

استفاده از چشمه‌های پرتوزا برای کاهش ولتاژ شکست در محافظ گیرنده رادار

مرتضی رمضانی^{۱*}، روح اله رضوی نژاد^۲، علی اصغریان^۳، طاهر حسین زاده کبریا^۴

چکیده

محافظ گیرنده، گیرنده رادار را در حین انتقال توان رادار محافظت می‌کند. در سال‌های اخیر، استفاده از چشمه‌های پرتوزا به عنوان منبع کمکی الکترونی در محافظ گیرنده با ولتاژ شکست منظم شده، یکی از راه‌های جلوگیری از این آسیب است. در این مقاله از مخلوط چشمه کبالت (به عنوان چشمه رادیو اکتیو) و گاز هلیوم برای تولید جرقه رادیو اکتیو استفاده می‌گردد. از کد MCNPX نسخه ۲/۶ برای محاسبه مقدار انرژی برجای مانده در محفظه گیرنده استفاده شده است و سپس از نرم افزار CST در فرکانس کاری ۱۲ گیگا هرتز برای تعیین میدان الکتریکی ناشی از یونیزاسیون چشمه پرتوزا در فعالیت‌های متفاوت و گاز مورد مطالعه (به عنوان منبع الکترونی کمکی) استفاده شده است.

واژگان کلیدی: جرقه رادیو اکتیو، محافظ گیرنده رادار، ولتاژ شکست.

۱. (*نویسنده مسئول): پژوهشگر، مرکز علم و فناوری فیزیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

ایمیل: morteza_ramezani@ihu.ac.ir

۲. استاد تمام، مرکز علم و فناوری فیزیک، گروه فیزیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۳. پژوهشگر، مرکز علم و فناوری فیزیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۴. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، مرکز علم و فناوری فیزیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

مقدمه

در کاربرد معمول رادارها ممکن است که توان انتقال رادار 10^6 وات باشد، درحالی که حداکثر توانی که یک گیرنده رادار می تواند داشته باشد حدود چند وات است (لیک^۱ و همکاران، ۱۹۷۳). بدیهی است که بین فرستنده و گیرنده نوعی عایق محافظ لازم است تا کار محافظت از گیرنده راداری را انجام دهد، محافظ گیرنده رادار به طور کلی در گیرنده های راداری، گیرنده را از فرسودگی یا آسیب در حین این انتقال توان رادار محافظت می کند (کوک^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). محافظ های گیرنده ی رادار به طور کلی محدود کننده ایده آلی نیستند و در برخی از آن ها توان انتقالی به گیرنده نشت می کند. جرعه های مستقیم^۳ در محافظ گیرنده های معمول دارای مضرات زیادی می باشند که از جمله: ۱- کاهش حساسیت گیرنده به دلیل ایجاد نویز؛ ۲- نیاز به یک منبع ولتاژ بالا در محدوده ۱۰۰۰ ولتی؛ ۳- طول عمر نسبتاً پایین بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ ساعت به دلیل فرسایش الکترودها است (ناسبن^۴ و همکاران، ۱۹۸۱). برای غلبه بر معایب فوق، اخیراً از چشمه های پرتوزا^۵ به عنوان منبع الکترونیکی کمکی در محافظ گیرنده استفاده شده و جایگزین منبع مستقیم می شود. لذا در این مقاله از ابعاد واقعی یک محافظ گیرنده باند X و چشمه کبالت و گاز هلیوم برای تولید منبع الکترونی کمکی برای ایجاد ولتاژ شکست قابل اعتماد و بی خطر استفاده کرده ایم.

مبانی نظری تحقیق

هندسره مورد استفاده در شبیه سازی به صورت یک محفظه مکعب مستطیلی به ابعاد ۱۰/۱۶ میلیمتر، ۲۲/۸۶ میلیمتر و ۵۰ میلیمتر در نظر گرفته شد. ترابرد ذرات بتا و انرژی ذخیره شده در محفظه با استفاده از کد محاسباتی مونت کارلو MCNPX انجام شده است (لاندائو^۶ و همکاران، ۲۰۱۴).

1 R. Lake

2 Cook

3 D-C ignitrons

4 M. L. Nussbaum

5 radioactive ignitrons

۶ D. P. Landau

برای محاسبه نرخ تولید الکترون در محفظه از رابطه (۱) استفاده می‌شود. (دهقان و همکاران، ۱۳۹۸)

$$q = \frac{5N_{\alpha}}{2\pi} \int_0^{50} \int_0^{22.8} \frac{n(z)dx dy}{z^2} \quad (1)$$

Z فاصله در راستای ارتفاع محفظه، $n(z)$ تعداد زوج یون‌ها تولید شده بر حسب ارتفاع محفظه و N_{α} تعداد واپاشی بر ثانیه است.

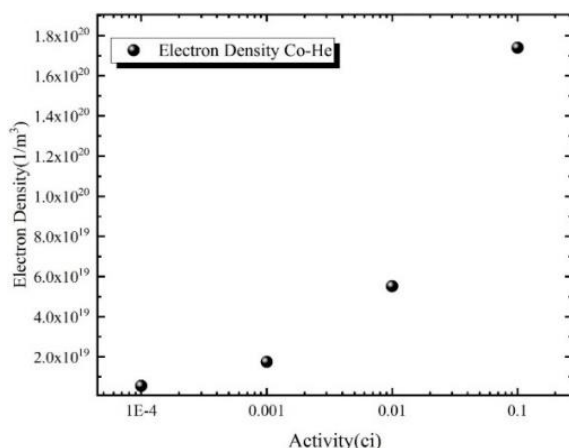
سپس در محیط گازی یونیزه شده میزان فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد با استفاده از رابطه (۲) و (۳) محاسبه می‌گردد.

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{m_e \epsilon_0}} \quad (2)$$

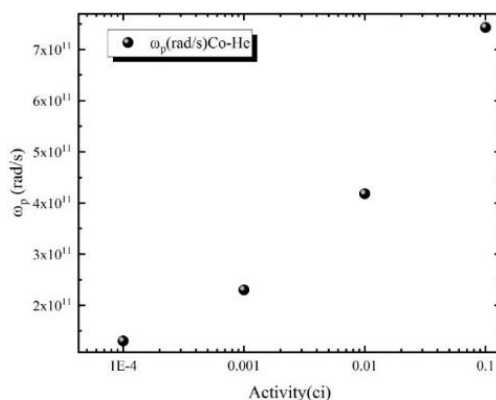
که n_e چگالی تعادلی الکترون، e بار الکترون برابر با $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ، m_e جرم الکترون برابر با $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ و ϵ_0 نفوذپذیری الکتریکی فضای آزاد می‌باشند (سینگ، ۲۰۱۶).

$$\gamma_c = 8.3 \times 10^5 \pi a_{He}^2 \sqrt{T} n_e$$

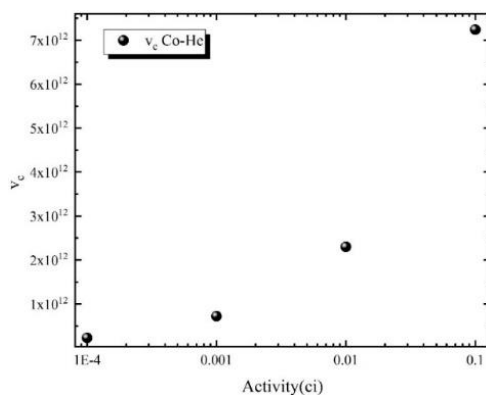
a شعاع مولکول هلیوم و T دما است (لوشمیت، ۱۹۹۵). چگالی الکترونی، فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد در اکتیویته‌های مختلف در محیط گازی یونیزه محاسبه شده در شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب نمایش داده شده است.



شکل ۱: چگالی الکترونی محفظه مورد مطالعه در اکتیویته‌های مختلف



شکل ۲: فرکانس پلاسما مخلوط گاز و چشمه مورد مطالعه در اکتیویته‌های مختلف

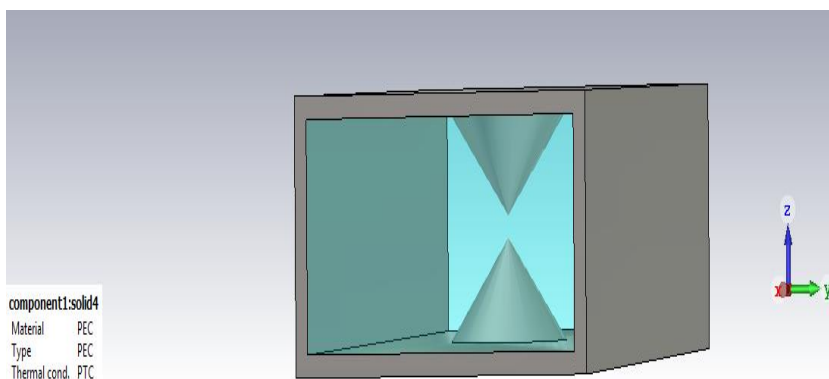


شکل ۳: فرکانس برخورد مخلوط گاز و چشمه مورد مطالعه در اکتیویته‌های مختلف

همان‌طور که از شکل‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود با افزایش اکتیویته چشمه، میزان چگالی الکترون، فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد در محیط مخلوط چشمه و گاز نیز افزایش می‌یابند.

در ادامه برای تعریف مخلوط چشمه و گاز (ماده یونیزه شده) از نرم افزار CST (مستاجران، ۱۳۹۵)، از بسته ماکروبو و افزونه Drude-Lorentz استفاده می‌کنیم که رفتار دی الکتریک محیط یونیزه یا پلاسما را توصیف می‌کند و با استفاده از مقادیر فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد محاسبه شده در شکل (۲) و (۳)، محیط یونیزه (پلاسما) را شبیه‌سازی می‌کنیم که در شکل (۴) شبیه‌سازی محیط یونیزه را نشان داده‌ایم.

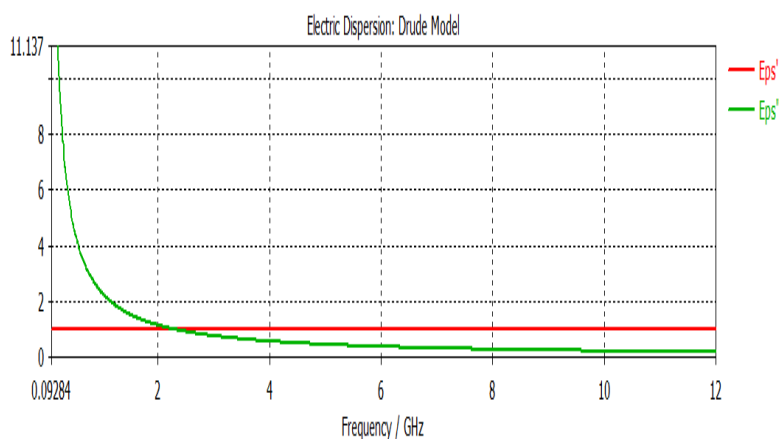
استفاده از چشمه‌های پرتوزا برای کاهش ولتاژ شکست در محافظ گیرنده رادار / ۹۷



شکل ۴: شبیه سازی محفظه و محیط یونیزه با نرم افزار CST

دی الکتریک محیط یونیزه (پلازما) با استفاده از رابطه (۴) بدست می‌آید که از دو جمله حقیقی و موهومی تشکیل شده و با استفاده از نرم افزار CST دو بخش حقیقی و موهومی این ثابت دی الکتریک برای محیط یونیزه شبیه‌سازی شده بدست آمده که در شکل (۵) نمایش داده شده است:

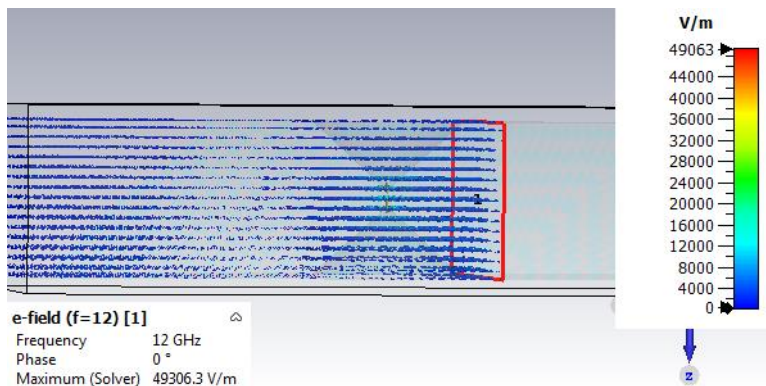
$$\epsilon_r = 1 - \frac{\omega_p^2}{(\omega^2 + \gamma^2)} - \frac{i\omega_p^2\gamma}{\omega(\omega^2 + \gamma^2)} \quad (۴)$$



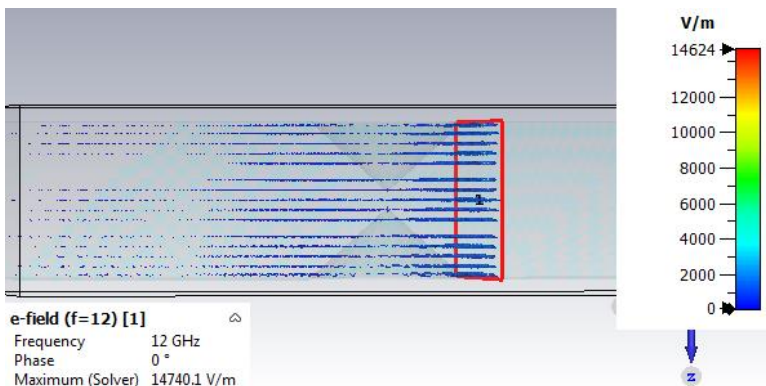
شکل ۵: ثابت دی الکتریک محیط یونیزه به ازای ۱۰۰ میلی کوری

از آنجایی که می‌دانیم محافظ گیرنده در نقش یک موجبر است؛ لذا پورت ورودی استاندارد که شامل (امپدانس ۵۰ اهم و فرکانس ۱۲ گیگا هرتز) است را برای این محیط یونیزه (چشمه کبالت و گاز هلیوم) در نظر می‌گیریم و مقدار میدان الکتریکی در ناحیه بین

دو مخروط در محافظ گیرنده را به دست می‌آوریم و مجدداً با همان پورت اینبار فقط برای گاز خالص هلیوم این کار را انجام می‌دهیم و میدان را استخراج می‌کنیم. در شکل (۶) و (۷) مقادیر مربوط به میدان الکتریکی بدست آمده برای محیط خالص (گاز هلیوم) و محیط مخروط (چشمه کبالت و گاز هلیوم) نشان داده‌ایم.



شکل ۶: میدان الکتریکی بدست آمده برای گاز خالص هلیوم



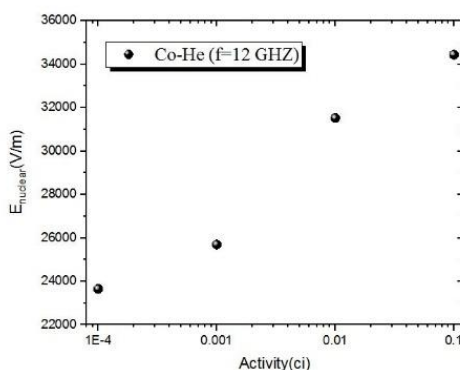
شکل ۷: میدان الکتریکی بدست آمده برای گاز مخلوط (کبالت + هلیوم)

همان‌طور که از شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود، مقدار ماکزیمم میدان الکتریکی مربوط به گاز هلیوم 49063 V/m است؛ درحالی‌که دقیقاً برای همان پورت، ماکزیمم میدان الکتریکی مربوط به گاز (هلیوم + کبالت) برابر 14740 V/m است. لذا می‌تواند گفت اختلاف بین این دو مقدار میدان الکتریکی می‌تواند ناشی از میدان الکتریکی مربوط به چشمه‌ی رادیو ایزوتوپ که به گاز هلیوم اضافه شده است، زیرا به نظر می‌رسد که

محیط یونیزه می‌تواند یک میدان الکتریکی مخالف میدان الکتریکی ایجاد شده از موج ورودی ایجاد کند و سبب کاهش میدان الکتریکی کل می‌شود، پس خواهیم داشت:

$$E_{\text{nuclear}} = E_{\text{pour}} - E_{\text{com}}$$

که E_{nuclear} میدان کمکی الکترونی، E_{pour} میدان الکتریکی گاز هلیوم و E_{com} میدان الکتریکی گاز هلیوم و چشمه کبالت است. در شکل (۸) میزان میدان الکتریکی کمکی ناشی از چشمه کبالت در اکتیویته‌های ۱۰۰ میکرو کوری، ۱ میلی کوری، ۱۰ میلی کوری و ۱۰۰ میلی کوری در گاز هلیوم را نشان داده‌ایم.



شکل ۸: میدان الکتریکی هسته‌ای (کمکی) بدست آمده برای گاز مخلوط (کبالت + هلیوم) در فرکانس ۱۲ گیگاهرتز

با توجه به شکل می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش میزان اکتیویته چشمه کبالت، میزان میدان الکترونی کمکی که می‌تواند ولتاژ شکست قابل اعتماد و بدون خطر را برای محافظ گیرنده ایجاد نماید افزایش یابد و از طرف دیگر این افزایش میزان میدان الکترونی کمکی سبب کاهش ولتاژ شکست در محافظ گیرنده می‌شود و باعث کاهش آسیب‌هایی که ممکن است در محافظ گیرنده وارد شود، گردد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به محاسبه میدان الکتریکی ناشی از مخلوط چشمه رادیو اکتیو کبالت با گاز هلیوم به عنوان یک ولتاژ کمکی الکترونی در محافظ گیرنده رادار پرداخته‌ایم، ابتدا با استفاده از کد محاسباتی MCNPX به محاسبه انرژی برجای مانده و سپس، چگالی الکترونی در

اکتیویته ۱۰۰ میکرو کوری، ۱ میلی کوری، ۱۰ میلی کوری و ۱۰۰ میلی کوری استخراج کرده‌ایم (شکل ۱ را مشاهده کنید). در ادامه فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد را در این اکتیویته‌ها را بدست آورده‌ایم (شکل‌های ۲ و ۳ را مشاهده کنید). با استفاده از فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد بدست آمده به شبیه‌سازی محیط مخلوط (یونیزه) از نرم افزار CST استفاده کرده‌ایم و میدان الکتریکی را برای فرکانس ۱۲ گیگا هرتز و امپدانس ۵۰ اهم را بدست آورده‌ایم. (شکل ۶ و ۷ را مشاهده کنید). در شکل ۸ میدان الکتریکی کمکی در اکتیویته ۱۰۰ میکرو کوری، ۱ میلی کوری، ۱۰ میلی کوری و ۱۰۰ میلی کوری را برای محافظ گیرنده بدست آورده‌ایم که نشان می‌دهد با افزایش میزان اکتیویته، میزان میدان الکتریکی کمکی افزایش یافته که می‌تواند منجر به تولید ولتاژ شکست قابل اعتماد برای موج‌های ورودی تخریبی در گیرنده‌های رادار گردد.

فهرست منابع

- محسن دهقان، روح اله رضوی نژاد، مرتضی رمضانی.(۱۳۹۸). کاهش سطح مقطع راداری یک صفحه تخت مربعی با استفاده از پوشش پلاسمایی ناشی از ذرات آلفا، مجله علمی و پژوهشی علوم و فناوری‌های پدافند نوین، سال دهم، شماره ۲، ص ۱۲۳-۱۲۹.
- مریم مستأجران، فیروزه کاظمی، سعید حجازی. (۱۳۹۵). آموزش شبیه‌سازی ساختارهای الکترومغناطیسی با استفاده از نرم‌افزار CST STUDIO SUITE، انتشارات دانشگاه یزد، یزد.
- R. Lake. et al. (1973). U.S. Patent No. 3,781,719 .
- Cook, M. Shapiro, R. TemkinLi, Pressure dependence of plasma structure in microwave gas breakdown at 110 GHz, Appl. Phys. Lett. 97, 011504 (2010).
- M. L. Nussbaum and W. E. Zitelli.(1981). U.S. Patent No. 4,245,197 .
- D. P. Landau and K. Binder,(2014). A guide to Monte Carlo simulations in statistical physics,Cambridge university press.
- H. Singh, S. Antony, M. Rakesh,(2016). Plasma-based Radar Cross Section Reduction. Singapore, Springer.
- J. Loschmidt,(1995). On the Size of the Air Molecules, J. Chem. Educ.72, 870-875.