ISSN: 2821-157X | htpps://www.jasd.khadu.ir

Journal of Aerospace Defense
Volume 3, Issue 3
Autumn2024
P.P. 27-40

Research Paper;

Comparing Various band-pass filter for X-band plasma radar receiver protector structures

Mohammad Reza Kardgar[1], R. Razavi[2], A. Shekari[3] , M. Ramezani[4]

1. Department of Physics, Sciences Faculty, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran. mmrezakardgar@gmail.com
2. Department of Physics, Sciences Faculty, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran. rrazavin@ihu.ac.ir
3. Department of Technical and engineering, advanced materials and nanotechnology Sciences Faculty, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran. a_shekari@ihu.ac.ir
4. Department of Physics, Sciences Faculty, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran. morteza_ramezani@ihu.ac.ir

Article Information

Recceived:
2024/05/09
Accepted:
2024/11/08

Keywords:

Keywords:
Radar receiver protector, microwaves, breakdown voltage,RF ,WR90 ,Comsol , Filtration

Corresponding Author:
R. Razavi
Email:
rrazavin@ihu.ac.ir

Abstract

The radar receiver protector is one of the important components in the radar system. It prevents the receiver from noise and powerful Electromagnetic wave. In this paper, the simulations are done for different structures of the radar receiver protector using COMSOL software in the X-band frequency.The simulation selected structure is based on the WR90 waveguide structure. In this simulation, parameters such as reflection and transmission coefficients, as well as the maximum field intensity created within different radar receiver protector structures, have been investigated. The studied structures include iris-diaphragms-pairs, posts-and-diaphragms, truncated-cones-and-diaphragms, Dumbell-pointed-post-tunable, Dumbell-pointed-post, and Dumbell structures.

The simulation results show that the internal structure of the waveguide has an important parameter on the filtration performance, the frequency selection and intensity modes created on the tips of the electrodes. Dumbell-pointed-posts-tunable among the investigated structures due to the frequency modes and high intensity of the electric field at the tip of the electrodes, it is superior to other structures.

Kardgar, Mohammad Reza; Rohollah, Razavi; Ali, Shekari; Morteza, Ramezani. Cmparing Various band-pass filter for X-band radar receiver protector structures . *Journal of Aerospace Defense*, Vol.3(3), Page27-40

ISSN: 2821-157X | htpps://www.jasd.khadu.ir

فصلنامه علمی دفاع هوافضایی

دورۀ۳، شمارۀ ۳

پائیز ۱۴۰۳

صص ۴۰-۲۷

مقاله پژوهشی؛ doi

مقایسه فیلتراسیون ساختارهای مختلف محافظ گیرنده رادار پلاسمایی باند X

محمد رضا کاردگر[۱] ، روح اله رضوی نژاد[۲] ، علی شکاری[۳] ، مرتضی رمضانی[۴]

۱. دانشجوی دکتری فیزیک هسته ای، مرکز علم و فناوری فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، *mmrezakardgar@gmail.com*

۲. استاد فیزیک، مرکز علم و فناوری فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، *rrazavin@ihu.ac.ir*

۳. پژوهشگر، مرکز مواد پیشرفته و نانوفناوری، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، *a_shekari@ihu.ac.ir*

۴. پژوهشگر، مرکز علم و فناوری فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، *morteza_ramezani@ihu.ac.ir*

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۲/۲۰
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۸/۱۸

کلیدواژه‌ها:

محافظ گیرنده راداری، امواج مایکروویو، ولتاژ شکست، RF، WR90، کامسول، فیلتراسیون

نویسنده مسئول:
روح اله رضوی نژاد
ایمیل:
rrazavin@ihu.ac.ir

چکیده

محافظ گیرنده راداری یکی از اجزای مهم در سامانه راداری است که از گیرنده در برابر نویز و امواج پرتوان جلوگیری می‌کند و به امواج براساس توان و فرکانس انتخابی بر پایه ساختار اجازه عبور می‌دهد. در این مقاله، شبیه‌سازی ساختارهای مختلف محافظ گیرنده راداری با استفاده از نرم‌افزار کامسول در محدوده فرکانسی باند X بر پایه موجبر WR90 انجام شده و پارامترهای ضرایب عبور و بازتاب و حداکثر شدت میدان ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفته است. ساختارهای مورد بررسی در این شبیه‌سازی شامل ساختارهای جفت صفحه آیریس، صفحات آیریس به همراه الکترود، مخروطی، الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم، دمبلی نوک تیز و ساختار دمبلی می‌باشد.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ساختار داخلی موجبر نقش مهمی در عملکرد فیلتراسیون، مدهای فرکانسی و شدت میدان ایجاد شده بر روی نوک الکترودها دارد. ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم، به دلیل شدت بالای میدان الکتریکی در نوک الکترودها، برای تولید پلاسما در محافظ‌های پلاسمایی نسبت به سایر ساختارها برتری دارد.

استناد: کاردگر، محمد رضا؛ روح اله، رضوی نژاد؛ علی، شکاری؛ مرتضی، رمضانی؛ .(۱۴۰۳). مقایسه فیلتراسیون ساختارهای مختلف محافظ گیرنده راداری باند X . فصل نامه علمی پژوهشی دفاع هوافضایی، دوره۳ (شماره۳)، صفحه۲۷-۴۰

۱–مقدمه

با توجه به افزایش علاقه به استفاده از امواج مایکروویو در بخش‌های صنعتی و نظامی، استفاده از باندهای فرکانسی و کاربردهای آن در این حوزه رو به افزایش است [۱]. محدوده فرکانسی مایکروویو به تعداد معینی از باندهای فرکانسی تقسیم می‌شود که در آن هر باند به برخی از کاربردهای خاص اختصاص داده شده است. به عنوان مثال، چندین حوزه کاربردی در باند L (گیگاهرتز ۲–۱) ، مانند GSM، CDMA، GPS، ماهواره دریایی و دورسنجی[1] نظامی در حال استفاده هستند. در حالی که حوزه‌های تجاری با استفاده از بلوتوث یا وای‌فای در باند S (گیگاهرتز ۴–۲) کار می‌کنند. باند X (گیگاهرتز ۱۲–۸) عموماً در کاربردهای نظامی، پدافندی و صنعتی، به ویژه با موجبرهای امواج مایکروویو، تجاری شده است [۶–۲]. برنامه‌های تلویزیون ماهواره‌ای، رادیویی، رادار و کاربردهای نجومی در باند Ku و K به ترتیب در محدوده‌های (گیگاهرتز ۱۸–۱۲) و (گیگاهرتز ۲۷–۱۸) ارائه می‌شوند، باند فرکانسی P در محدوده ۰/۳–۱ گیگاهرتز توانایی بالایی در نفوذ به پوشش گیاهی و جمع‌آوری داده‌های دقیق از سطح زمین دارد و در صنایع هوایی و فضایی و سامانه‌های راداری نیز از آن استفاده می‌شود [۷].

محافظ گیرنده رادار در سامانه راداری از گیرنده در برابر نویز و امواج پرتوان حفاظت می‌کند، نمونه‌های اولیه محافظ گیرنده‌های راداری با استفاده از دیودهای خلاء طراحی شده بودند. یکی از نمونه‌های این محافظها شامل ایجاد پلاسما در فاصله بین دو الکترود در فشار پایین و داخل محفظه شیشه‌ای بود که الکترودها به یک منبع ولتاژ خارجی متصل می‌شدند. یکی از اولین محافظهای گیرنده توسط لاوسان[2] ساخته شد [۸] که شامل ایجاد جرقه‌ای[3] در یک لوله شیشه‌ای کوچک و اتصال آن به یک مدار بود. بعدها با توسعه محافظ گیرنده ساختار آن تغییر کرد و با توجه به علاقه روزافزون به ساخت دستگاه‌های فیلتراسیون، طبقه‌بندی‌هایی گوناگون برای آن ایجاد شد [۹–۱۳]. نمونه‌ای از ساختارهای تجربی، ساختار اندرسون[4] با محافظ گیرنده باند S بود [۱۴]. این محافظ گیرنده راداری توانایی فیلتر امواج با مدهای مختلف را دارد و در این مقاله به صورت ساختار صفحات آیریس به همراه الکترودها

1 Telemetry
2 J. L. Lawson
3 Spark
4 Andersen

برای باند X مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌ای دیگر از محافظ گیرنـده سـاختار گانـگ[1] است که در آن با استفاده از پارامترهای عبور و بازتاب به تحلیل ولتاژ مورد نیاز برای شکست موج می‌پردازد و مقدار کمینه چگالی پلاسما برای فرآیند یونیزاسیون در حضور ولتاژ خـارجی، ($۷/۹۵\times۱۰^{۱۹}\ m^{۳}$) تعیین شده است [۱۵] و در این مقاله به عنوان سـاختار مخروطـی مـورد بررسی قرار گرفته است. نمونه بعدی ساختار ارائه شده توسط گلـدی[2] اسـت کـه بـا ترکیـب فیلتراسیون چند مرحله‌ای و افزودن مدار جانبی به ساختار محافظ گیرنده توانسته تحمل توان بالای موج ورودی و زمان بازیابی کوتاهی را برای محافظ گیرنده ایجاد نمایـد [۱۹,۱۶] و در این مقاله به عنوان ساختاردمبلی مورد بررسی قـرار گرفتـه اسـت. سـاختارهای دیگـر مـورد بررسی این مقاله براساس نمونه‌های صنعتی ساخته شـده [۱۷,۱۶]، شـبیه سـازی و مقایسـه شده است.

موجبرها در ساختارهای مختلفی نظیر مستطیلی، دایره‌ای و بیضوی سـاخته مـی‌شـوند، این ساختارها از جمله ساختارهای مهم در مهندسی مایکروویو هستند. موجبرهای مسـتطیلی به دلیل سادگی ساخت و استاندارد بودن ابعاد، بیشتر از سایر ساختارها استفاده می‌شوند. یکی از استانداردهای رایج برای این نوع مـوجبر، WR90 اسـت کـه ابعـاد سـاختار آن ۰/۹ ایـنچ (۲۲/۸۶ میلی‌متر) در ۰/۴ اینچ (۱۰/۱۶ میلی‌متر) است. آنچه در این مقاله بـه عنـوان هـدف بوده، استفاده از موجبرهای معرفی شده به عنوان محافظ گیرنده پلاسمایی است. بـرای ایـن منظور باید شرایط ایجاد پلاسما که خود وابستگی قوی به پروفایل و شدت میدان الکتریکـی در الکترودها را دارد مورد بررسی قرار گیرد. بدین ترتیب ساختاری مناسـب اسـت کـه تولیـد شدت میدان الکتریکی بزرگتری در ناحیه الکترودها داشته باشد.

برای این کار با استفاده از شبیه‌سازی، فیلتراسیون ساختارهای محافظ گیرنده راداری در ساختارهای مختلف بر پایه موجبر WR90 با استفاده از نرم‌افزار کامسول مورد بررسـی قـرار گرفته است و نقش ساختار داخلی موجبر در مدهای فرکانسی، شدت میـدان ایجـاد شـده در نوک الکترودها و عملکرد فیلتراسیون تعیین شده است.

۲- تئوری و روش انجام کار

نرم‌افزارهای مورد استفاده در این مقالـه شـامل دو نـرم‌افـزار سـالیدورکس ونـرم‌افـزار کامسول است که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم:

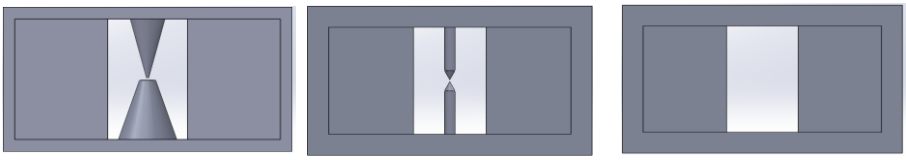
---

1 Gang
2 Goldie

نرم‌افزار سالیدورکس[1]: یک نرم‌افزار مهندسی طراحی سه‌بعدی که دارای سه محیط به نام‌های قطعه(part) ، مونتاژ (assembly) و طراحی (drawing) می‌باشد. محیط اول برای رسم قطعه بوده، در محیط دوم قطعات یک ساختار بر روی هم سوار شده و در محیط آخر از آن‌ها نقشه مهندسی (معمولاً برای نسخه چاپی) تهیه می‌شود.

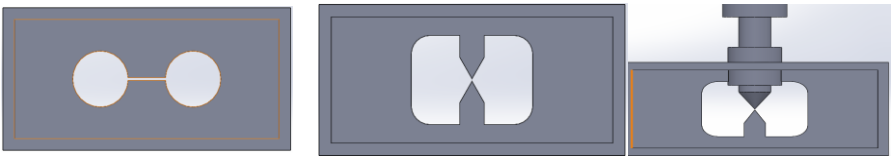
نرم‌افزار کامسول[2]: یک مجموعه کامل شبیه‌سازی است که می‌تواند معادلات دیفرانسیل سیستم‌های غیر خطی را توسط مشتق‌های جزئی به روش اجزاء محدود (FEM)[3] در فضاهای یک، دو و سه بعدی حل نماید. در این تحقیق مقایسه ساختارهای محافظ گیرنده راداری RF[4] بر پایه موجبر WR90 با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار کامسول نسخه ۶/۱ انجام شده است.

در ابتدا طراحی قطعات به صورت سه‌بعدی در نرم‌افزار سالیدورکس انجام می گیرد. سپس در نرم‌افزار کامسول طرح بدست آمده از سالیدورکس اضافه می‌شود. هندسه‌های مورد بررسی در این مقاله، شامل شش ساختار از جمله، ساختار جفت صفحه آیریس [۱۳]، ساختار صفحات آیریس به همراه الکترودها[۱۴]، ساختار مخروطی[۱۵]، ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم[۱۵-۱۶]، ساختار دمبلی نوک تیز [۱۶-۱۷] و ساختار دمبلی [۱۹,۱۶] می‌باشد. در شکل ۱ برش عرضی شش ساختار شیبه‌سازی در این مقاله نشان داده شده است.



الف) ب) پ)

1 SolidWorks
2 COMSOL Multiphysics
3 Finite Element Method
4 Radio Frequency



ت) ث) ج)

شکل ۱. برش عرضی ساختارهای مختلف محافظ گیرنده در نرم‌افزار سالیدورکس. الف) ساختار جفت صفحه آیریس[۱۳]، ب) صفحات آیریس به همراه الکترودها[۱٤]، پ) ساختار مخروطی[۱۵]، ت) ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم[۱٦-۱۷]، ث) ساختار دمبلی نوک تیز [۱٦-۱۷] و ج) ساختار دمبلی[۱٦و ۱۹]

در تمامی ساختارهای محافظ‌گیرنده فاصله بین دو سر الکترودها ۰/۲ mm و فاصله بین جفت صفحات ۱۵ mm می‌باشد. طول موجبر ۴۷ mm و ابعاد صفحات آیریس mm^3 ۱×۸×۱۰/۱۶ در نظر گرفته شده است. در ساختارهای با نوک تیز، زاویه تنظیم شده ۶۰ درجه می‌باشد. قسمت الف شکل (۱) به ساختار دو جفت فیلتر صفحات آیریس اشاره دارد. در قسمت ب شکل (۱) ساختار محافظ گیرنده براساس مدل کار مرجع [۱۵] انتخاب شده و زاویه نوک الکترودها ۶۰ درجه و ضخامت الکترودها یک میلی‌متر در نظر گرفته شده است. قسمت پ شکل (۱) ساختار محافظ گیرنده براساس مدل مرجع [۱۵] بیان شده و شعاع بالا، شعاع پایین و ارتفاع به ترتیب ۴/۹۶ mm، ۰/۱ mm و ۱/۵ mm در الکترود بالا در نظر گرفته شده است و شعاع بالا، شعاع پایین و ارتفاع به ترتیب ۵ mm، ۲/۵۶ mm و ۰/۷mm در الکترود پایین در شبیه‌سازی بکار رفته است. در قسمت‌های ت، ث و ج شکل (۱) به ترتیب ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم، ساختار دمبلی نوک تیز و ساختار دمبلی بر اساس نمونه‌های ساخته شده مراجع [۱۶-۱۷] شبیه‌سازی شده‌اند.

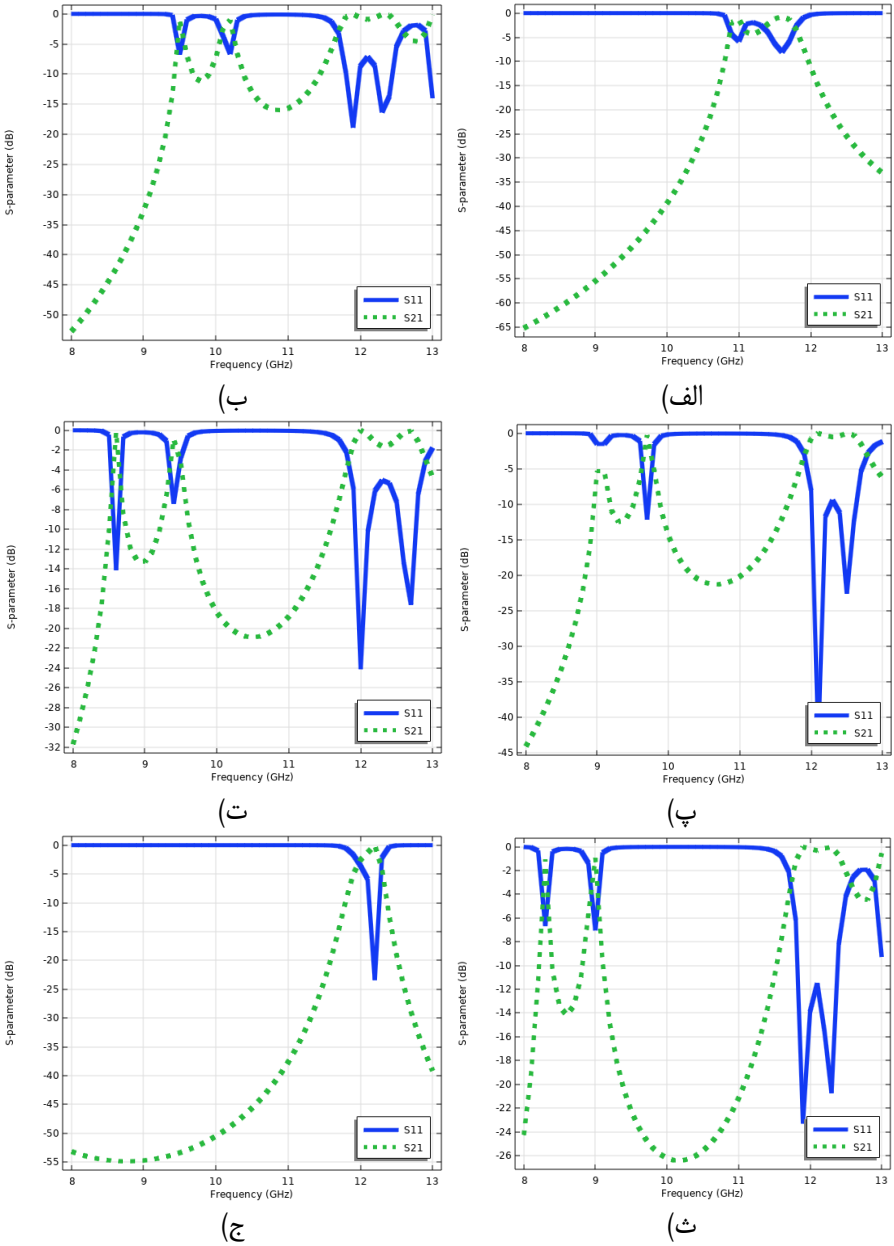
پس از طراحی هندسه، قطعات به نرم‌افزار کامسول اضافه شده اند. ترتیب مراحل در نرم‌افزار شبیه‌سازی کامسول بدین صورت است که ابتدا هندسه مورد نظر به نرم‌افزار اضافه شده و در مرحله بعد جنس مواد مورد استفاده برای فضا تعیین می‌گردد. ضخامت پنجره ورودی موج در موجبر[۱ mm] و در تمامی هندسه‌ها، از شیشه (کوارتز) به عنوان ماده انتخابی برای پنجره استفاده شده است، جنس فضای داخل موجبر از هوا با فشار یک تور [۱۰] و همچنین جنس ساختار فلزی موجبر از استیل در نظر گرفته شده است. محدوده فرکانس شبیه‌سازی از ۸ تا ۱۳ گیگاهرتز با اندازه گام‌های [۰/۱ GHz] در محاسبات به کار

رفته است. در مرحله بعد فیزیک مورد نظر به شبیه سازی اضافه می‌شود و معادله مورد استفاده در شبیه‌سازی موجبر، معادلات ماکسول است، در گام بعد به مش‌بندی هندسه پرداخته و در شبیه‌سازی از فرآیند استقلال از مش بهره گرفته شده تا از صحت نتایج اطمینان حاصل شود.

۳–شبیه‌سازی، بحث و نتایج

در این بخش به شبیه‌سازی ساختارهای مختلف محافظ گیرنده راداری ذکر شده در بخش قبل، پرداخته شده و پارامترهای پراکندگی و شدت میدان در قسمت‌های مختلف محافظ گیرنده راداری شبیه‌سازی و استخراج شده است. پارامترهای پراکندگی مجموعه‌ای از اعداد مختلط هستند که عبور و بازتاب توان یک دستگاه را در فرکانس‌های مختلف توصیف می‌کنند. مهم‌ترین پارامتر پراکندگی برای یک فیلتر ضریب عبور (S_{21}) و ضریب بازتاب (S_{11}) هستند. ضریب بازتاب (S_{11}) نشان می‌دهد چه مقدار از توان ورودی به منبع بازتاب می‌شود و ضریب عبور (S_{21}) نشان می‌دهد چه مقدار از توان ورودی از انتها موجبر خارج می‌شود. مقادیر ایده‌آل برای یک فیلتر در مد عبوری، به صورت $S_{11}=0$ و $S_{21}=1$ است و نشان دهنده عدم بازتاب و عبور کامل توان ورودی است.

دقت از عوامل کلیدی در گیرنده راداری است و در طراحی و ایجاد مدهای فرکانسی، مدهای فرکانسی با پهنای کم که در اصلاح تیز گفته می‌شوند از اهمیت ویژه‌ای برخودار هستند. همچنین وجود مدهای عبور این امکان را فراهم می‌کند تا برای گیرنده‌های مختلف قابل استفاده باشد. شکل (۲) پارامتر پراکندگی برای شش ساختار مختلف محافظ گیرنده راداری ذکر شده در شکل (۱) براساس نتایج شبیه سازی انجام شده برای آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۲. شبیه سازی برای پارامتر پراکندگی برحسب فرکانس برای ساختارهای: الف) ساختار جفت صفحه آیریس ب) صفحات آیریس به همراه الکترودها پ) ساختار مخروطی ت) ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم ث) ساختار دمبلی نوک تیز ج) ساختار دمبلی

در شکل ۲، محور افقی فرکانس و محور عمودی نشان دهنده پـارامتر عبـور و بازتـاب

است. ضریب بازتاب به صورت خط تو پر و ضریب عبور به صورت نقطه چین نشان داده شده است. در ساختار دو جفت صفحه آیریس در شکل ۲. الف) پهنای موج فیلتر شده در حدود ۱/۲ GHz است که به نسبت، پهنای بزرگی است و نمونه‌ای از ساختار فیلتر بدون الکترود را نشان می‌دهد. در ساختار صفحات آیریس به همراه الکترودها در شکل ۲. ب) مدهای عبوری این ساختار (GHz) ۱۰/۲ و ۹/۳ است. در ساختار مخروطی طبق شکل ۲. پ) مدهای عبوری (GHz) ۹/۱ و ۹/۷ است و با مدهای مشاهده شده در مقاله گانگ که شبیه‌سازی خود را براساس نرم‌افزار CST انجام داده است [۱۵]، تطابق دارد.

در ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم طبق شکل ۲. ت)، شامل دو مد عبوری (GHz) ۸/۶ و ۹/۴ می‌باشد. در ساختار دمبلی نوک تیز طبق شکل ۲. ث) مدهای عبوری این ساختار (GHz) ۸/۳ و ۹ است. در ساختار دمبلی طبق شکل ۲. ج) مد عبوری این ساختار (GHz) ۱۲/۲ است. همانگونه که در ساختارهای شکل ۲) (ب،ت، ث) مشاهده می‌شود این ساختارها امواج بالاتر از ۱۱/۴ GHz را عبور می‌دهند. خلاصه نتایج مربوط به شکل (۲) در جدول (۱) لیست شده است.

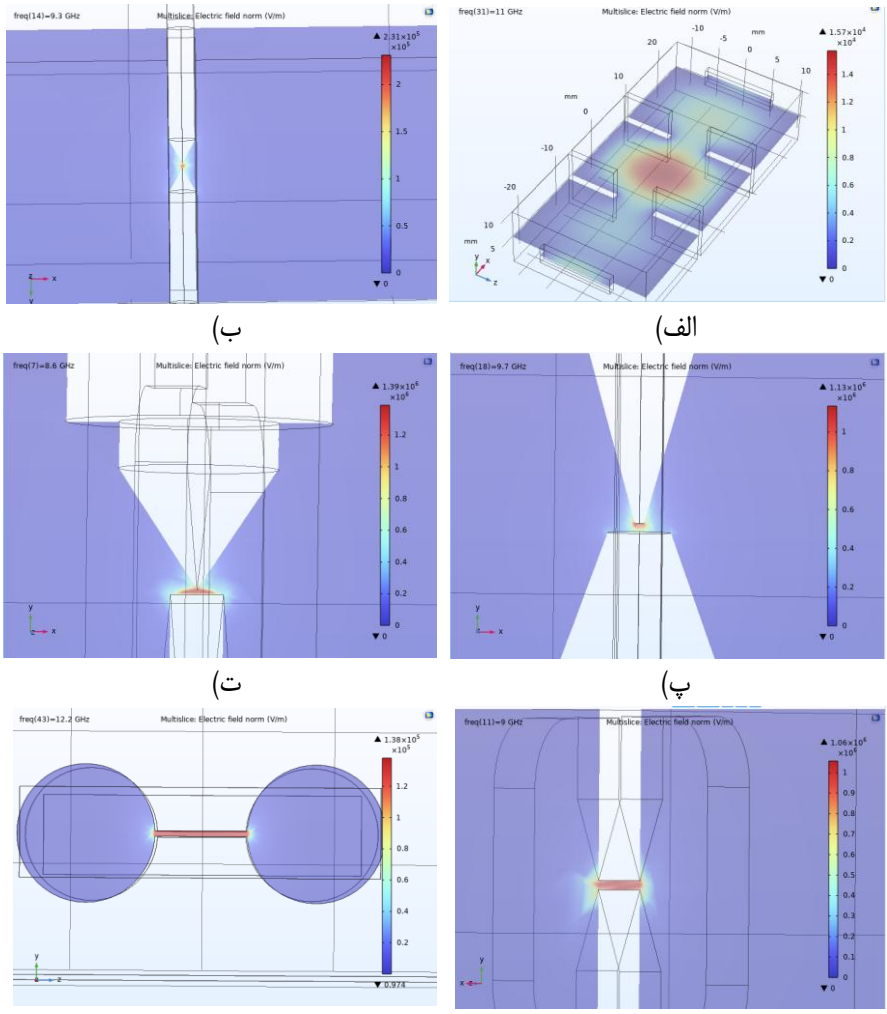
جدول ۱. بررسی پارامتر پراکندگی محاسبه شده از شبیه سازی.

نوع ساختار	باند عبوری (GHz)	مد فرکانسی عبوری(GHz)
ساختار جفت صفحه آیریس	۱۰/۸ -۱۲	ندارد
صفحات آیریس به همراه الکترودها[1]	>۱۱/۴	۱۰/۲ و ۹/۳
ساختار مخروطی[2]	۱۱/۶-۱۳	۹/۱ و ۹/۷
الکترود دمبلی نوک تیز قابل‌تنظیم[3]	>۱۱/۴	۸/۶ و ۹/۴
ساختار دمبلی نوک تیز[4]	>۱۱/۴	۹ و۸/۳
ساختار دمبلی[5]	۱۱/۶-۱۲/۲	۱۲/۲

در ادامه، در شکل (۳)، نتایج شبیه‌سازی را برای بیشترین شدت میدان الکتریکی در شش ساختار محافظ گیرنده راداری ذکر شده، را نشان می‌دهد.

---

[1] Posts and diaphragms
[2] Turncated cones and diaphragms
[3] Dumbell-pointed-posts-tunable
[4] Dumbell-pointed-posts
[5] Dumbell



الف) ب)

پ) ت)

ث) ج)

شکل ۳. نتایج شبیه سازی شدت میدان الکتریکی برای ساختارهای الف) ساختار جفت صفحه آیریس ب) صفحات آیریس به همراه الکترودها پ) ساختار مخروطی ت) ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم ث) ساختار دمبلی نوک تیز ج) ساختار دمبلی

با توجه به شکل (۳)، در ساختار دو جفت صفحه آیـریس در شـکل ۳. الـف) بیشـترین شدت میدان الکتریکی در بین صفحات آیریس، مقدار $۱/۵۷\times۱۰^{۴}$ (V/m) اسـت. در سـاختار صفحات آیریس به همراه الکترودها در شکل ۳. ب) ناحیه کوچکی در بـالای نـوک الکتـرود دارای بیشـترین شـدت اسـت و مقـدار آن در حـدود $۲/۳۱\times۱۰^{۵}$ (V/m) اسـت. در سـاختار مخروطی با توجه به شکل ۳. پ) ناحیه کوچکی در بـین دو الکتـرود و در نزدیکـی الکتـرود

بالایی (الکترود با قطر کوچکتر) دارای بیشترین شدت است و مقدار آن در حدود (V/m) $۱/۱۳\times۱۰^{۶}$ است. در ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم براساس شکل ۳. ت) شدت میدان الکتریکی بین الکترودها در حدود (V/m) $۱/۳۹\times۱۰^{۶}$ است. در ساختار دمبلی نوک تیز براساس شکل ۳. ث) شدت میدان الکتریکی بین الکترودها در حدود(V/m) $۱/۰۶\times۱۰^{۶}$ است. در ساختار دمبلی براساس شکل ۳. ج) بیشترین شدت میدان الکتریکی، پهنای نوک الکترودها را در بر گرفته و مقدار شدت میدان الکتریکی آن در حدود(V/m) $۱/۳۸\times۱۰^{۵}$ است.

برای بهبود عملکرد محافظهای گیرنده راداری، با تغییرات در پارامترهای مختلف محافظ گیرنده می‌توان تشکیل پلاسما و ولتاژ مورد نیاز جهت شکست گاز را کاهش داد، یکی از پارامترهای مهم در این زمینه، طراحی ساختار به گونه‌ای است که شدت میدان حاصل از موج ورودی بیشترین مقدار باشد.

ساختار دمبلی، بدلیل نوع ساختار خاص آن میدان الکتریکی با شدت بالا را دارد که منجر به فیلتری با پهنای کم نسبت به دیگر ساختارها شده است، ساختارهای محافظ گیرنده با چگالی بالای پلاسما نظیر ساختار دمبلی، محافظی با کیفیت بالا را ایجاد می‌کند. براساس نتایج شبیه‌سازی نشان می دهد که ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم، در شکل (۲) بدلیل داشتن مدهای فرکانسی با پهنای کوچک گزینه مناسبی برای محافظ گیرنده راداری هستند. در شکل (۳) ساختارهای (پ–ث) بیشترین شدت میدان الکتریکی از مرتبه (V/m) ۱×۱۰^{۶} است و از میان ساختارها، ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم، بیشترین شدت میدان الکتریکی را در حدود(V/m) $۱/۳۹\times۱۰^{۶}$ در بین ساختارها دارد و قابلیت ایجاد پلاسما را بهتر از ساختارهای دیگر دارد. ساختاری که بیشترین شدت میدان الکتریکی در محافظ گیرنده راداری را دارد، ساختاری حساس‌تر نسبت به شدت موج ورودی می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه شدت میدان الکتریکی شش ساختار

نوع ساختار	شدت میدان (V/m)
ساختار جفت صفحه آیریس	$۱/۵۷\times۱۰^{۴}$
صفحات آیریس به همراه الکترودها[1]	$۲/۳۱\times۱۰^{۵}$
ساختار مخروطی[2]	$۱/۱۳\times۱۰^{۶}$

[1] Posts and diaphragms
[2] Turncated cones and diaphragms

الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم[1]	$۱/۳۹\times۱۰^{۶}$
ساختار دمبلی نوک تیز[2]	$۱/۰۶\times۱۰^{۶}$
ساختار دمبلی[3]	$۱/۳۸\times۱۰^{۵}$

۴–تشکر و قدردانی

به مراتب تشکر و قدردانی خود را از حامیان تحقیق که به صورت غیرمستقیم در پیشبرد آن نقش داشته‌اند، دارم.

۵–تعارض منافع

نویسنده(گان) اعلام می‌دارند که در مورد انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این، موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر توسط نویسندگان رعایت شده است.

۶–دسترسی آزاد

۷–نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از نرم‌افزار کامسول به شبیه‌سازی شش ساختار از محافظ گیرنده راداری پرداخته شده است. هدف از انجام شبیه‌سازی، بررسی صحت عملکردی و کیفیت ساختارهای مطرح و بدست آوردن ساختار نهایی جهت استفاده و ارائه به عنوان ساختار پیشنهادی برای محافظ گیرنده راداری پلاسمایی است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که ساختار داخلی موجبر به عنوان پارامتری مهم بر روی عملکرد فیلتراسیون، مدهای فرکانسی و شدت میدن الکتریکی ایجاد شده بر روی نوک الکترودها تاثیر دارد. در این مقاله با استفاده از پارامترهای پراکندگی نشان داده شد که ساختارهای مخروطی، ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم، ساختار دمبلی نوک تیز و ساختار دمبلی از کیفیت مناسب و مدهای فرکانسی خاصی براساس ساختارشان برخوردارند. از بین ساختارهای مورد مطالعه، با در نظر گرفتن

---

[1] Dumbell-pointed-posts-tunable
[2] Dumbell-pointed-posts
[3] Dumbell

پارامتر پراکندگی و شدت میدان ایجاد شده توسط موج ورودی، ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم، بدلیل شدت بالای میدان الکتریکی در حدود $۱/۳۹\times۱۰^{۶}$ (V/m) ، از دیگر ساختارها برتری دارد و در اصطلاح حساس‌تر و قابلیت بهتری را برای تولید محیط پلاسمایی دارا می‌باشد.

۸– پیشنهادات

برای ارتقای نتایج و نیز گسترش حوزه تحقیقات صورت گرفته موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- مطالعه ترکیبات گازی مختلف و نقش آن در عملکرد محافظ گیرنده راداری پلاسمایی
- مطالعه جنس مواد الکترودهای مورد استفاده در محافظ گیرنده راداری و تاثیر آن بر تولید پلاسما
- مطالعه دمایی و بررسی تاثیر دما و انتقال حرارت در عملکرد محافظ گیرنده راداری
- استفاده از ساختار الکترود دمبلی نوک تیز قابل تنظیم پیشنهادی این مقاله جهت ساخت و بهینه کردن ابعاد و مشخصه‌های این ساختار با پارامترهای تاثیرگذار بر عملکرد محافظ گیرنده

۹–منابع

[۱] Aghanim, Amina, et al. "Design of a waveguide bandpass filter with inductive irises for a satellite application." E3S Web of Conferences. Vol. 351. EDP Sciences, 2022..

[۲] Waveguide Frequency Bands with Interior Dimensions, https://precisionmmw.com/wp-content/uploads/2023/03/Waveguide-Dimensions-Chart-with-Frequency-and-Conversions .

[۳] Wu, Shengbiao, et al. "Microwave Filter Modeling and Intelligent Tuning." Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics 22.6 (2018): 924-932.

[۴] AbuHussain, Mahmoud, and Ugur C. Hasar. "Design of X-bandpass waveguide Chebyshev filter based on CSRR metamaterial for telecommunication systems." Electronics 9.1 (2020): 101.

[۵] مرتضی رمضانی واسوکلائی، روح اله رضوی نژاد ، فرهاد خالوزاده، روح اله رضوی نژاد "استفاده از جرقه‌های رادیو اکتیو برای تولید آستانه ولتاژ شکست قابل اعتماد در محافظ گیرنده" بیست و هفتمین کنفرانس هسته ای ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۹

[۶] M. Ramezani, R. Razavi , T. Hosseinzadeh , S. A. Mirmohammadhosseini. Use of radioactive sources in radar receiver protector, conference on nuclear sience and technology.2022.2-4 March, Tehran, Iran.

[۷] Li, Wei, et al. "The P-band SAR satellite: opportunities and challenges." 2019 6th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR). IEEE, 2019.

[۸] Earls, Alan R., and Robert E. Edwards. Raytheon Company: The First Sixty Years. Arcadia Publishing, 2005.

[۹] Rectangular Waveguide Sizes https ://www.phase2mw.co.uk /images /docs/ Waveguide_guide.pdf(2024)

[۱۰] Roth, J. Reece. Industrial Plasma Engineering: Volume 2-Applications to Nonthermal Plasma Processing. Routledge, 2017.

[۱۱] Akatimagool, Somsak, and Sarun Choocadee. "The development of efficient cwfd simulation tools for waveguide band-pass filter design." 2011 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS). IEEE, 2011.

[۱۲] Choocadee, Sarun, Sugchai Tantiviwat, and Somsak Akatimagool. "The Development of Simulation Tools for Design of Waveguide Filter Using Resonant Iris Circuit." Applied Mechanics and Materials 313 (2013): 971-975.

[۱۳] Subramanyam, A. V. G., et al. "Realization and qualification of waveguide iris filters for space applications." 2014 IEEE International Microwave and RF Conference (IMaRC). IEEE,

2014.

[۱۴] Andersen, Matthew. "S-Band Plasma Limiters for Electromagnetic Pulse Protection." (2006).

[۱۵] Yin, Chang-gang, and Shao-bin Liu. "Analysis on the effect of plasma on the transmission characteristics microwave transmit-receive switches." 2008 8th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory. IEEE, 2008.

[۱۶] Zhou, R., Zhang, Z., Chen, C., & Zhang, H. (2014). Design of dual- band microwave duplexers. Electronics letters, 50(3), 219-221.

[۱۷] Zhuang, H., Li, J., Geng, W., Dai, X., Zhang, Z., & Vasilakos, A. V. (2016, August). Duplexer design and implementation for self-interference cancellation in full-duplex communications. In 2016 24th European Signal Processing Conference (EUSIPCO) (pp. 125-129). IEEE.

[۱۸] Kardegar, M. R., Razavi. R ,Ramezani. M , Shekari. A, “Systematic investigation of pure beta sources to reduce breakdown voltage in x-band waveguide.International conference on nuclear sience and technology.2024.6-8 May Isfahan, Iran.

[۱۹] Cherry, W. D., & Goldie, H. (1981). U.S. Patent No. 4,267,530. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.