مقطع راداری با تحلیل اختلاف فاز باید دو نوع سلول طراحی شود که از کنار هم قرار گرفتن این دو سلول ساختار اصلی تشکیل می شود و این دو نوع سلول با اختلاف فازی که نسبت به هم دارند باید اختلاف فاز در حدود ۱۸۰ داشته باشند که ساختار نهایی دارای RCS مطلوب باشد

با توجه به اینکه پهنای باند برای کاهش سطح مقطع راداری تعریف می شود برای تحلیل بر اساس اختلاف فاز، باید در پهنای باند مورد نظر اختلاف فاز موج دو نوع سلول بیشتر از ۲۱۷ درجه یا کمتر ۱۴۳ درجه نگردد به طور مثال در شکل زیر (۷-۱) و (۸-۱) پهنای باند با تحلیل فاز مشخص شده است. [۱۰]



شکل (۷-۱) اختلاف فاز دو نوع سلول در یک ساختار [۱۱]



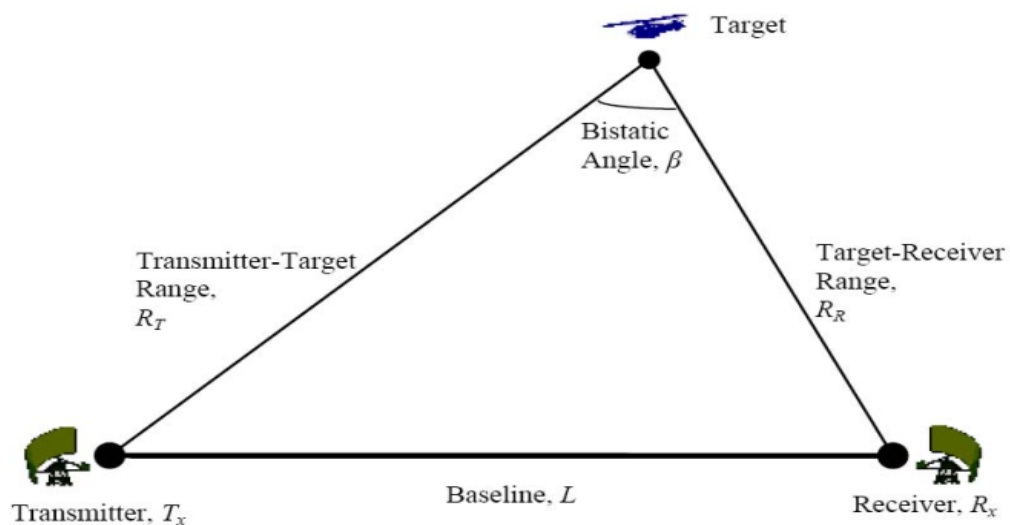
شکل (۸-۱) کاهش سطح مقطع راداری ساختار شکل قبل (۷-۱) [۱۱]

۷-۱ تحلیل کاهش سطح مقطع راداری بر اساس نقطه مشاهده

کاهش سطح مقطع راداری با توجه به جهت های قرار گیری رادار های جست و جو ، به روش های مختلف قابل بررسی است که در این قسمت سه روش مونو استاتیک^۱، با یا استاتیک^۲ و مولتی استاتیک^۳ یا روش^۴ FMB را توضیح می دهیم .

الف) روش با یا استاتیک

در رادار هایی که روش با یا استاتیک استفاده میکنند آنتن گیرنده و فرستنده در فاصلهای دور از یکدیگر قرار دارند. این امر سبب کاهش آسیب پذیری سامانه در برابر حملات هوایی میشود چرا که میتوان چندین آنتن گیرنده ی پسیو^۵ را با یک فرستنده به کار گرفت. جهت رهگیری هواگردهایی که با فرم دهی خاص بدنه از دید رادار پنهان می شوند، از این نوع رادار استفاده می شود.



شکل (۱-۹) نمونه یک رادار با یا استاتیک

^۱ Monostatic

^۲ Bistatic

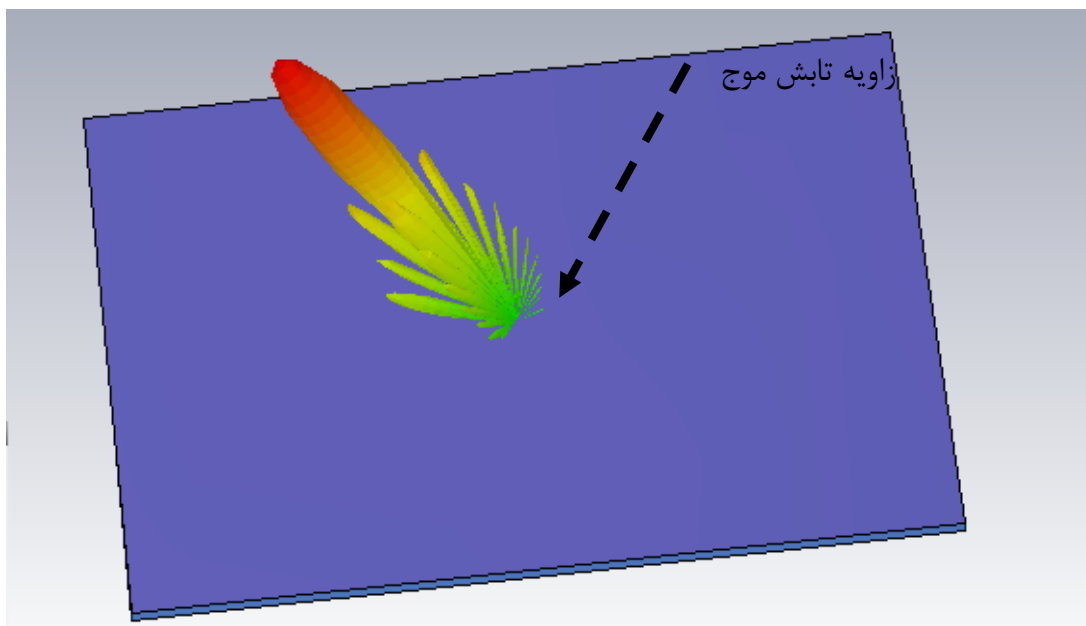
^۳ Multistatic

^۴ a figure of merit for bistatic RCS reduction

^۵ pasive

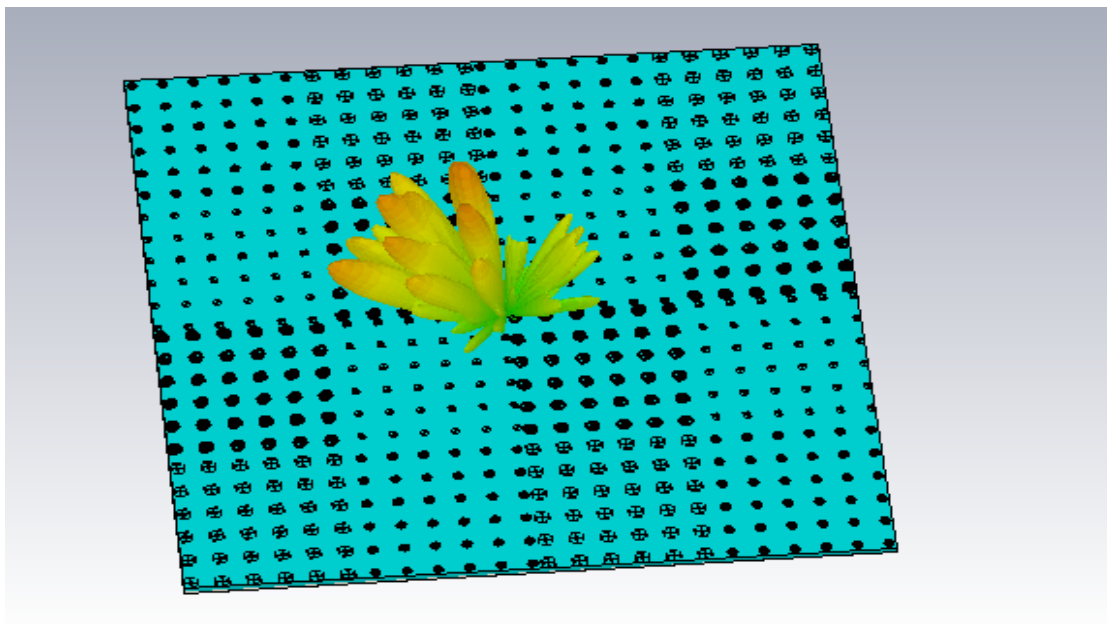
ب) روش مونواستاتیک

در روش مونواستاتیک مکان ارسال و دریافت موج از یک نقطه است یا به تعریف دیگر این رادارها دارای یک آنتن می باشند و ما در شبیه سازی از زاویه ای که موج را تابانده ایم از همان زاویه برگشتی موج رو بررسی میکنیم به طور مثال اگر موج به صورت عمود بدون هیچ زاویه ای با ساختار برخورد کند از همان زاویه برگشتی را محاسبه می کنیم ولی در بسیاری از مقالات نمودار مونواستاتیکی که برای پهنای زاویه ای استفاده میشود بر خلاف تعریف، زاویه معکوس با زاویه تابیده شده را محاسبه می کنند برای مثال اگر با موج با زاویه ۳۰ درجه تابیده شده باشد با زاویه منفی ۳۰ درجه محاسبه شده و با استفاده از روابط کاهش سطح مقطع راداری محاسبه می شود



شکل (۱-۱۰) نمونه بازتاب موج از صفحه زمین که با زاویه ۳۰ درجه تابیده شده

و بیشتر انرژی موج در زاویه (-۳۰) بازتاب میشود



شکل (۱۱-۱) نمونه ای از سطح کاهنده سطح مقطع راداری با تابش ۳۰ درجه که

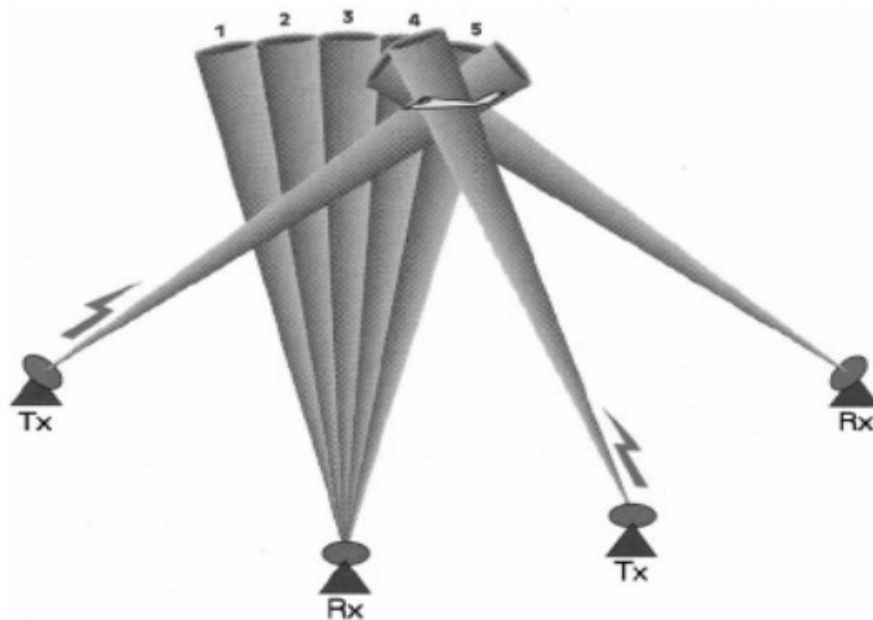
موج بازگشتی در جهات مختلف پراکنده شده

همانطور که در شکل های (۱۱-۱) و (۱۲-۱) مشخص است صحت کاهنده بودن ساختار مشخص است ولی اگر به روش مونو استاتیک مقدار سطح مقطع راداری را محاسبه کنیم برخلاف انتظار سطح مقطع راداری افزایش می یابد به دلیل اینکه ساختار کاهنده و پراکنده گر موج، امواج را با انرژی کمتر در جهات مختلف پخش می کند و مقدار کمی هم به زاویه تابش بازمی گردد ولی در روش مقایسه با یک ساختار PEC کامل، ساختار PEC تقریباً تمام موج را با زاویه معکوس در جهت مقابل باز می گرداند و در نتیجه اختلاف این دو مثبت شده و در نتیجه ساختار کاهش سطح مقطع راداری نداشته و حتی باعث افزایش سطح مقطع راداری می شود به همین دلیل در مقالات مقدار کاهش در زاویه معکوس را محاسبه و نمایش می دهند .

ج) روش مولتی استاتیک

در روش مولتی استاتیک از یک رادار فرستنده و چند رادار گیرنده استفاده می شود با این روش احتمال شناسایی هدف بسیار بیشتر شده ولی معادلات و استفاده از این روش بسیار پیچیده و نیاز به

تجهیزات پیشرفته دارد در این روش دقت بدست آوردن سرعت و جهت ساختار بسیار بیشتر از روش های دیگر است [۱۲]



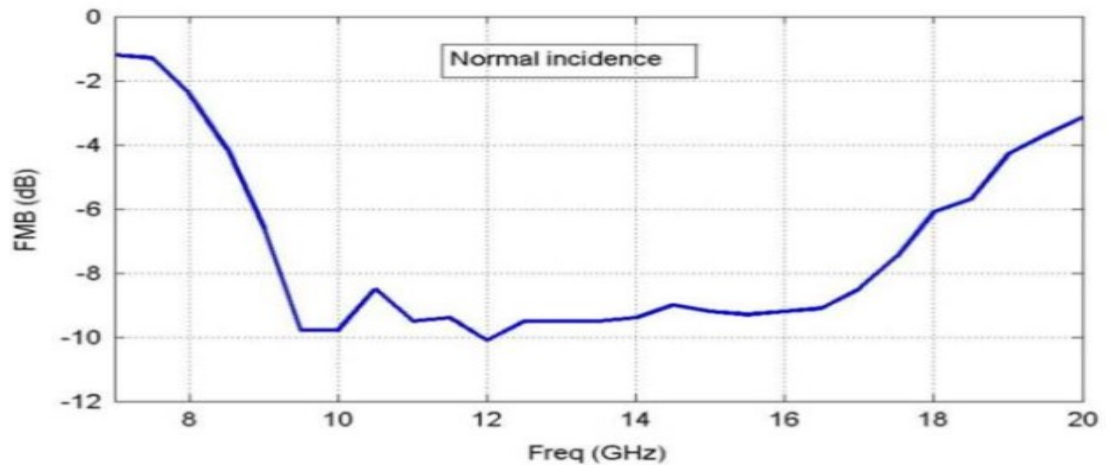
شکل (۱-۱۲) نمونه یک رادار مولتی استاتیک [۱۳]

ج) روش FMB

در روش FMB به جای مشاهده بازتاب از موج از نقطه ی خاصی تمامی امواج بازگشته را بایکدیگر مقایسه کرده و مقدار بیشینه آن را برای محاسبه و مقایسه با صفحه PEC معیار انتخاب می کنیم و مقدار کاهش سطح مقطع راداری را بدست می آوریم از مزیت مهم این روش این است که اهمیت نقطه آنتن گیرنده کم شده و طرح پیشنهادی باید در تمامی جهات موج با انرژی کمی بازتاب کند و ازسوی دیگر روش های غیر FMB برای کاهش سطح مقطع راداری ساختارهای بسیار بزرگ ، زمین پایه یا ساختار های مسطح که امکان تغییر در شکل هندسی آن وجود ندارد مانند پرتابگر موشک مناسب نیست ساختار هایی مانند کشتی ها بهتر است از روش FMB برای ارزیابی استفاده شود

$$FMB(f) = \frac{\text{Max}\{Bistatic\ RCS\ with\ FSS\ layer\}}{\text{Max}\{Bistatic\ RCS\ without\ FSS\ layer\}} \quad (2-1)$$

مطابق شکل (۱۲-۱) و بر طبق تعریف FMB ساختاری با کاهش حداقل 6 dB در گستره ی پهنای باند، کاهش سطح مقطع راداری مناسبی را دارد [۱۴]



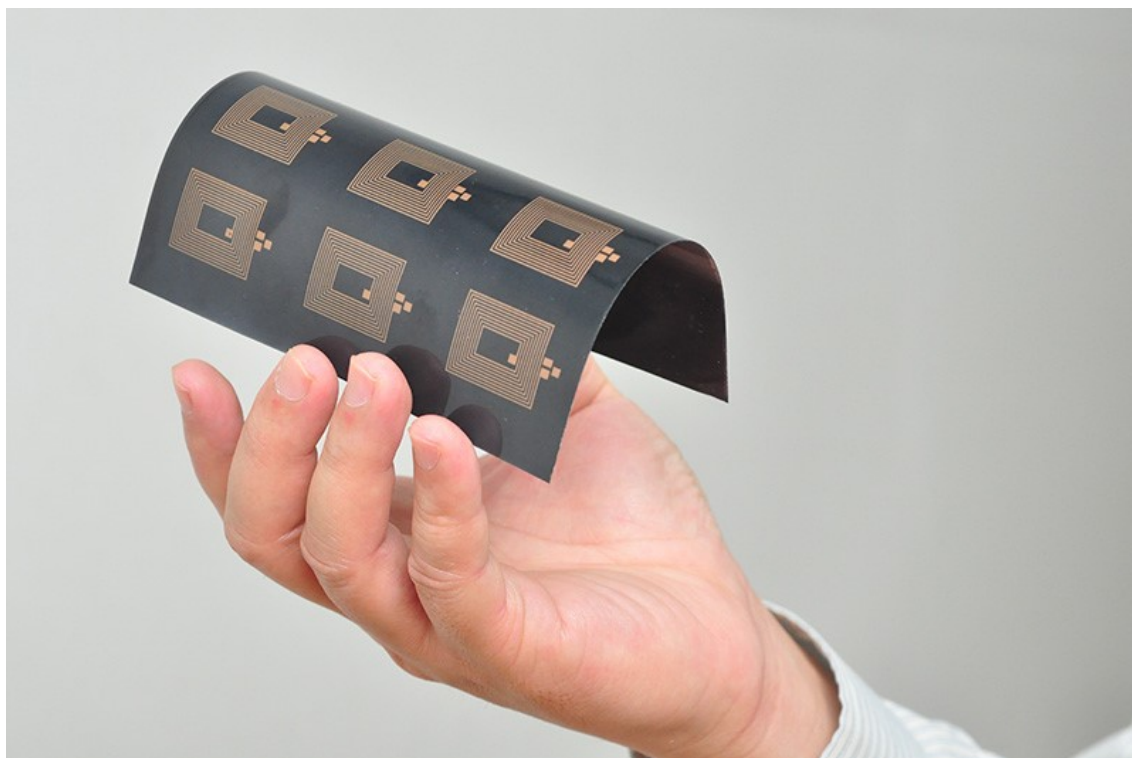
شکل (۱۳-۱) نمودار FMB برای یک ساختار کاهنده سطح مقطع راداری [۱۴]

فصل دوم

معرفی طرح پیشنهادی بر روی زیر لایه فریت

۱-۲ مقدمه طرح پیشنهادی

در این بخش به توضیح سلول های مختلف برای ایجاد اختلاف فاز پرداخته و طرح پیشنهاد شده برای پیاده سازی بر روی زیر لایه فریت معرفی می شود. از جمله ویژگی های خاص زیر لایه فریت می توان به کنترل پذیری آن توسط بایاس مغناطیسی، استحکام و چگالی مناسب که برای نصب بر روی تجهیزات مختلف مناسب است و یا انعطاف مکانیکی (البته برای نمونه خاص با ضخامت کم) اشاره کرد. شکل (۱-۲) یک نمونه زیر لایه فریت منعطف را نشان می دهد.

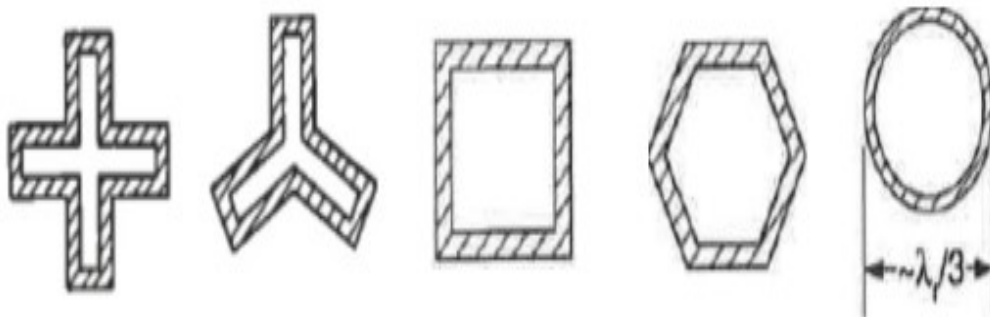


شکل (۱-۲) نمونه یک ساختار با زیر لایه فریت منعطف

۲-۲ معرفی انواع سلول

به طور کلی در ساختار های کاهنده سطح مقطع راداری برای کاهش توان برگشتی اغلب از دو روش مواد تلفاتی یا ساختار های با الگوی مشخص برای ایجاد اختلاف فاز 180° درجه استفاده می کنند.

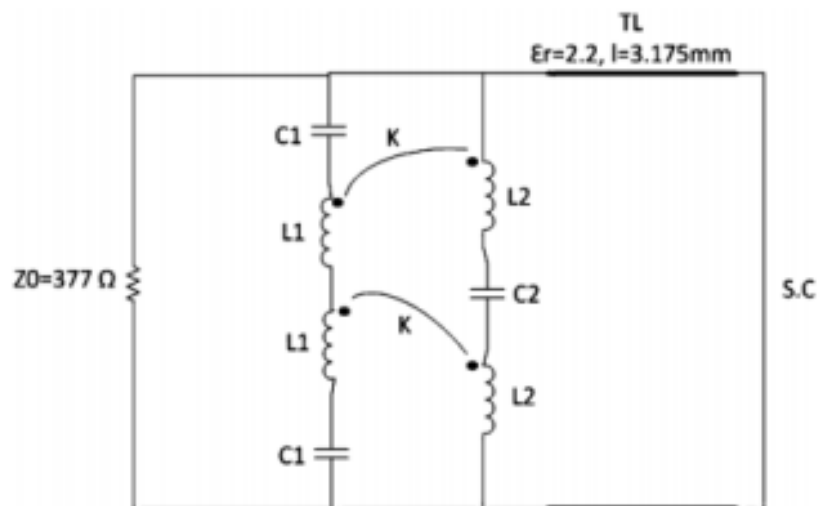
ساختار های دارای سطوح انتخابگر فرکانس (FSS^1) شامل چند سلول تکرار شونده، زیر لایه و صفحه زمین می باشند که در مجموع با طراحی نوع سلول ها و نحوه چیدمان آن ها تلاش میشود اختلاف فاز 180° درجه نسبت موج تابیده شده، فراهم شود و در نتیجه موج بازگشتی به موج ایستا تبدیل شده و بازگشت کمی به فرستنده برسد. در طی سال های گذشته سلول های مختلف برای کاهش سطح مقطع راداری معرفی شده است که هر کدام دارای ویژگی هایی هستند که با توجه به هدف طراح از ساخت شیلد، جاذب یا ساختار های کاهنده سطح مقطع راداری، طراحی شده است. سلول های طراحی شده با در نظر گرفتن زیر لایه غیر تلفاتی، اغلب مدل مداری به صورت سلف و خازن دارند و در نتیجه با تغییر ثابت دی الکتریک یا ارتفاع زیر لایه مقدار ظرفیت سلفی و خازنی آن ها تغییر کرده و در نتیجه فاز برگشتی متفاوتی در باندهای فرکانسی مختلف ایجاد می کنند. شکل (۲-۲) چند نمونه از سلول های استفاده شده در کارهای قبل را نشان می دهد.



شکل (۲-۲) چند نمونه سلول برای ایجاد اختلاف فاز [۳]

¹ Frequency Selective Surface

نمونه دیگر از سلول های تکرار شونده نیز وجود دارد که ، " سطوح انتخاب کننده ی فرکانس عناصر کوچک ^۱ (MEFSS) نام دارد. برخلاف ساختار های FSS که به زاویه موج ورودی وابسته است ساختار های MEFSS سلول هایی هستن که حساسیت آن نسبت زاویه موج ورودی بسیار کمتر است یکی از ویژگی های سلول های دارد MEFSS این است که در مد TEM کار میکند و پاسخ فرکانسی آن هارمونیک ندارد و برای تحلیل مداری مناسب تر می باشد [۱۴]



مدار نمونه یک تحلیل مداری برای ساختار MEFSS [۱۴]

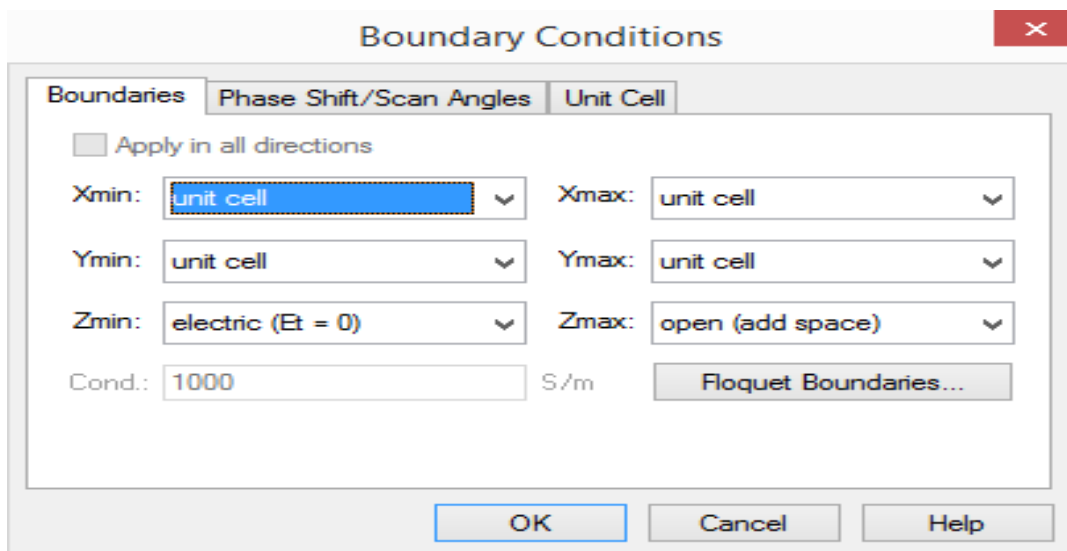
^۱ Miniaturized-Element Frequency Selective Surfaces(MEFSS)

۳-۲ نحوه شبیه سازی و محاسبه اختلاف فاز برای دو سلول

برای محاسبه فاز میتوان از دو نرم افزار^۱ HFSS یا^۲ CST استفاده کرد که در این بخش نحوه شبیه سازی به صورت مختصر برای هر دو نرم افزار توضیح داده می شود.. نکات مهم شبیه سازی فاز به شرح زیر است:

- متناوب بودن ساختار در سطح
- تابش موج صفحه ای
- حذف اثر تغییر فاز در فاصله صفحه موج تا ساختار
- استخراج اختلاف فاز

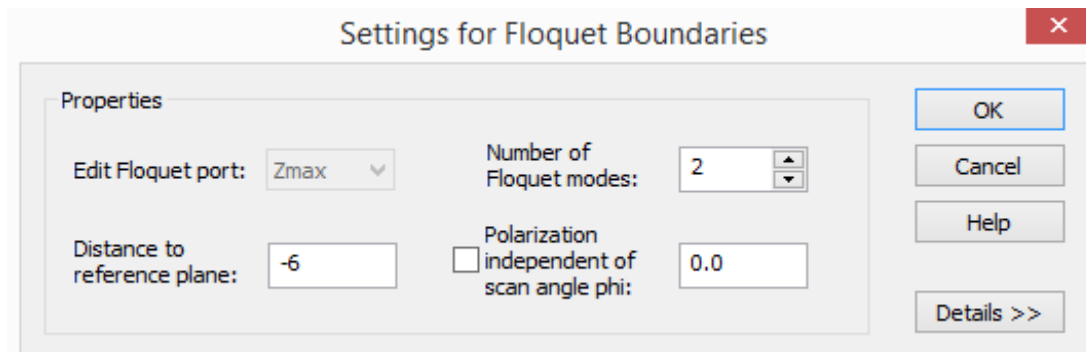
در نرم افزار CST برای متناوب بودن ساختار از شرایط مرزی (Unit Cell) باید استفاده کرد در صورتی که جهت موج در راستای محور Z باشد در شکل زیر نحوه تعریف شرایط مرزی نشان داده شده است



شکل (۳-۲) تصویر شرایط مرزی در نرم افزار CST

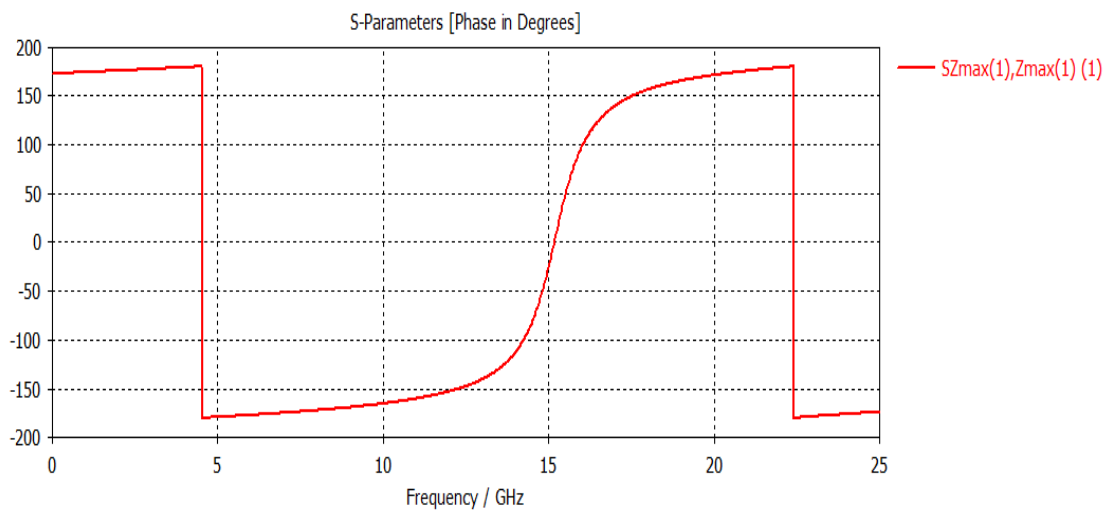
^۱ high-frequency structure simulator

^۲ CST Studio Suite



شکل (۴-۲) تصویر مشخص کردن فاصله تا صفحه موج ارسالی

برای شبیه سازی فاز از پورت Floquet استفاده می شود که در نرم افزار CST در هنگام ورود به نرم افزار با انتخاب نمایه UNIT CELL به صورت ثابت از این پورت استفاده می کند در اینجا از روش فرکانسی CST برای بدست آوردن فاز استفاده شده است

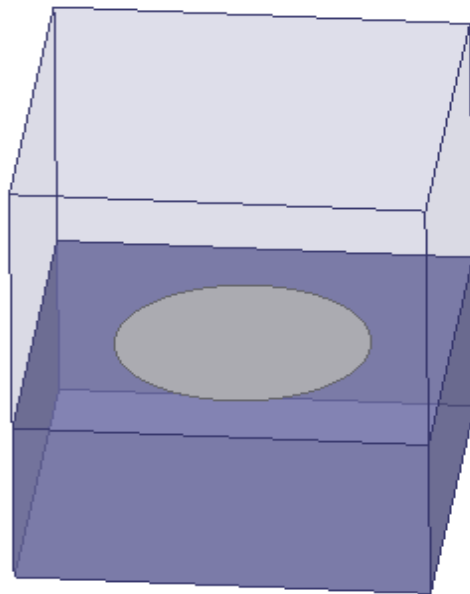


شکل (۵-۲) نمودار فاز برگشتی برای یک سلول در نرم افزار CST

در این مرحله برای یک سلول مقدار فاز برگشتی را مطابق شکل (۵-۲) محاسبه کردیم حال باید برای سلول دیگر هم این روند را تکرار کنیم و سپس اختلاف فاز دو سلول را محاسبه کنیم. در اینجا باید

دقت کنیم واحد فاز در دو نمودار یکی باشد در این نمودار واحد فاز بر حسب درجه بیان شده است و هرچند در بعضی نرم افزارها واحد بر حسب رادیان بیان می شود.

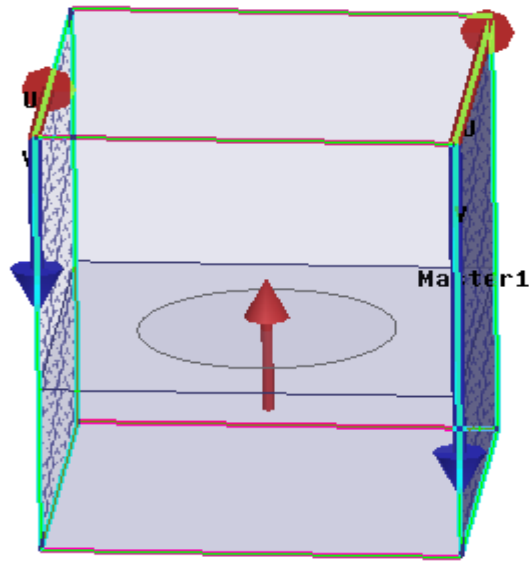
در نرم افزار HFSS برای متناوب کردن ساختار از روش حل المان محدود^۱ باید استفاده کرد و نیاز به یک قاب بدون جنس برابر با سلول با ارتفاع بیشتر دارد شکل (۶-۲) نحوه شبیه سازی یک سلول را در نرم افزار HFSS نشان می دهد.



شکل (۶-۲) نمای یک قاب برای تک سلول

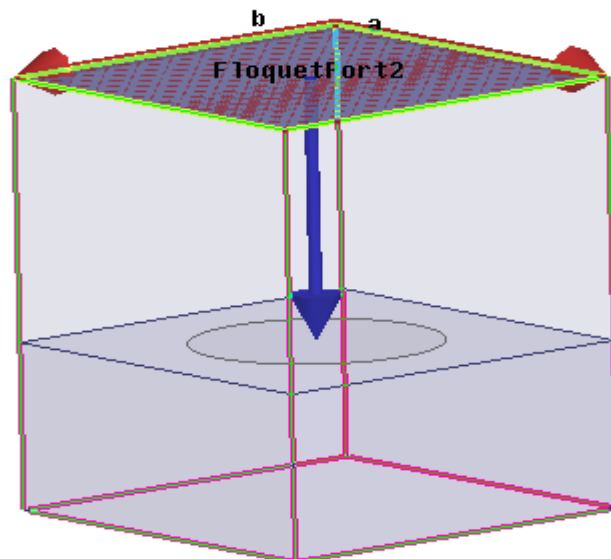
باید توجه داشت که وجه های جانبی قاب را باید دو به دو به صورت "Master" و "Slave" مطابق با شکل (۷-۲) تعریف کرد.

^۱ finite element method



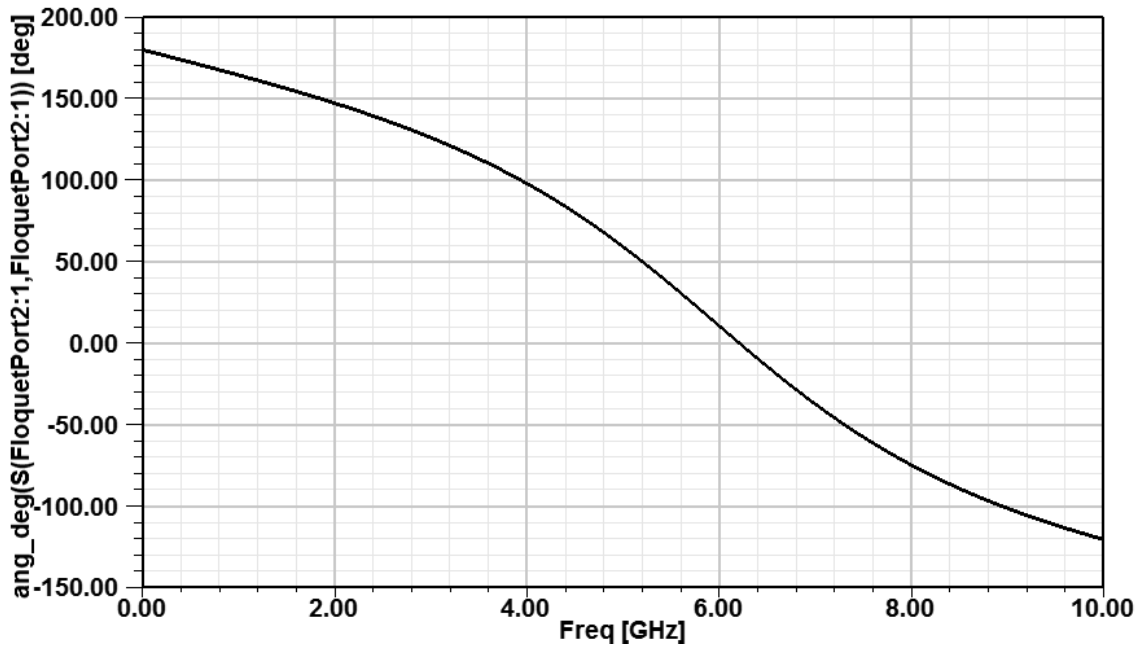
شکل (۷-۲) تصویر انتخاب دو وجه برای “Slave” و “Master”

برای تعریف صفحه موج تابش وجه بالایی قاب را از نوع فلوکه پورت تعریف می کنیم. لازم به ذکر است جهت موج و مقدار فاصله تا صفحه ارسال موج در این قسمت باید مشخص شود نشان گر آبی در شکل (۸-۲) مقدار فاصله را مشخص میکند.



شکل (۸-۲) تصویر تعریف پورت در نرم افزار HFSS برای تحلیل فاز یک سلول

در تصویر (۹-۲) نمودار فاز برگشتی یک سلول در نرم افزار HFSS مشخص شده است برای نمایش این نمودار باید فاز S11 بر حسب درجه انتخاب شود. برای محاسبه اختلاف فاز باید اطلاعات نمودار های استخراج شده برای فاز هر سلول را در نرم افزار های جانبی مانند متلب از هم کم کرد تا نمودار اختلاف فاز بدست بیاید .

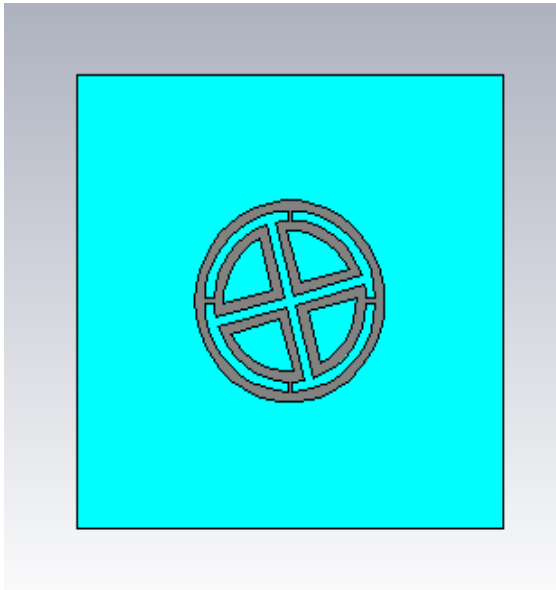


شکل (۹-۲) تصویر یک نمودار فاز برگشتی در نرم افزار HFSS

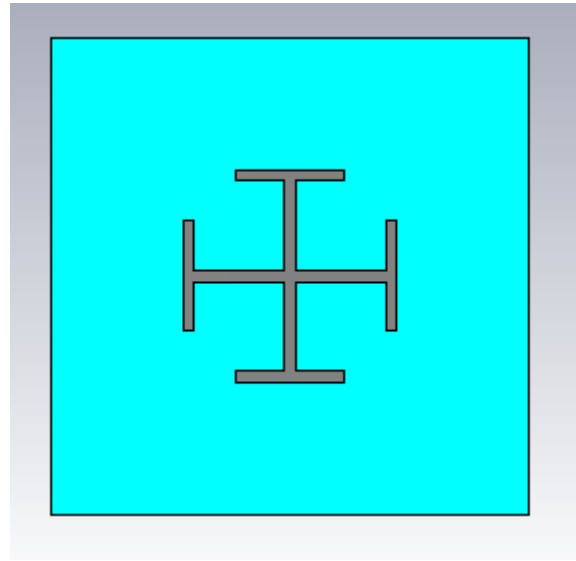
۴-۲ معرفی سلول پیشنهادی

سلول های مختلف با توجه به افزایش ثابت دی الکتریک زیر لایه ، ارتفاع زیر لایه و... رفتار متفاوتی از خود نشان می دهند در این پایان نامه ما با بررسی تغییرات فاز سلول های مختلف، به دو نوع سلول شکل (۱۰-۲) که رفتار بهتری را نشان می دهند رسیدیم.

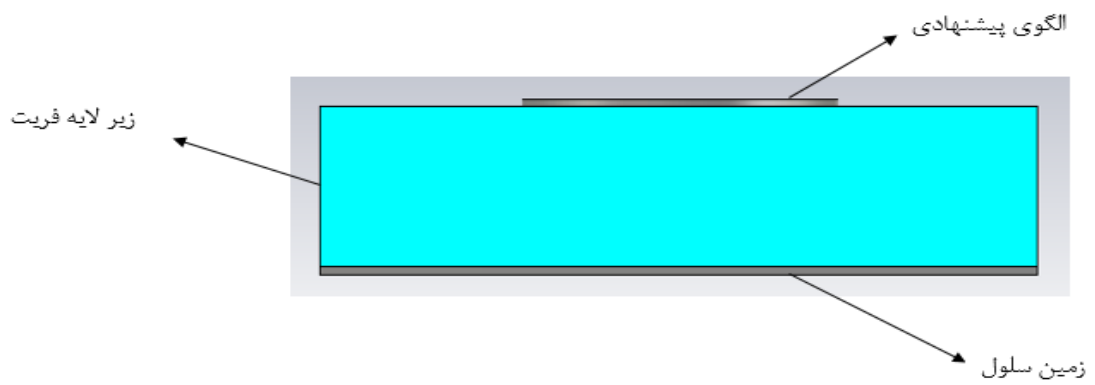
سلول پیشنهادی بر روی زیر لایه فریت YIG با ضریب گذردهی نسبی $15/3$ طراحی شده است همانطور که در بخش های بعدی خواهید دید استفاده از زیر لایه با گذردهی $15/3$ به همراه ایجاد میدان مغناطیسی در لبه های کناری ساختار ، پهنای باند فرکانسی خوبی دارد



ب.



الف

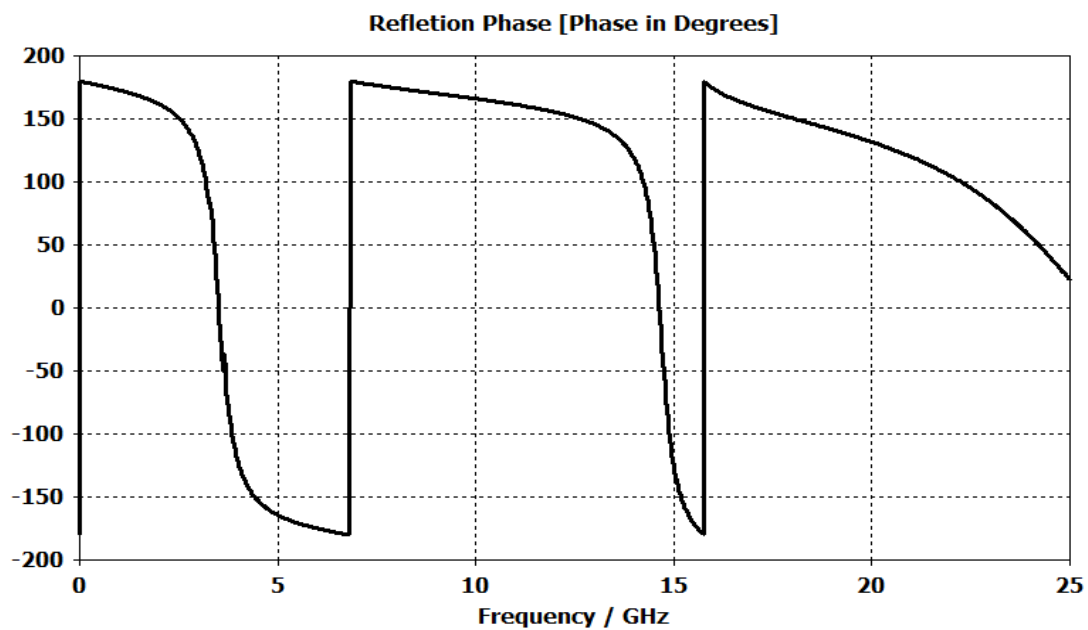


ج

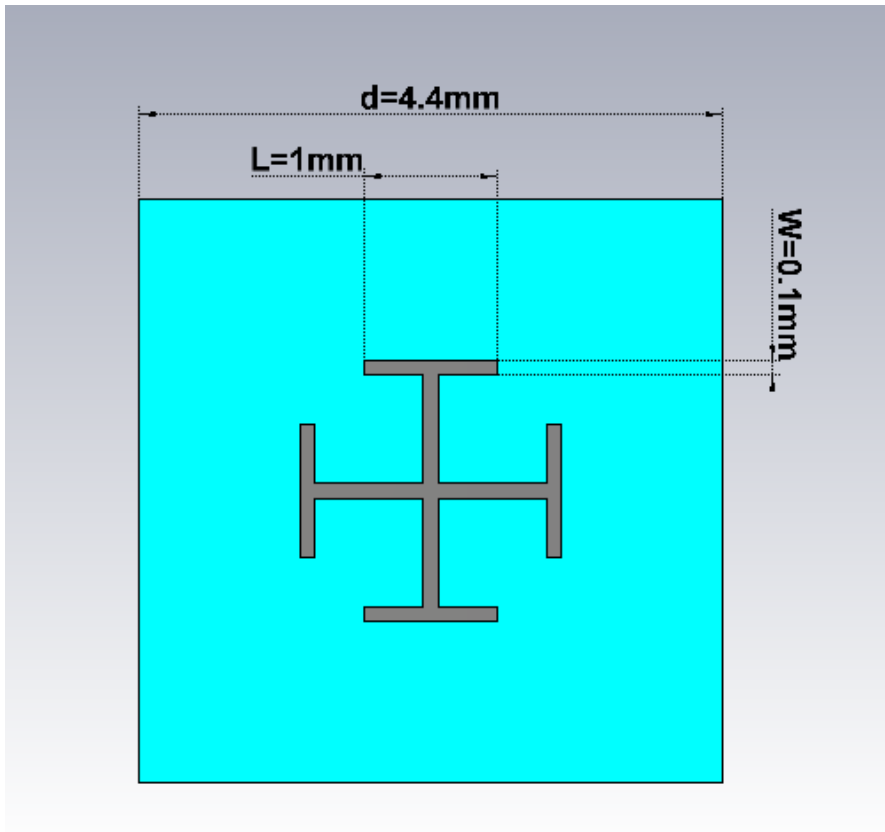
شکل (۲-۱۰) تصویر سلول های پیشنهادی در این طرح

یکی از مزیت های این دو سلول داشتن پارامتر های فراوان برای تغییر مقدار سلفی و خازنی ساختار جهت بهینه سازی جواب است

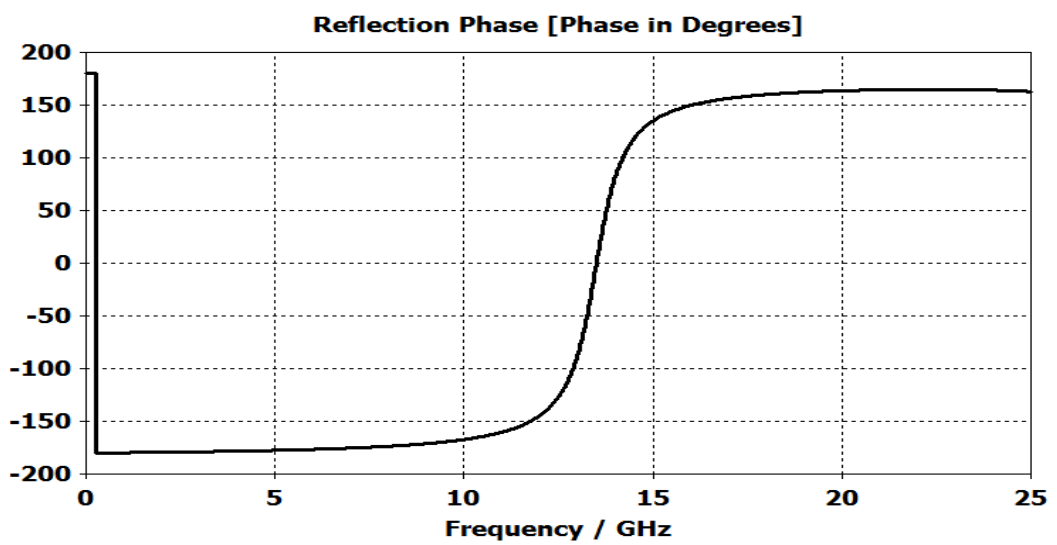
شکل (۱۱-۲) و (۱۳-۲) رفتار فاز برگشتی از سلول های (الف) و (ب) را نشان می دهد در گستره ی پهنای باند سلول ها، در نقاطی با توجه به مقادیر ظرفیت سلف و خازن و رفتار رزونانس مشاهده می شود



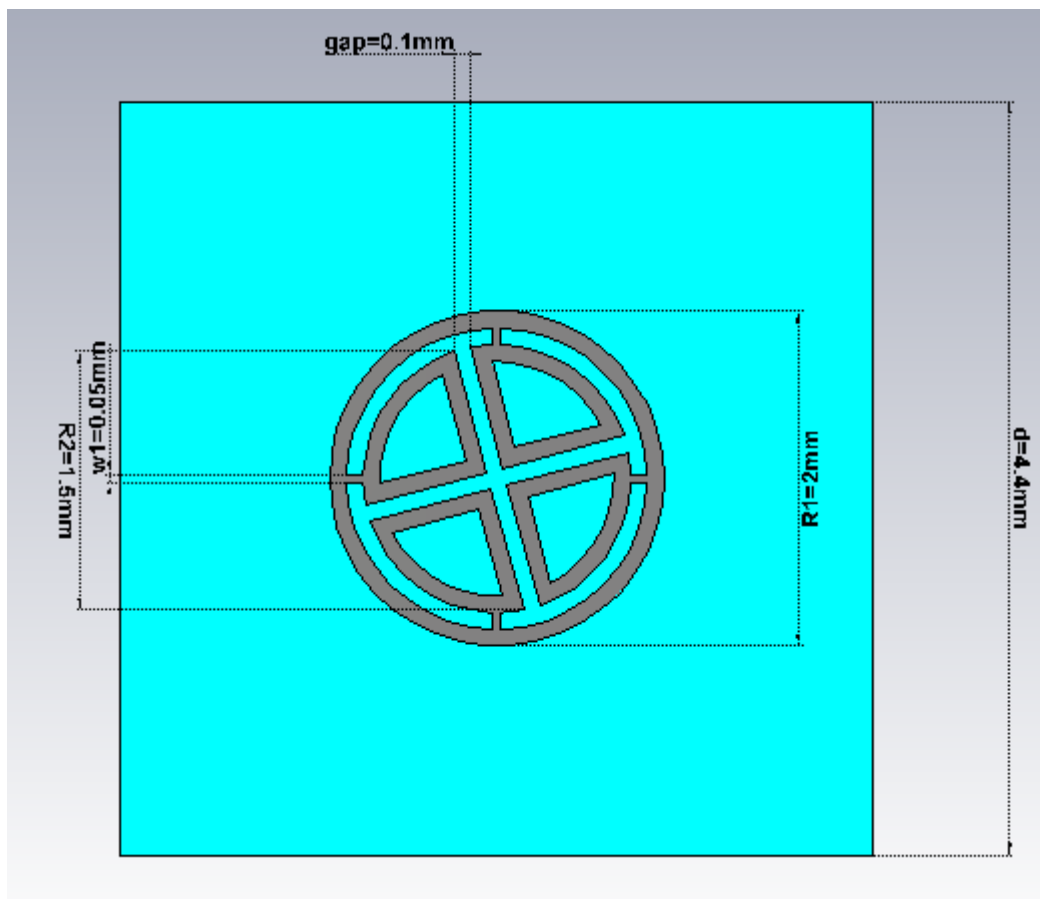
شکل (۱۱-۲) شبیه سازی فاز برگشتی برای سلول (الف)



شکل (۲-۱۲) مقادیر و مشخصات سلول (الف)

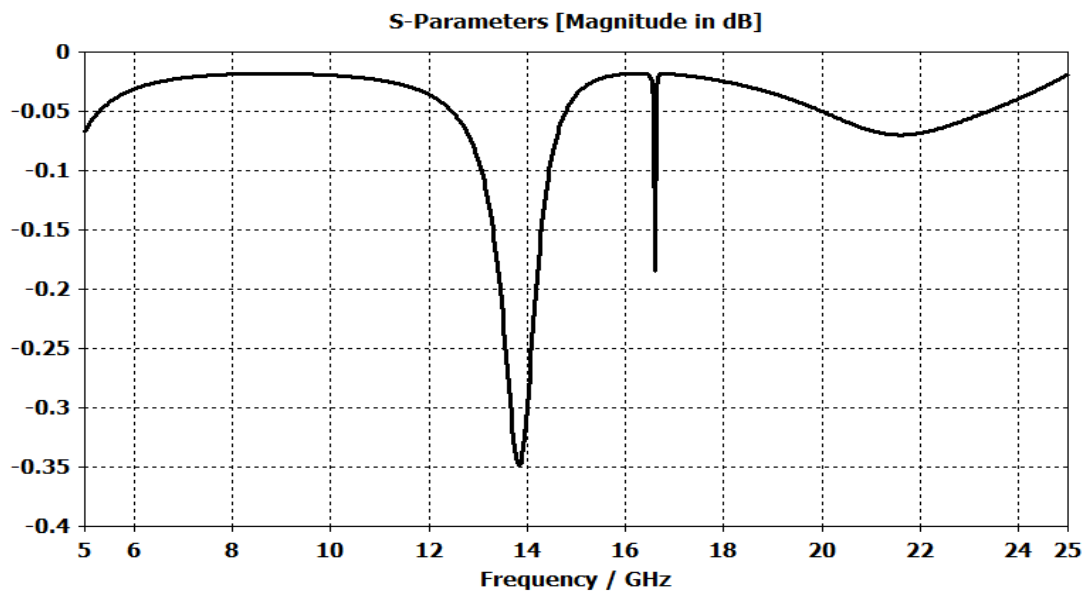


شکل (۲-۱۳) شبیه سازی فاز برگشتی برای سلول (ب)

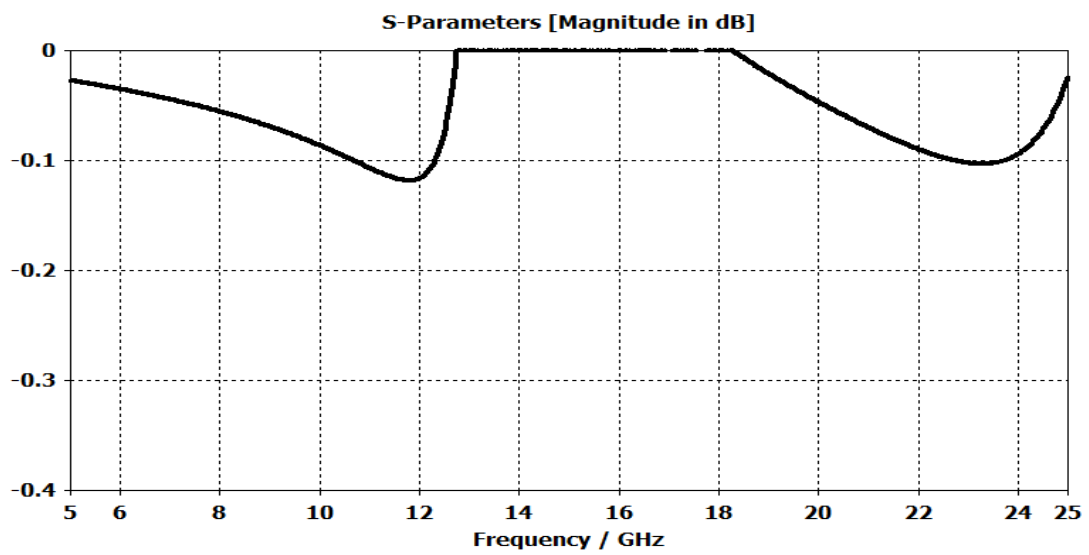


شکل (۲-۱۴) مقادیر و مشخصات سلول (ب)

در نحوه شبیه سازی مقدار دامنه S11 نیز مهم است زیرا اختلاف دامنه هم باید مقدار ناچیزی باشد که انرژی موجی برگشتی بسیار کم باشد در شکل زیر مقدار دامنه S11 نشان داده می شود که اختلاف ناچیز آن مشخص است



شکل (۲-۱۵) شبیه سازی دامنه S11 برای سلول (الف)

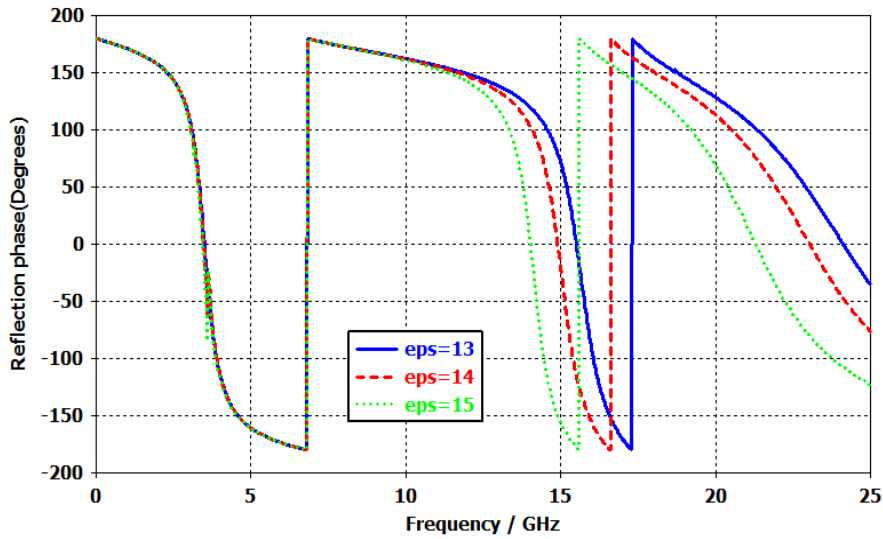


شکل (۲-۱۶) شبیه سازی دامنه S11 برای سلول (ب)

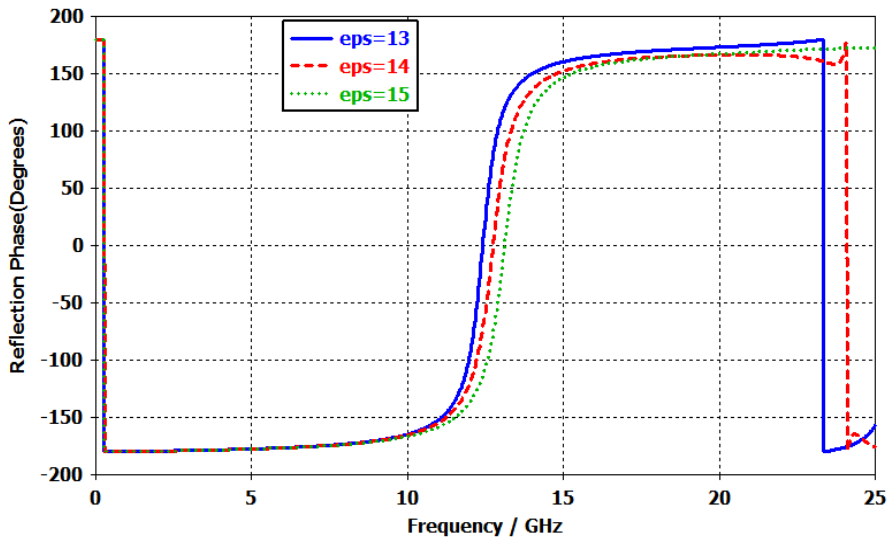
۵-۲ بررسی عوامل موثر بر فاز برگشتی

□ بررسی تاثیر گذردهی الکتریکی زیر لایه

در شکل (۱۷-۲) و (۱۸-۲) مشخص است که با توجه به افزایش گذردهی نسبی فرکانس تشدید ساختار جا به جا می شود.



شکل (۱۷-۲) تاثیر گذر دهی نسبی زیر لایه بر میزان فاز برگشتی (الف)

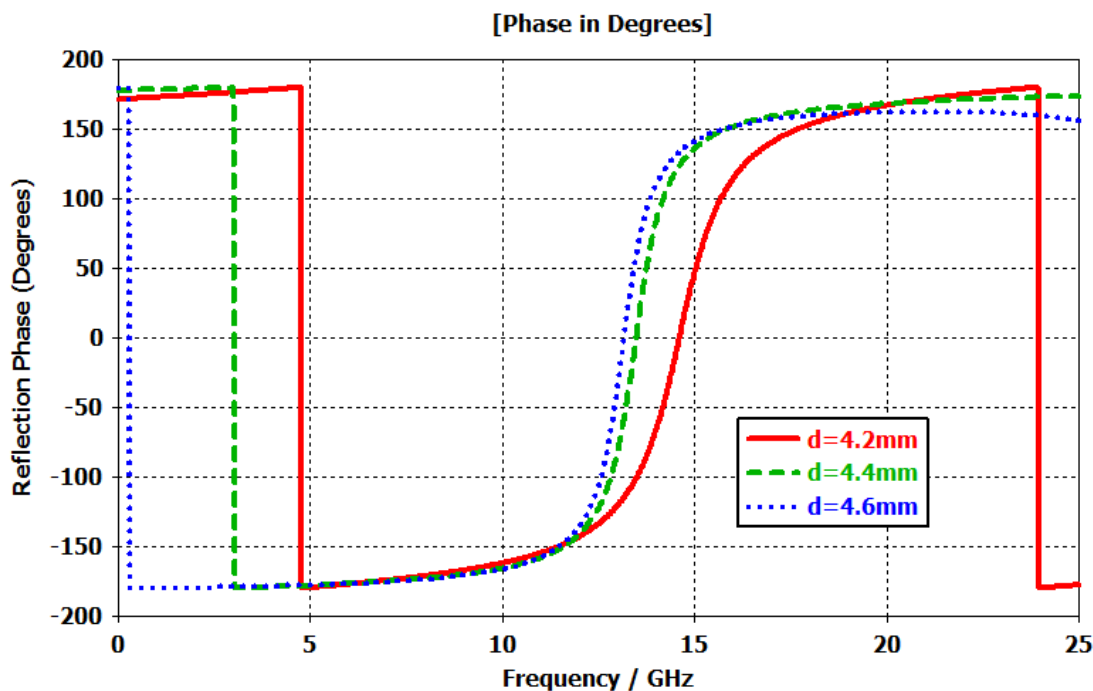


شکل (۱۸-۲) تاثیر گذر دهی نسبی زیر لایه بر میزان فاز برگشتی (ب)

□ بررسی تاثیر تغییر فاصله بین سلول ها

باتوجه به نتایج شکل (۲-۱۹) مشخص است که با توجه به فاصله بین سلول (d)، با افزایش

فاصله فرکانس تشدید سلول به سمت فرکانس پایین تر می آید

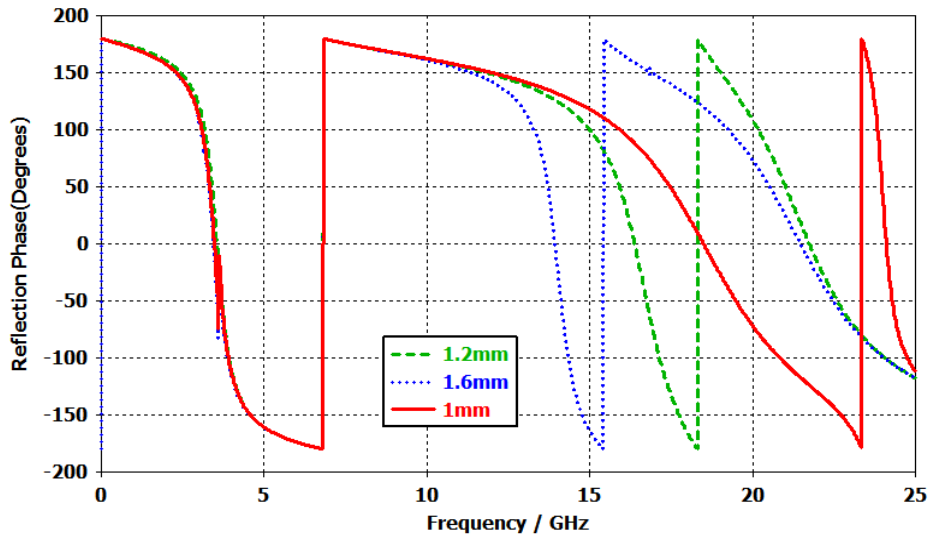


شکل (۲-۱۹) تاثیر تغییر فاصله بین سلول بر میزان فاز برگشتی

□ بررسی تاثیر تغییر طول صلیب در سلول اولیه

با توجه به شکل (۲-۲۰) مشاهده می شود که با افزایش طول صلیب فرکانس تشدید تغییر

میکند

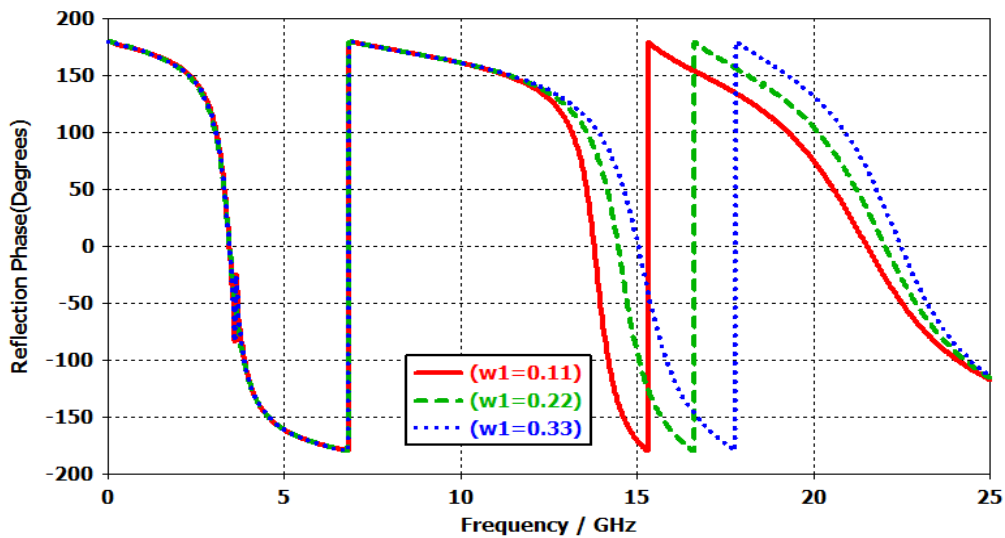


شکل (۲-۲۰) تاثیر تغییر طول صلیب برای سلول (الف) بر میزان فاز برگشتی

□ بررسی تاثیر تغییر عرض خط صلیب در سلول اولیه

با توجه به شکل (۲-۲۱) مشاهده می شود که با افزایش عرض خط صلیب (w) در سلول

(الف) فرکانس تشدید تغییر میکند

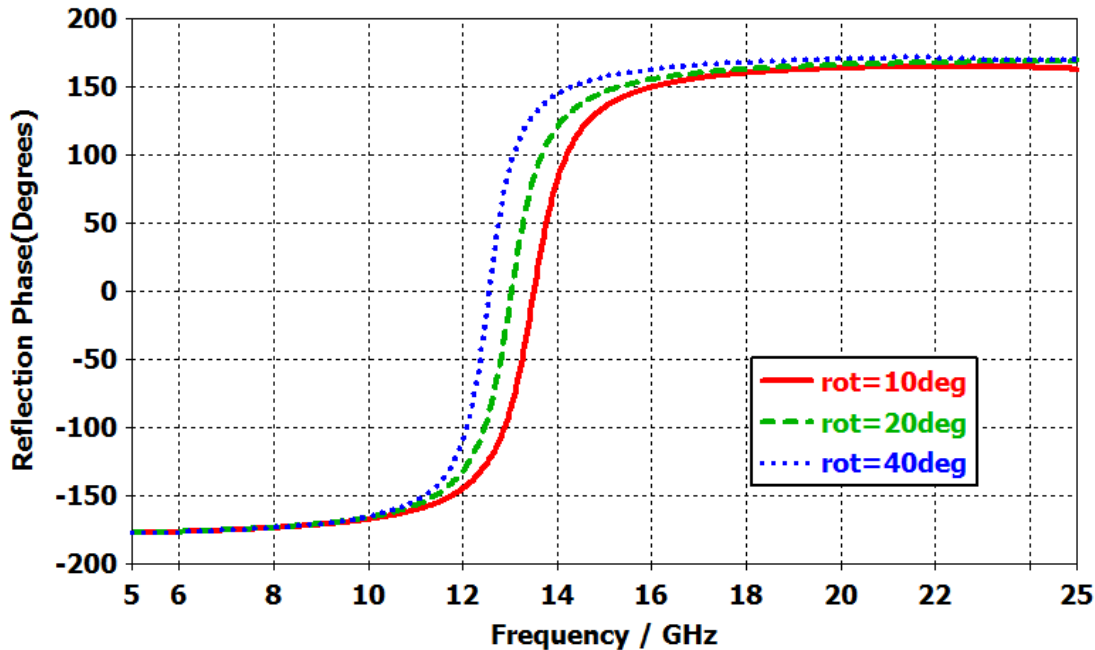


شکل (۲-۲۱) تاثیر تغییر عرض خط صلیب برای سلول (الف) بر میزان فاز برگشتی

□ بررسی تاثیر زاویه چرخش اتصال کوتاه در سلول (ب)

در سلول (ب) دایره خارجی با اتصال کوتاهی به قطاع های موجود وصل شده است که در

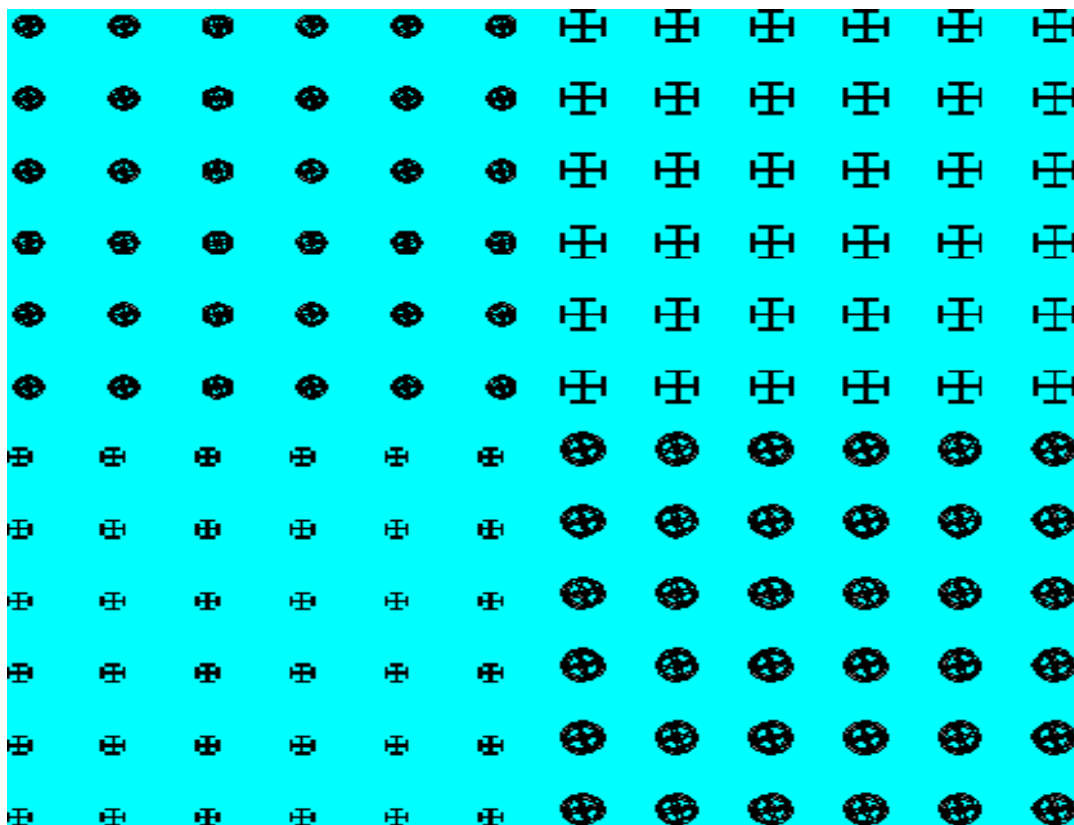
شکل (۲-۲۲) تاثیر نقطه اتصال مشخص شده است



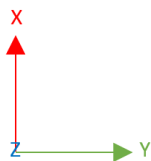
شکل (۲-۲۲) تاثیر زاویه چرخش اتصال کوتاه در سلول (ب)

۲-۶ طراحی سلول واحد با ترکیب ۴ سلول

با توجه به بررسی های صورت گرفته با دو سلول به تنهایی امکان کاهش RCS در پهنای باند زیاد وجود ندارد از این رو با ۴ سلول به طراحی پرداختیم که دو سلول دیگر تغییر یافته همین دو سلول با نسبت کوچک تر از سلول اولیه بود. با بررسی تغییرات سایز سلول و تغییر مقدار موهومی امپدانس، مشاهده می شود فرکانس نقاط تشدید ساختار جا به جا میشود البته نسبت کوچک شدن سلول بسیار حساس در نتیجه نهایی است و در بعضی مقالات جدید از چند سلول با نسبت مختلف برای رسیدن به جاذب مورد نظر استفاده می کنند تا مقدار انرژی برگشتی بسیار کم شود [۱۴].



شکل (۲-۲۳) تصویر طرح پیشنهادی با ۴ نوع سلول

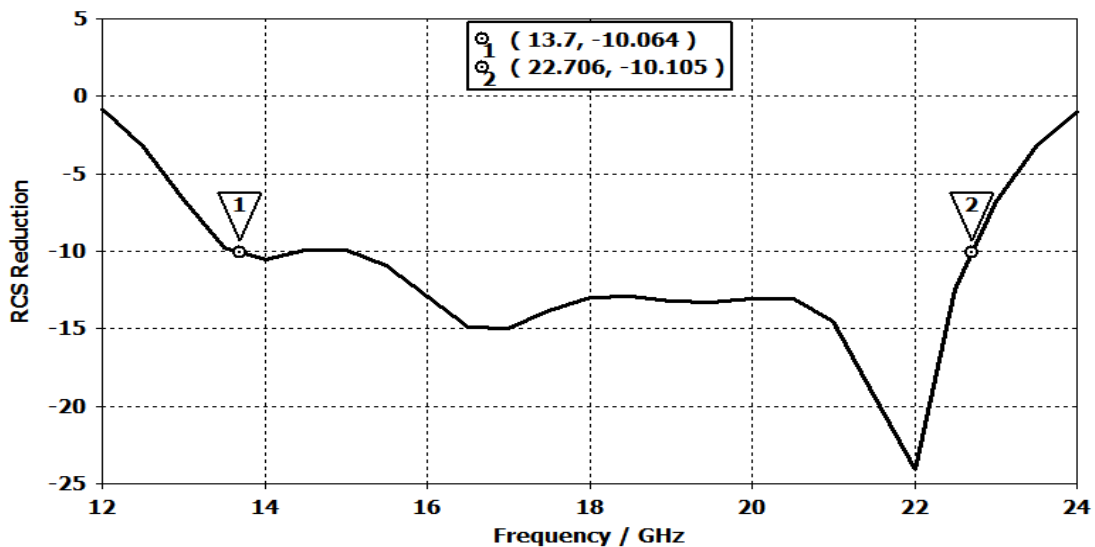


نحوه چیدمان طرح های کاهنده سطح مقطع راداری باید به صورت متناوب باشد تا بتوان آن را در ساختار های مختلف پیاده سازی کرد با توجه به داشتن ۴ سلول چیدمان سلول به نحوی انجام میشود که تقارن کل ساختار حفظ شود لیکن ابعاد ساختار بزرگ شده (در حدود ۴ برابر) و شبیه سازی ساختار بسیار زمان بر می شود

ساختار پیشنهادی در نرم افزار CST و در حالت "زمان" شبیه سازی شده است و برای محاسبه مقدار کاهش سطح مقطع راداری، سطح مقطع راداری ساختار با سطح مقطع راداری هادی کامل در فرکانس های مورد نظر مقایسه شده است و اختلاف آن کاهش سطح مقطع راداری را نشان می دهد

^۱ Time Domain

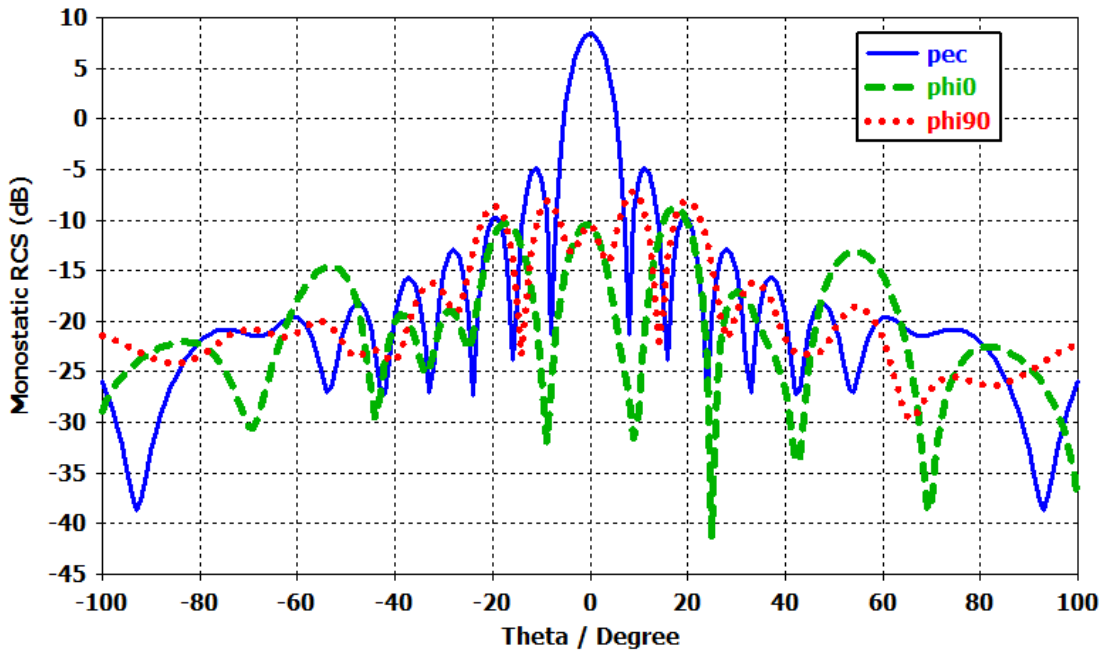
در شکل (۲-۲۴) کاهش سطح مقطع راداری بر حسب فرکانس مشخص شده است. ما در این پایان نامه توانستیم به حدود ۵۰ درصد پهنای باند در فرکانس مرکزی ۱۸ گیگاهرتز برسیم و بخشی از باند های KU و K را پوشش بدهیم.



شکل (۲-۲۴) مقدار کاهش سطح مقطع راداری بر حسب فرکانس

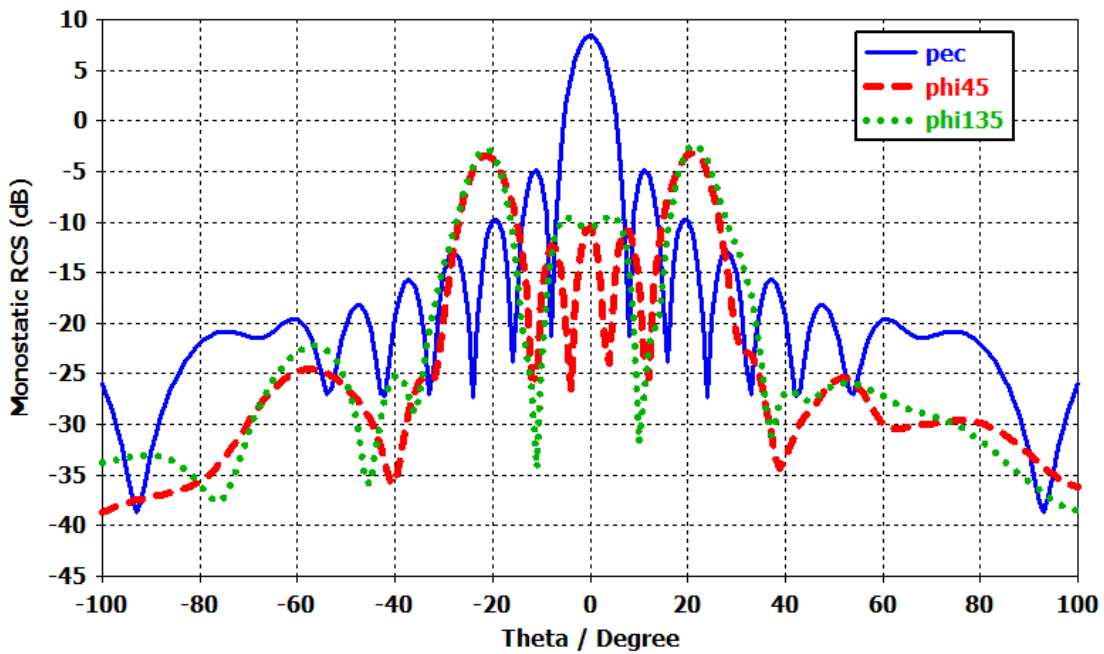
برای بررسی مونواستاتیک نمودار دو بعدی حاصل از برخورد $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ به ساختار اصلی و هادی کامل رسم و با هادی کامل مقایسه می شود در شکل (۲-۲۵) نمودار شکل دو بعدی برای $0^\circ, 90^\circ$ رسم شده است.

این شکل نشان می دهد میزان سطح مقطع راداری ساختار اصلی نسبت به هادی کامل در 0° برای فرکانس ۲۲ گیگاهرتز به اندازه ۱۸ dB، در 90° به اندازه ۱۹ dB کاهش پیدا کرده است. همچنین شکل (۲-۲۶) با $45^\circ, 135^\circ$ نشان می دهد که سطح مقطع راداری ساختار اصلی نسبت به هادی کامل در 45° به مقدار ۱۸٫۹dB و در 135° به مقدار ۱۸ dB کاهش یافته است.



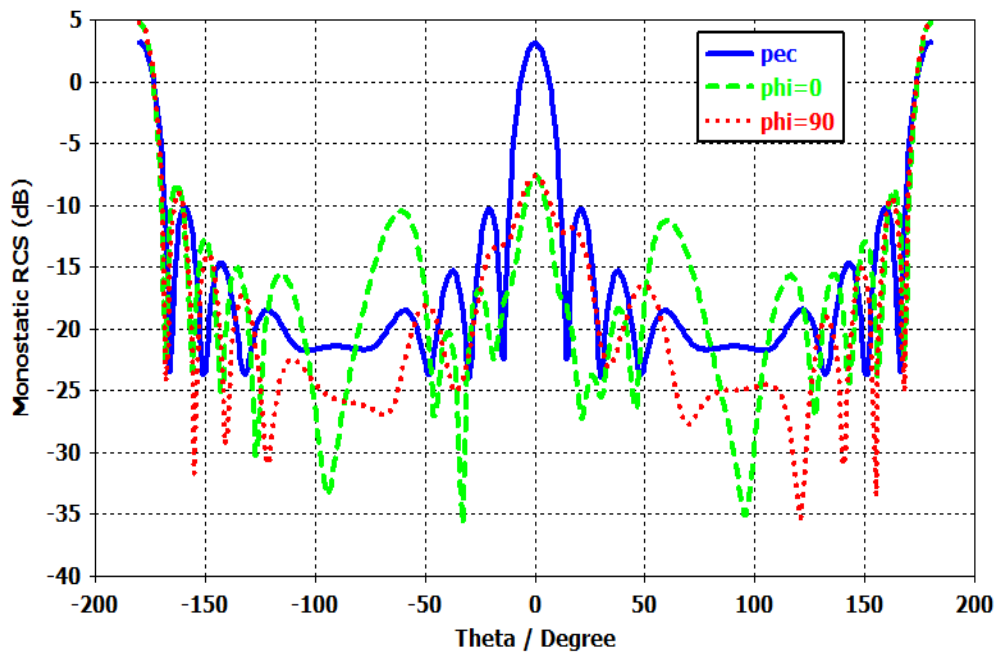
شکل (۲-۲۵) شبیه سازی الگوی تابشی مونو استاتیک دو بعدی برای $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$ در فرکانس ۲۲

گیگاهرتز



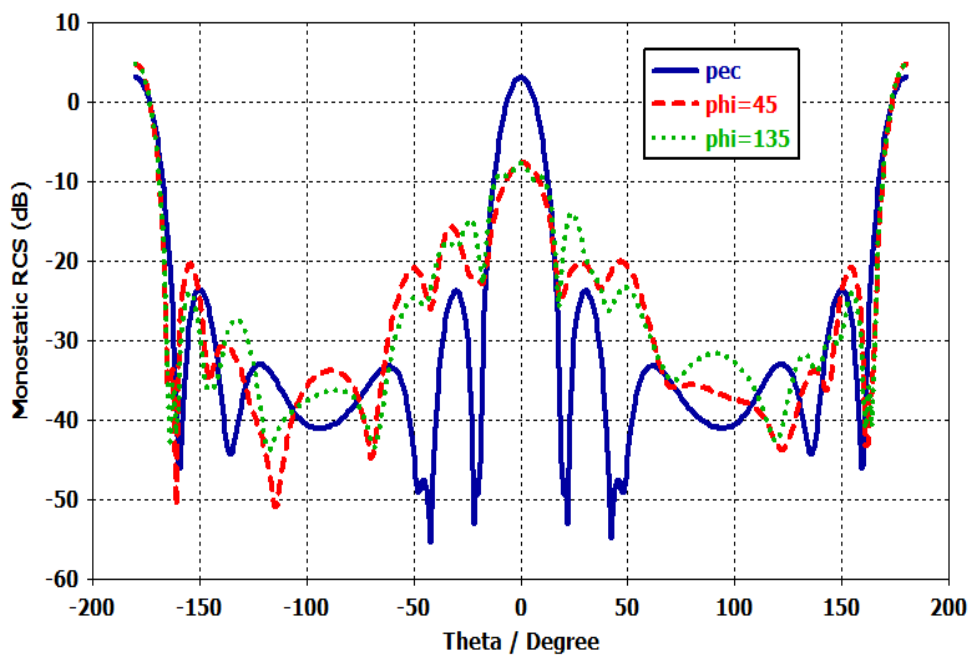
شکل (۲-۲۶) شبیه سازی الگوی تابشی مونو استاتیک دو بعدی برای $\varphi = 45^\circ, 135^\circ$ در فرکانس ۲۲

گیگاهرتز



شکل (۲-۲۷) شبیه سازی الگوی تابشی مونو استاتیک دو بعدی برای $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$ در فرکانس ۱۴

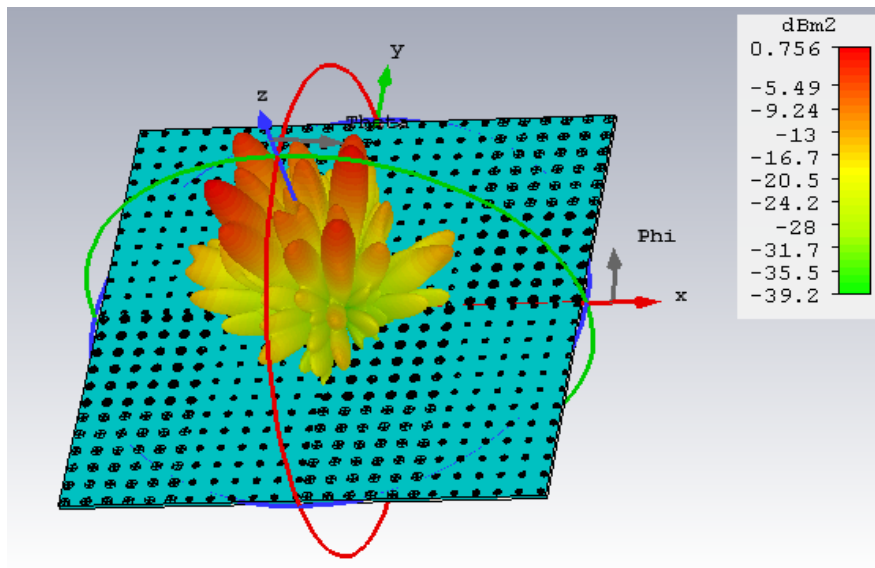
گیگاهرتز



شکل (۲-۲۸) شبیه سازی الگوی تابشی مونو استاتیک دو بعدی برای $\varphi = 0^\circ, 90^\circ$ در فرکانس ۱۴

گیگاهرتز

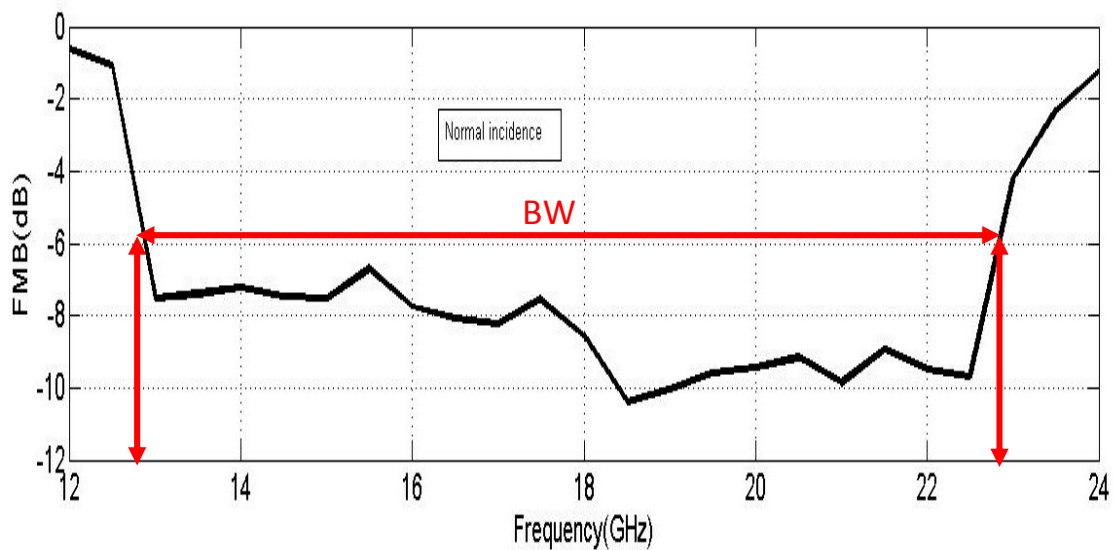
یکی از اهداف اصلی طراحی انجام شده رسیدن به FMB مطلوب می باشد که همانطور که در شکل (۲۹-۲) قابل مشاهده است تعداد لوب های ساختار زیاد شده است به همین دلیل انرژی بین چندین لوب تقسیم شده و در نتیجه FMB ساختار بهبود یافته است



شکل (۲۹-۲) تصویر سه بعدی ساختار در فرکانس ۲۲ گیگاهرتز

با توجه به توضیحاتی که در قسمت های قبلی در ضرورت استفاده از روش FMB بیان شد حال به نتیجه حاصل از این روش در حالت تابش به صورت عمود خواهیم پرداخت. در این روش بیشینه موج برگشتی از طرح در تمامی زاویه ها با بیشینه موج برگشتی از زمین معیار مقایسه شده و مقدار کاهش سطح مقطع راداری مشخص شده است.

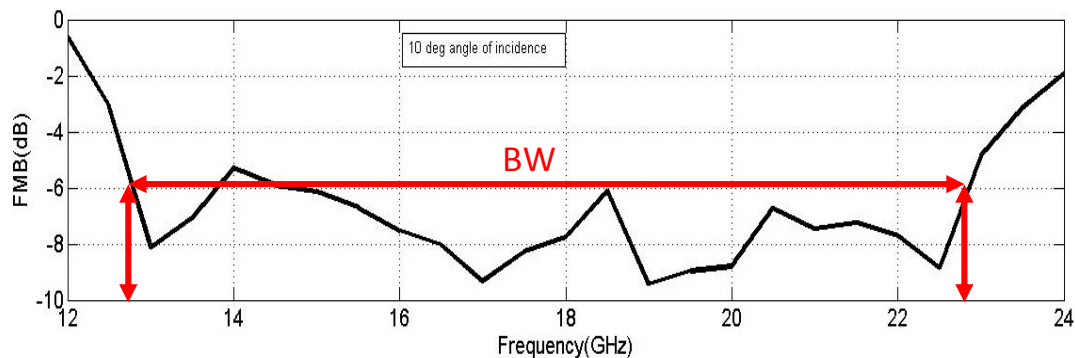
با توجه به شکل (۳۰-۲)، میزان FMB در گستره ی نسبتا وسیعی کمتر از مقدار (-6) dB می باشد که این عملکرد خوب ساختار پیشنهادی را تایید می کند.



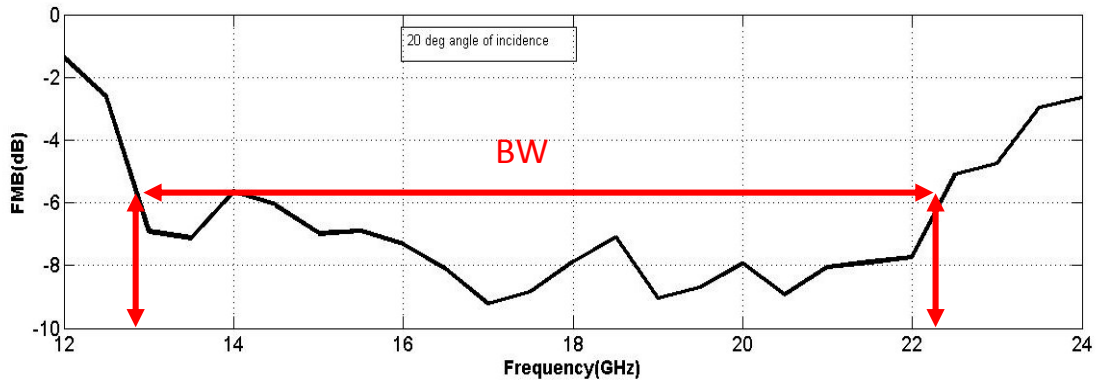
شکل (۲-۳۰) نمودار مقدار کاهش سطح مقطع راداری بر حسب FMB

۲-۷ بررسی اثر زاویه تابش بر کاهش سطح مقطع راداری

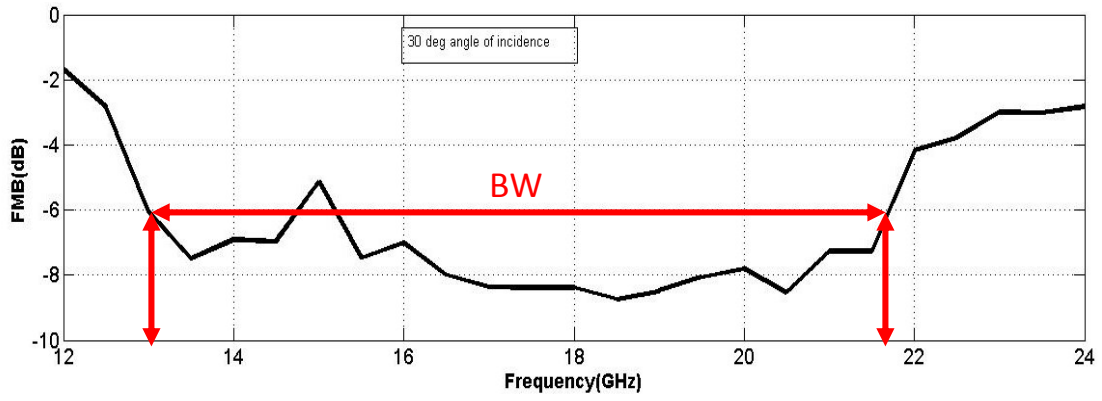
با توجه به جهت موج ورودی، اجسام موج برگشتی را در جهات مختلفی پراکنده میکنند و از جهتی در روش FMB مطلوب است بازتاب موج در تمامی جهات پایین باشد. این بدین معنی است که ساختار جهت کاهش سطح مقطع راداری باید علاوه بر پهنای باند، پهنای زاویه ای مناسبی نیز داشته باشد. باتوجه به نمودارهای شکل (۲-۳۱) مشخص می شود که تا زاویه ۴۰ درجه نتایج کاهش سطح مقطع راداری ($FMB \leq -6 \text{ dB}$) قابل قبول است.



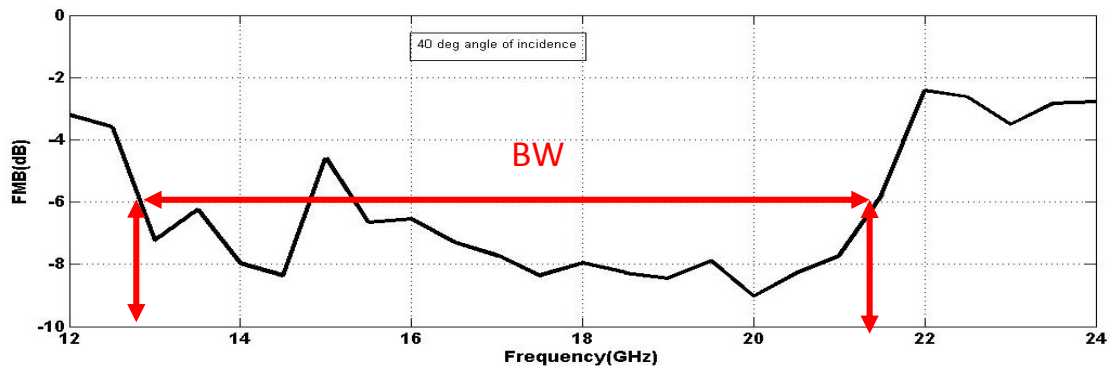
(الف)



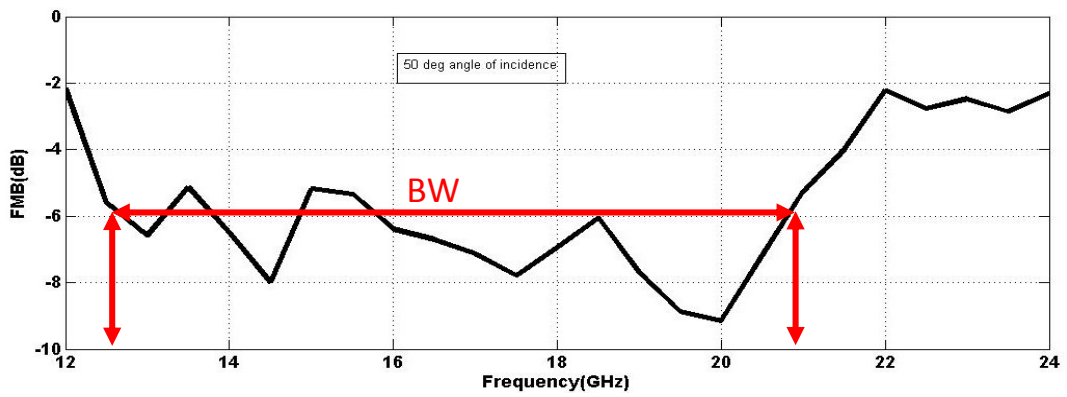
(ب)



(ج)



(د)



(۵)

شکل (۳۱-۲) نمودار کاهش سطح مقطع راداری بر حسب FMB در زوایای مختلف

با افزایش زاویه تابش مقدار پهنای باند کاهش می یابد به طوریکه مطابق شکل (۳۱-۲) برای زاویه بیش از ۴۰ درجه مقدار FMB مطلوب نمی باشد.

فصل سوم

نتیجه گیری و آرایه پیشنهادات

۱-۳ خلاصه نتایج و دستاورد ها

با توجه به ضرورت نیاز استفاده از کامپوزیت ها و پوشش های نانو بر سطح شناور ها، مواد کامپوزیتی نانوپایه می توانند کم وزن، ارزان و راحت سنتز شوند. نانو کامپوزیت های فریتی یکی از بهترین پوشش های بدنه شناور ها می باشد بر همین اساس در این پایان نامه با طراحی الگویی بر روی فریت YIG سطح مقطع راداری را در پهنای باندهای در حدود ۵۰ درصد با FMB بیشتر از ۶ دسی بل کاهش داد و در حالت مونواستاتیک بیشتر از ۱۰ دسی بل کاهش سطح مقطع راداری را بدست آورد.

امروزه در اکثر مقالات ساختار های مورد استفاده از زیر لایه های تجاری برای پیاده سازی طرح خود استفاده می کنند که این زیر لایه های به دلیل ملاحظات مکانیکی امکان نصب بر روی تجهیزات مختلف را ندارند و در نتیجه قابلیت اجرا ندارند و علاوه بر آن گذردهی الکتریکی این ساختار ها با پوشش هایی که در صنایع نظامی (دریایی) استفاده می شود بسیار متفاوت است و با توجه به تاثیر مستقیم گذردهی الکتریکی در پهنای باند و اختلاف فاز سلول ها نتیجه گرفته می شود که امکان استفاده از این طرح ها وجود ندارد و یا برای استفاده نیاز به یک باز طراحی اساسی دارد.

همانطور که در شکل (۲-۳۱) مشخص است ساختار در زاویه های مختلف عملکرد خوبی دارد که نشان می دهد پهنای زاویه ساختار مناسب است و همچنین بر طبق شکل (۲-۲۴) و (۲-۳۰) پهنای فرکانسی بالایی در حدود ۵۰ درصد دارد

۲-۳ راهکار های پیشنهادی :

پیشنهاد می شود ساختار های جدید بر اساس ترکیب ساختار گرافن و فریت طراحی شود و

به وسیله آن سطح مقطع راداری کنترل شود تا در مکان مورد نیاز قابل رویت باشد

پیشنهاد میشود با استفاده از چند لایه کردن ساختار فریتی و الگو های متعدد مقدار

برگشتی با موج در پهنای باند بیشتر کاهش یابد

فهرست منابع

- [1] World Wide Web : [http:// radartutorial.eu](http://radartutorial.eu) .
- [2] J. Lake, Jane's how to fly and fight in the F-117A stealth fighter, London: HarperCollins, 1997.
۳. قلی پور م، ۱۳۹۶، پایان نامه ارشد، "طراحی و شبیه سازی ساختار کاهنده سطح مقطع راداری با کارایی بیشتر" دانشکده برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
- [4] Doug Richardson, "Stealth Warplanes: Deception, Evasion, and Concealment in the Air," MBI Publishing Company, New York, 2001
- [5] Song, J., Wu, X., Huang, C., Yang, J., Ji, C., Zhang, C., & Luo, X. (2019). Broadband and Tunable RCS Reduction using High-order Reflections and Salisbury-type Absorption Mechanisms. Scientific Reports, 9(1).
- [6] Fante, R. L. & McCormack, M. T. Reflection properties of the Salisbury screen. IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett. 36, 1443–1454 (1988)
- [7] Toit, L. J. D. The design of Jaumann absorbers. IEEE Antennas Propag. Mag. 36, 17–25 (1994)
- [8] World Wide Web : <https://www.shield.com>
۹. ریسی ف، ۱۳۹۳، پایان نامه ارشد، "بررسی اثر پارچه های حلقوی تار سوراخ دار پوشش داده شده با پلی آنیلین بر روی کاهش سطح مقطع راداری" دانشکده مهندسی نساجی ، دانشگاه صنعتی اصفهان
- [10] Chen, W., C.A. Balanis, and C.R. Birtcher, Dual Wide-Band Checkerboard Surfaces for Radar Cross Section Reduction. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2016. 64(9): p. 4133-4138
- [11] Constantine A. Balanis, Wengang Chen, 2015, "Checkerboard EBG Surfaces for Wideband Radar Cross Section Reduction" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, DOI 10.1109/TAP.2015.2414440
- [12] Teo Ching Leong, "Bistatic Radar System Analysis and Software Development," Naval Postgraduate School Master's thesis, Monterey CA, December 2003.

- [13] The Center for Public Integrity, "Figure,"
http://projects.publicintegrity.org/images/photos/Kolchuga_radar.jpg,
 (Accessed March 2009)
- [14] Arezou Edalati, , Kamal Sarabandi ,2014," Wideband, Wide Angle, Polarization independent RCS Reduction Using Nonabsorptive Miniaturized-Element Frequency Selective Surfaces" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 62, NO. 2
۱۵. ابوذر روئین تن، ۱۳۹۶، " بررسی نقش پوششهای فرّیتی جاذبِ امواج الکترومغناطیس در رادارگریزی شناورهای تندرو"، مهندسی شناور، سال پانزدهم شماره ۵۱،
۱۶. داود هامون،، عباس علی قنبری، ۱۳۹۶، " پوشش غیریکنواخت و موضعی هواپیما با مواد جاذب جهت دست یابی به کم ترین سطح راداری با کم ترین وزن ماده جاذب"، مجله رادار ، سال پنجم شماره دوم
۱۷. علی آذرب، مصطفی مشهدی، ۱۳۹۵، "کاهش سطح مقطع راداری اجسام با استفاده از هادی مغناطیسی مصنوعی ترکیبی" فصلنامه صنایع الکترونیک دوره هفت شماره سه
- [18] Constantine A. Balanis , 2008, MODERN ANTENNA HANDBOOK, A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, P41
- [19] I. NICOLAESCU, "Radar absorbing materials used for target camouflage," journal of optoelectronic and advanced materials, vol. 8, no. 1, pp. 333 - 338, February 2006

Abstract

Among the absorbent materials of electromagnetic waves, ferrite materials due to their properties such as losses, high chemical stability and corrosion resistance can be a good option for use in radar covers. Furthermore, using radar absorbent coatings and installing them on the body of the vessels we can attenuate and absorbed a wide range of radar waves, this cause hiding the target from the radar. Nano materials due to unique electrical and mechanical properties are a good option for absorbing electromagnetic waves. Nano-based composite materials can be made lightweight, inexpensive and easy. by using nanoparticles iron, nickel and cobalt in the manufacture of ferrite nano composites with designing a pattern for reducing radar cross-section, it is significantly capable of reducing the radar cross-section in the frequency range of radar waves. These materials like a millimeter cover are lined on the body of the vessels and it can hide them from enemy radars.

In this thesis new method for reducing materials radar cross-section RCS in a wide frequency range using synthetic magnetic conductor surfaces is presented AMC. This thesis shows that the use of magnetic substrates can increase the bandwidth performance of AMC structures. The main idea of this RCS structure over a wide frequency range in this thesis based on the use of two AMC structures with different dimensions that work in two different frequency bands. But the dimensions and operating frequencies of these two AMC structures are adjusted to remain within a wide frequency range of the reflective phase difference of the two structures near 180 degrees and thus neutralize each other's reflection and RCS structure decreases. The simulation result shows that this method can reduce the RCS by up to 20 dB for a metal structure in a bandwidth of about 50%.

Key words:

RCS, Radar cross section , nanocomposites , ferrite material , AMC structures



Shahrood University of
Technology

Shahrood University of Technology

Faculty of Electrical Engineering and Robotics

MSc Thesis in Field Communication Engineering

**Application of magnetic materials to reduce
radar cross section**

By: Vahid Amidi

Supervisor: Dr. J. Ghalibafan

JUNUARY 2020