

ORIGINAL ARTICLE

Electrical Characterization of a Grid Surface Plasma System with Quartz and Alumina Dielectrics at Different Voltages Using Current Measurement with a Rogowski Coil

Amenh Kargarian¹, Soolmaz Jamali^{2*}

1 Assistant Professor, Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran.

2 Assistant Professor, Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran.

Correspondence

Soolmaz Jamali

Email: sjamali@aeoi.org.ir

How to cite

Kargarian, A. Jamali, S. (2026). Electrical Characterization of a Grid Surface Plasma System with Quartz and Alumina Dielectrics at Different Voltages Using Current Measurement with a Rogowski Coil, *Optoelectronic*, 8(3), 41-48.

ABSTRACT

Nowadays, due to the importance of energy consumption in industrial applications of plasma generation systems, the electrical characterization of their parameters is very important. In this paper, the power consumption of a surface dielectric barrier discharge plasma system with a grid structure, utilizing two different dielectric materials, quartz and alumina, was measured and compared at various applied voltages. The main objective is to investigate the effect of the dielectric material on the power consumption of the grid surface plasma system under different voltage conditions. To measure the discharge current and calculate power consumption, a Rogowski coil-based current measurement method was employed. This method allows for precise recording of the fast and transient currents present during the plasma discharge process. The results indicate that the type of dielectric material has a significant impact on the system's power consumption. Specifically, alumina, due to its distinct electrical and thermal properties, leads to lower power consumption compared to quartz. The findings of this study can be useful for the optimal selection of dielectric materials in the design of high-efficiency plasma systems for various industrial, medical, and environmental applications.

KEYWORDS

Surface Dielectric Barrier Discharge, Electrical Characterization, Quartz, Alumina, Rogowski Coil.

فصلنامه علمی

اپتوالکترونیک

«مقاله پژوهشی»

مشخصه‌یابی الکتریکی سامانه پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک‌های کوارتز و آلومینا در ولتاژهای مختلف با استفاده از روش اندازه‌گیری جریان با پیچه روگوفسکی

آمنه کارگریان^۱، سولماز جمالی^{۲*}

چکیده

امروزه به دلیل اهمیت مصرف انرژی در کاربرد سامانه‌های تولید پلازما در صنعت، مشخصه‌یابی پارامترهای الکتریکی آن‌ها بسیار مهم است. در این مقاله، توان مصرفی سامانه تولید پلاسمای سد دی‌الکتریک سطحی با ساختار مشبک با استفاده از دو نوع دی‌الکتریک متفاوت، کوارتز و آلومینا، در ولتاژهای مختلف اندازه‌گیری و مقایسه شده است. هدف اصلی بررسی تأثیر جنس دی‌الکتریک بر میزان توان مصرفی سامانه پلاسمای سطحی مشبک در شرایط مختلف اعمال ولتاژ است. برای اندازه‌گیری جریان تخلیه و محاسبه توان مصرفی، روش اندازه‌گیری جریان با استفاده از پیچه روگوفسکی به کار گرفته شده است که امکان ثبت دقیق جریان‌های سریع و گذرای موجود در فرآیند تخلیه پلازما را فراهم می‌سازد. نتایج نشان می‌دهد که نوع دی‌الکتریک تأثیر قابل توجهی بر توان مصرفی سامانه دارد؛ به طوری که آلومینا در مقایسه با کوارتز، به دلیل ویژگی‌های الکتریکی و حرارتی خاص خود، منجر به کاهش توان مصرفی می‌شود. نتایج حاصل از این مقاله می‌تواند در انتخاب بهینه مواد دی‌الکتریک برای طراحی سامانه‌های پلازما با کارایی بالا در کاربردهای مختلف صنعتی، پزشکی و زیست‌محیطی مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی

تخلیه سد دی‌الکتریک سطحی، مشخصه‌یابی الکتریکی، کوارتز، آلومینا، پیچه روگوفسکی.

۱ استادیار، پژوهشکده پلازما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.
۲ استادیار، پژوهشکده پلازما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.

نویسنده مسئول:

سولماز جمالی

رایانامه: sjamali@aeoi.org.ir

استناد به این مقاله:

آمنه کارگریان، سولماز جمالی (۱۴۰۵). مشخصه‌یابی الکتریکی سامانه پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک‌های کوارتز و آلومینا در ولتاژهای مختلف با استفاده از روش اندازه‌گیری جریان با پیچه روگوفسکی. فصلنامه علمی اپتوالکترونیک، ۸(۳)، ۴۸-۴۱

مقدمه

پلازما، به واسطه ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود همچون رسانایی الکتریکی، واکنش‌پذیری شیمیایی بالا و قابلیت تولید در فشارهای پایین و اتمسفری، در سال‌های اخیر جایگاه ویژه‌ای در صنایع پیشرفته و تحقیقات علمی پیدا کرده است. پلازماهای سرد فشار اتمسفر جایگزین جالبی برای پلازماهای کم فشار هستند؛ زیرا امکان اجتناب استفاده از سیستم‌های خلاء پیچیده را فراهم می‌کند. برای تولید پلازماهای سرد از روش‌ها و ابزارهای مختلف استفاده می‌شود. انواع تخلیه الکتریکی مانند تخلیه سد دی‌الکتریک، تخلیه ریزموج و تخلیه الکتریکی رادیوفرکانسی از جمله روش‌های ایجاد پلازما سرد است [۱-۳].

در میان انواع مختلف منابع پلاسمایی، تخلیه سد دی‌الکتریک^۱ به دلیل تطبیق‌پذیری و سادگی راه‌اندازی بسیار مورد توجه هستند. تولید پلازماهای سرد اتمسفری به روش تخلیه سد دی‌الکتریک نسبت به روش‌های دیگر، دارای مزایای بسیاری از قبیل دمای پایین گاز، نداشتن پسماندهای گازی، طول عمر کوتاه گونه‌های فعال شیمیایی، هزینه کم و عدم نیاز به خلاء است. به همین جهت، از این روش در زمینه‌های پزشکی و علوم زیستی استفاده می‌شود. تخلیه سد دی‌الکتریک دارای کاربردهای متنوعی است. به همین منظور متناسب با کاربرد دارای پیکربندی و ساختار متفاوتی است. تخلیه سد دی‌الکتریک از لحاظ پیکربندی به سه دسته تقسیم می‌شود که شامل تخلیه حجمی، تخلیه هم‌صفحه و تخلیه سطحی است. در این میان پلازماهای تولیدی به روش تخلیه سطحی دارای ساختار ساده، ایمنی بالا و قابلیت بهره‌برداری در فشار اتمسفر بوده و به راحتی قابل کنترل است. همچنین در این روش، هزینه پردازش در مقایسه با سایر روش‌های تولید پلازماهای کم فشار پایین است [۴-۶].

در سامانه‌های پلاسمای سطحی، شناخت دقیق رفتار الکتریکی تخلیه و توان مصرفی آن از اهمیت بالایی برخوردار است؛ چرا که این پارامترها مستقیماً بر ویژگی‌های پلازما، از جمله دما، چگالی ذرات باردار و یکنواختی تخلیه، تأثیرگذارند. توان مصرفی یکی از شاخص‌های کلیدی در طراحی و ارزیابی عملکرد سامانه‌های پلازما به‌شمار می‌رود؛ به‌ویژه زمانی که بازده انرژی و بهره‌وری فرایند مورد توجه باشد [۷-۱۰]. برای اندازه‌گیری توان مصرفی در چنین سامانه‌هایی، نیاز به ثبت دقیق جریان‌های گذرای ناشی از تخلیه پلازما وجود دارد. یکی

از ابزارهای پرکاربرد و مؤثر برای این منظور، پیچه روگوفسکی^۲ است که به‌صورت غیرتماسی و با دقت بالا می‌تواند جریان‌های سریع و پالسی را اندازه‌گیری نماید. با تحلیل سیگنال‌های جریان حاصل از پیچه و ولتاژ اعمالی، می‌توان توان لحظه‌ای و میانگین سامانه را استخراج و بررسی کرد.

نوع دی‌الکتریک استفاده‌شده در ساختار تخلیه سد دی‌الکتریک بسیار اهمیت دارد. معمولاً در تخلیه سد دی‌الکتریک از عایق‌هایی استفاده می‌شود که دارای استحکام بالا و همچنین مقاومت الکتریکی و حرارتی بالایی باشند. در واقع درجه استحکام این مواد از اهمیت بسزایی برخوردار است تا در مقابل برخوردهای الکترون - یونی استقامت خوبی داشته و به مرور زمان فرسوده نشوند. دو ماده دی‌الکتریک پرکاربرد در ساخت سامانه‌های تولید پلاسمای سطحی، کوارتز و آلومینا هستند که به‌دلیل خواص الکتریکی، حرارتی و شیمیایی متفاوت، می‌توانند پاسخ‌های الکتریکی متفاوتی در سامانه‌های پلازما ایجاد کنند. بررسی و مقایسه توان مصرفی در حضور این مواد در شرایط کاری مختلف، به‌ویژه در ولتاژهای گوناگون، به درک بهتر رفتار سامانه و بهینه‌سازی طراحی آن کمک می‌کند.

در این مقاله توان مصرفی دستگاه تولید پلاسمای سطحی با ساختار مشبک با دو جنس دی‌الکتریک متفاوت، آلومینا و کوارتز، در ولتاژهای مختلف اندازه‌گیری و مقایسه شد. برای محاسبه توان مصرفی از روش اندازه‌گیری جریان با استفاده از پیچه روگوفسکی استفاده شد. محاسبه توان مصرفی در سامانه‌های تولید پلازما اهمیت زیادی دارد؛ زیرا این پارامتر نقش مهمی در مقایسه عملکرد طراحی‌های مختلف این سامانه‌ها دارد. علاوه بر این، در استفاده‌های کاربردی سامانه تولید پلازما در صنعت، دسترسی به داده‌های دقیق مربوط به مصرف انرژی ضروری است. این داده‌ها به عنوان عاملی مهم در طراحی منابع تغذیه ولتاژ بالای کارآمد و سبک شناخته می‌شوند. در بخش دوم مقاله، ساخت دستگاه تولید پلاسمای سطحی گزارش شده و اجزای آن معرفی می‌شود. بخش سوم به توصیف مدار الکتریکی معادل سامانه و اندازه‌گیری تجربی توان مصرفی سامانه در ولتاژهای مختلف و تحلیل نتایج اختصاص داده شده است. خلاصه‌ای از نتایج نیز در بخش چهارم مقاله گزارش شده است. نتایج حاصل می‌تواند در انتخاب منبع تغذیه ولتاژ- بالای کارآمدتر و همچنین انتخاب مواد بهینه دی‌الکتریک برای طراحی سامانه‌های پلاسمای

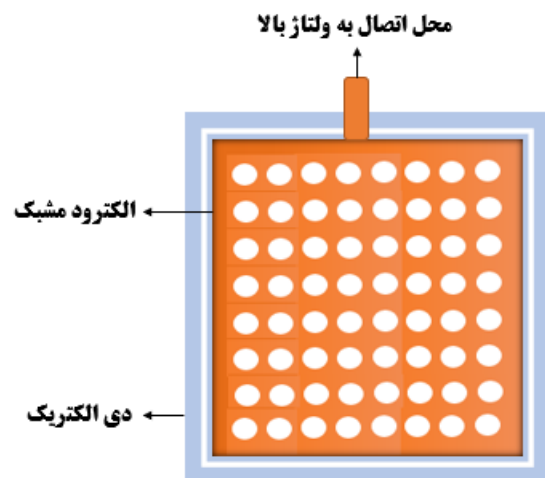
سطحی با ساختار مشبک جهت کاربرد در صنایع مختلف حائز اهمیت باشد.

مواد و روش تحقیق

دستگاه تولید پلاسمای تخلیه سد دی‌الکتریکی سطحی مشبک

دستگاه تولید پلاسمای به روش تخلیه سد دی‌الکتریکی سطحی از دو الکتروود موازی که یکی از الکتروودها بزرگ‌تر از دیگری است تشکیل شده است به گونه‌ای که لایه دی‌الکتریکی فضای بین دو الکتروود را کامل می‌پوشاند. این ساختار طوری طراحی می‌شود که یکی از الکتروودها به زمین و الکتروود دیگر به ولتاژ بالای متناوب وصل می‌شود. در این پیکربندی، فرآیند تخلیه در طول لایه دی‌الکتریکی صورت گرفته و هیچ گونه تخلیه در گپ صورت نمی‌گیرد.

نوع دی‌الکتریکی استفاده‌شده در ساختار تخلیه سد دی‌الکتریکی بسیار اهمیت دارد. معمولاً در تخلیه سد دی‌الکتریکی از عایق‌هایی استفاده می‌شود که این عایق‌ها دارای استحکام بالا و همچنین ثابت دی‌الکتریکی بالایی هستند. الکتروودها نیز باید به گونه‌ای انتخاب شوند که دارای رسانایی الکتریکی بالا باشند و مقاوم در برابر خوردگی باشند. در این تحقیق، از فلز مس به عنوان الکتروود استفاده شده است و از دو عایق کوارتز و آلومینا به طور جداگانه برای ساخت دی‌الکتریکی استفاده شده است. ساختار در نظر گرفته‌شده برای الکتروود بالایی ساختار مشبک و برای الکتروود پایینی تخت است. شکل ۱ تصویر شماتیک از سامانه تولید پلاسمای به روش تخلیه سد دی‌الکتریکی سطحی با ساختار مشبک را نشان می‌دهد.



شکل ۱. تصویر شماتیک از سامانه تولید پلاسمای به روش تخلیه سد دی‌الکتریکی سطحی با ساختار شانه‌ای.

پس از اتصال به منبع تغذیه و چینش مدار الکتریکی مناسب، فرآیند تخلیه در پیکربندی تخلیه سد دی‌الکتریکی سطحی در طول لایه دی‌الکتریکی صورت گرفته و هیچ گونه تخلیه در گپ صورت نمی‌گیرد.

محاسبه توان مصرفی به روش اندازه‌گیری جریان با پیچه روگوفسکی

در روش اندازه‌گیری جریان با استفاده از پیچه روگوفسکی، توان لحظه‌ای از ضرب سیگنال‌های ولتاژ و جریان به صورت زیر به دست می‌آید [۷].

$$P(t) = V(t)I(t) \quad (1)$$

که در آن، $V(t)$ نشان‌دهنده ولتاژ اعمال‌شده به سامانه پلاسمای سطحی مشبک، $I(t)$ جریان تخلیه در سامانه و $P(t)$ توان لحظه‌ای است. توان میانگین P_a نیز از میانگین‌گیری توان لحظه‌ای در یک دوره زمانی T به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\overline{P_a} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t)I(t)dt \quad (2)$$

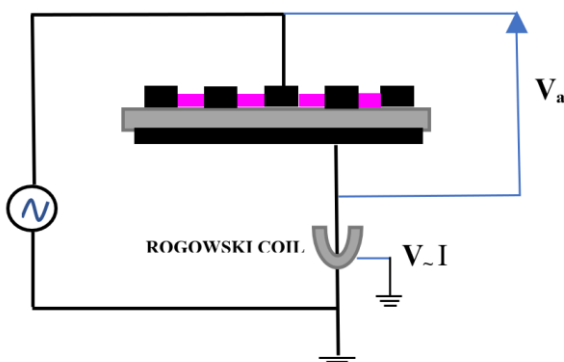
تحول توان میانگین به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\overline{P} = \frac{1}{t} \int_0^T V(t')I(t')dt' \quad (3)$$

بنابراین توان متوسط در یک دوره تناوب برابر با تحول توان متوسط در انتهای یک دوره تناوب است:

$$\overline{P_a} = P(t = T) \quad (4)$$

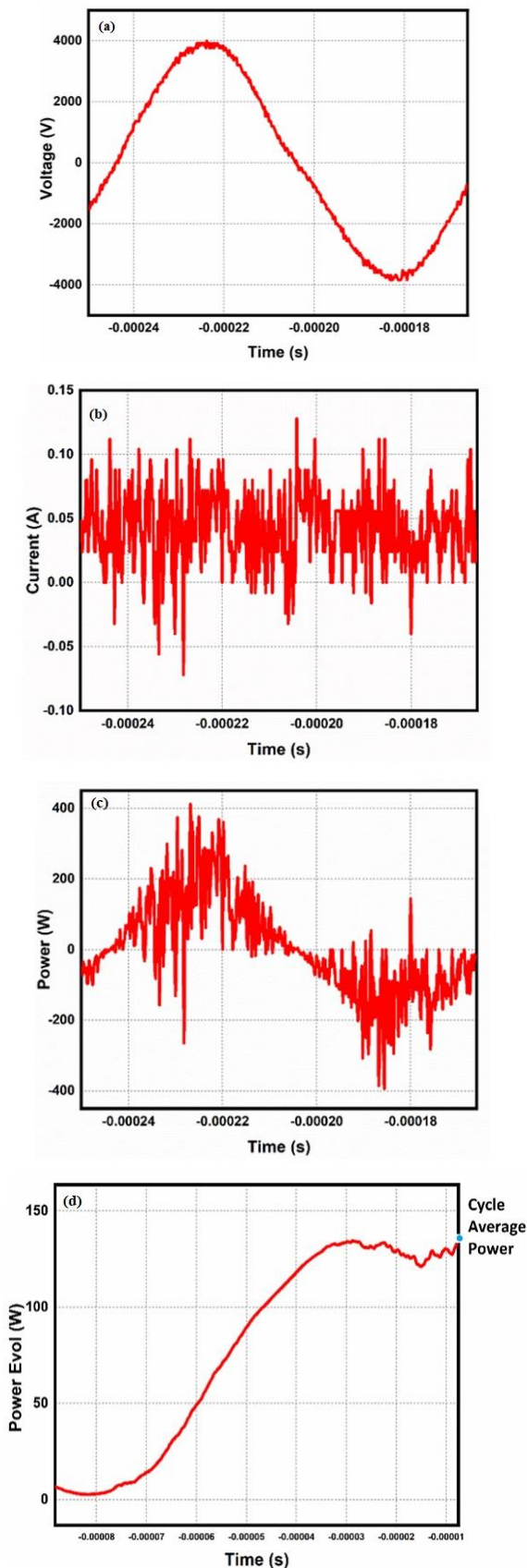
شکل ۲ نمودار جریان الکتریکی در روش اندازه‌گیری جریان با استفاده از پیچه روگوفسکی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار جریان الکتریکی در روش اندازه‌گیری جریان با پیچه روگوفسکی.

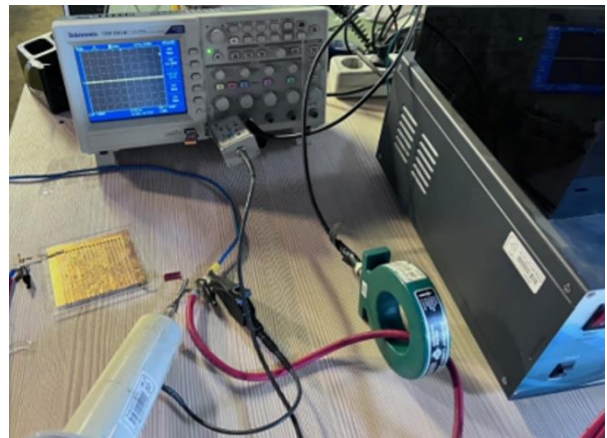
چیدمان آزمایشگاهی

برای اندازه‌گیری و مقایسه توان مصرفی سامانه‌های تخلیه سد دی‌الکتریکی سطحی مشبک با دی‌الکتریکی‌های متفاوت،



شکل ۴. تحول زمانی الف) ولتاژ اعمالی؛ ب) جریان؛ ج) توان لحظه‌ای و د) تحول توان متوسط برای سامانه پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک کوارتز.

مطابق با نمودار مدار الکتریکی نمایش داده شده در شکل ۲، از پروب ولتاژ و اسیلوسکوپ برای ثبت و نمایش سیگنال‌های ولتاژ و جریان استفاده شد. برای اندازه‌گیری جریان در روش جریان الکتریکی، از یک سیم‌پیچ روگوفسکی استفاده شد. داده‌های به‌دست‌آمده در اسیلوسکوپ ذخیره و متعاقباً به یک کامپیوتر رومیزی منتقل شدند. تصویر چیدمان آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری توان مصرفی و منحنی‌های جریان و ولتاژ اندازه‌گیری‌شده برای سامانه پلاسمای سطحی ساخته‌شده با دی‌الکتریک‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است.



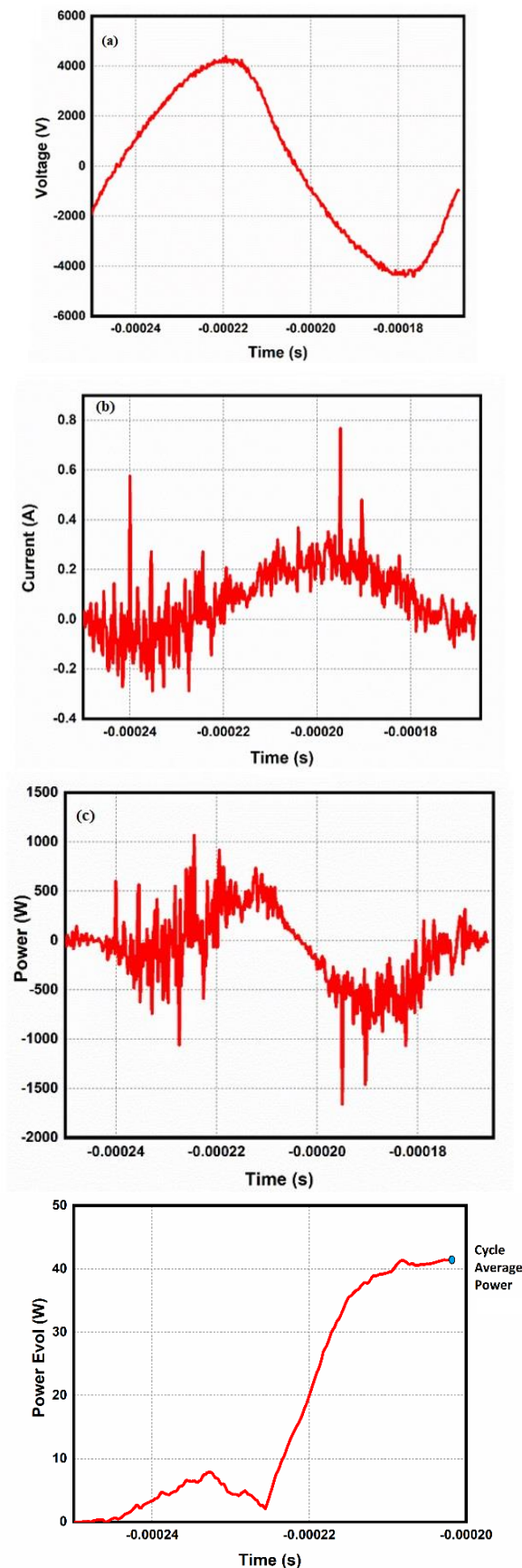
شکل ۳. چیدمان آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری توان مصرفی به روش اندازه‌گیری جریان با پیچه روگوفسکی

نتایج و بحث

برای اندازه‌گیری توان مصرفی سامانه تولید پلاسمای سطحی مشبک، ولتاژ اعمالی به سامانه با دی‌الکتریک‌های مختلف در محدوده ۳ تا ۸ کیلوولت و با فرکانس ۱۲ کیلوهرتز است. فشار کاری سامانه، فشار اتمسفر است و گاز استفاده‌شده هوا است.

اندازه‌گیری توان مصرفی سامانه پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک کوارتز

نتایج به‌دست‌آمده از روش اندازه‌گیری جریان الکتریکی با استفاده از پیچه روگوفسکی برای محاسبه توان مصرفی سامانه تولید پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک کوارتز در شکل ۴ نشان داده شده است. در اینجا، ولتاژ اعمالی ۷ کیلوولت و فرکانس ۱۲ کیلوهرتز است. نمودار ۴ الف ولتاژ سینوسی اعمالی را نمایش می‌دهد. نمودار ۵ ب جریان نمایش داده‌شده توسط پیچه روگوفسکی را نشان می‌دهد.



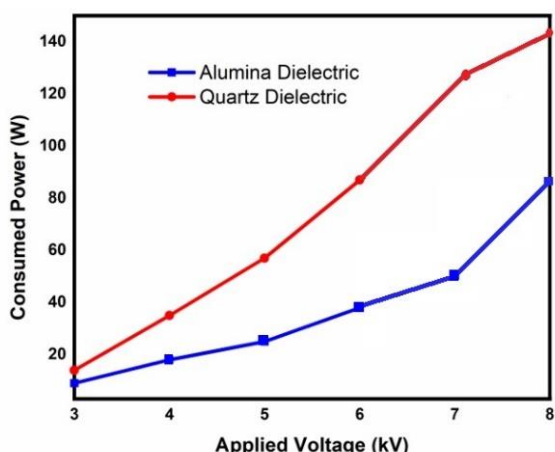
شکل ۵. تحول زمانی الف) ولتاژ اعمالی ب) جریان ج) توان لحظه‌ای و د) تحول توان متوسط برای سامانه پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک آلومینا.

نمودار ۴ ج توان لحظه‌ای را که از حاصل ضرب ولتاژ در جریان محاسبه می‌شود را نشان می‌دهد (رابطه ۱). نمودار ۴ د تحول توان میانگین تجمعی را نشان می‌دهد که با انتگرال‌گیری از توان لحظه‌ای و نرمالیزه کردن آن در یک دوره تناوب به دست می‌آید (رابطه ۲). آخرین نقطه در $t = T$ توان متوسط دوره تناوب را نشان می‌دهد (رابطه ۳). بر اساس نمودار ۴ ج مقدار توان مصرفی به دست آمده با استفاده از این روش در حدود ۱۳۰ وات به دست می‌آید.

اندازه‌گیری توان مصرفی سامانه پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک آلومینا

شکل ۵ نتایج به دست‌آمده برای محاسبه توان مصرفی با استفاده از روش جریان الکتریکی برای سامانه تولید پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک آلومینا را نشان می‌دهد. در اینجا، ولتاژ اعمالی ۷ کیلوولت و فرکانس ۱۲ کیلوهرتز است. نمودار ۵ الف ولتاژ سینوسی اعمالی را نمایش می‌دهد. نمودار ۵ ب جریان نمایش داده‌شده توسط پیچه روگوفسکی را نشان می‌دهد. نمودار ۵ ج توان لحظه‌ای را که از حاصل ضرب ولتاژ در جریان محاسبه می‌شود را نشان می‌دهد (رابطه ۱). نمودار ۵ د تحول توان میانگین تجمعی را نشان می‌دهد که با انتگرال‌گیری از توان لحظه‌ای و نرمالیزه کردن آن در یک دوره تناوب به دست می‌آید (رابطه ۲). آخرین نقطه در $t = T$ توان متوسط دوره تناوب را نشان می‌دهد (رابطه ۳). بر اساس نمودار ۵ ج توان مصرفی به دست‌آمده با استفاده از این روش برابر ۴۲ وات است. در مطالعات پیشین توان مصرفی سامانه تخلیه سد دی‌الکتریک سطحی با استفاده از روش خازن ناظر نیز انجام گرفته است که مقایسه نتایج به دست‌آمده از روش پیچه روگوفسکی با روش خازن ناظر توافق قابل قبولی در نتایج را نشان می‌دهد [۸ و ۹].

می‌یابد [۱۰ و ۱۱].



شکل ۶. تغییر توان مصرفی سامانه تولید پلاسمای سطحی مشبک بر حسب ولتاژ برای دو دی‌الکتریک آلومینا و کوارتز.

نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، با استفاده از روش اندازه‌گیری جریان با پیچ‌رگوفسکی به بررسی تأثیر ولتاژ معادل مدار الکتریکی و همچنین ویژگی‌های دی‌الکتریک استفاده‌شده روی توان مصرفی سامانه تولید پلاسمای سطحی مشبک پرداخته شده است. اندازه‌گیری پارامترهای الکتریکی از جمله توان مصرفی به دلیل اهمیت مصرف انرژی در کاربرد پلاسمای صنعتی حائز اهمیت است. سامانه پلاسمایی طراحی و ساخته شده دارای ساختار الکتروود مشبک است و جنس دی‌الکتریک‌های استفاده‌شده در این سامانه، آلومینا و کوارتز است. نتایج حاصل از محاسبات توان مصرفی و اندازه‌گیری‌های تجربی نشان می‌دهد که توان مصرفی سامانه با افزایش ولتاژ معادل مدار الکتریکی، افزایش می‌یابد. همچنین، بررسی تغییرات توان مصرفی سامانه پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک‌های مختلف نشان می‌دهد که جنس دی‌الکتریک استفاده‌شده در میزان توان مصرفی بسیار تأثیرگذار است. در بررسی انجام‌شده دی‌الکتریک آلومینا به دلیل داشتن ثابت دی‌الکتریک بالاتر منجر به کاهش چشمگیر توان مصرفی سامانه نسبت به دی‌الکتریک کوارتز می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده می‌توانند در بهینه‌سازی طراحی سامانه‌های پلاسمای، کاهش تلفات انرژی و افزایش کارایی فرایندهای پلاسمای محور نقش مؤثری ایفا کنند.

مقایسه توان مصرفی سامانه پلاسمای سطحی مشبک با دی‌الکتریک‌های کوارتز و آلومینا در ولتاژهای مختلف

برای بررسی تأثیر ولتاژ اعمالی روی توان مصرفی سامانه تولید پلاسمای سطحی مشبک و همچنین بررسی تأثیر ویژگی‌های دی‌الکتریک روی توان مصرفی، میزان توان مصرفی با تغییر ولتاژ برای دو سامانه تولید پلاسمای جنس دی‌الکتریک‌های مختلف آلومینا و کوارتز اندازه‌گیری شد. ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های این دو دی‌الکتریک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های دو دی‌الکتریک آلومینا و کوارتز

دی‌الکتریک	ترکیب شیمیایی	ثابت دی‌الکتریک	رسانایی حرارتی	ظرفیت
آلومینا	Al ₂ O ₃	۹/۶	۲۹	۳۷۳/۲
کوارتز	SiO ₂	۳/۸	۱/۴	۱۲۲/۱

ولتاژ اعمالی از ۳ کیلوولت تا ۸ کیلوولت تغییر داده شد؛ در حالی که فرکانس سیستم ثابت در نظر گرفته می‌شود. توان مصرفی محاسبه شده وابستگی خطی با ولتاژ اعمالی را نشان می‌دهد و می‌تواند به عنوان منحنی کالیبراسیون برای تعیین توان خروجی مطلوب برای دستگاه‌های خاص عمل کند. در شکل ۶، منحنی‌های تغییر توان مصرفی سامانه تولید پلاسمای بر حسب ولتاژ برای دو دی‌الکتریک آلومینا و کوارتز نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش ولتاژ ورودی منجر به افزایش قابل توجه در توان تخلیه الکتریکی می‌شود که این امر منجر به تعداد بیشتری از تخلیه‌ها و در نتیجه تولید پلاسمای مطلوب‌تر و با شدت بیشتر می‌گردد. علاوه بر این، بررسی نمودارهای تغییر توان مصرفی بر حسب ولتاژ برای سامانه پلاسمای با دی‌الکتریک‌های مختلف نشان می‌دهد که توان مصرفی سامانه مورد نظر با کاهش گذردهی نسبی یا ثابت دی‌الکتریک، افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، در ولتاژهای یکسان، میزان توان مصرفی سامانه پلاسمای مشبک برای دی‌الکتریک آلومینا کمتر از کوارتز است. اساساً، ثابت دی‌الکتریک بالاتر منجر به قطبش قوی‌تر ماده دی‌الکتریک می‌شود که با افزایش میدان الکتریکی منجر به کاهش ولتاژ شکست سامانه می‌شود. در نتیجه، توان مصرفی سامانه تولید پلاسمای سطحی مشبک با افزایش ثابت گذردهی دی‌الکتریک استفاده‌شده کاهش

منابع

References

[1] He, J., Wen, X., Wu, L., Chen, H., Hu, J., Hou, X. (2022). Dielectric barrier discharge plasma for nanomaterials: Fabrication, modification and

analytical applications. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 156, 116715. <https://doi.org/10.1016/j-trac.2022.116715>

- [2] Turan, N., Barboun, P. M., Nayak, P. K., Hicks, J. C., Go, D. B. (2020). Development of a small-scale helical surface dielectric barrier discharge for characterizing plasma–surface interfaces. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(27), 275201. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab7f1a>
- [3] Obileke, K., Onyeaka, H., Miri, T., Nwabor, O. F., Hart, A., Al-Sharif, Z. T., Anumudu, C. (2022). Recent advances in radio frequency, pulsed light, and cold plasma technologies for food safety. *Journal of Food Process Engineering*, 45(10), e14138. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14138>
- [4] Guragain, R. P., Baniya, H. B., Dhungana, S., Gautam, S., Pandey, B. P., Joshi, U. M., Subedi, D. P. (2020). Characterization of dielectric barrier discharge (DBD) produced in air at atmospheric pressure and its application in surface modification of high-density polyethylene (HDPE). *The Journal of Technological and Space Plasmas*, 1(1), 27–35.
- [5] Kargarian, A., Jamali, S., Bakhshzad Mahmoudi, M. (2024). Design and construction of a plasma generation device using the surface dielectric barrier discharge (SDBD) method in a laboratory scale. *Iranian Journal of Applied Physics*, 14(3), 41–52.
- [6] Pierotti, G., Piferi, C., Popoli, A., Cavedon, M., Cristofolini, A., Martines, E., & Riccardi, C. (2023). A novel two-stage kinetic model for surface DBD simulations in air. *Plasma Sources Science and Technology*, 32(6), 064005. <https://doi.org/10.1088/1361-6595/acd8a6>
- [7] Ashpis, D. E., Laun, M. C., Griebeler, E. L. (2012, May). Progress toward accurate measurements of power consumptions of DBD plasma actuators [Conference paper]. *50th Aerospace Sciences Meeting*. <https://doi.org/10.2514/6.2012-1135>
- [8] Jamali, S., Kargarian, A., Razavinia, N., Bakhshzad Mahmoudi, M. (2024). Comparing the power consumption of the surface dielectric barrier discharge (SDBD) plasma devices with grid and comb structures. *Quarterly Journal of Optoelectronic*, 6(4), 35–42. [In Persian]
- [9] Kargarian, A., Jamali, S., Bakhshzad Mahmoudi, M. (2024). Design and Construction of a Plasma Generation Device Using the Surface Dielectric Barrier Discharge (SDBD) Method in a Laboratory Scale. *Journal of Applied Physics*, 14(38), 41–52. <https://doi.org/10.22051/ijap.2024.45959.1379>
- [10] Nur, M., Restiwijaya, M., Muchlisin, Z., Susan, I. A., Arianto, F., Widyanto, S. A. (2016, November). Power consumption analysis DBD plasma ozone generator. *Journal of Physics: Conference Series*, 776(1), 012101. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/776/1/012101>
- [11] Kriegseis, J., Möller, B., Grundmann, S., Tropea, C. (2011). Capacitance and power consumption quantification of dielectric barrier discharge (DBD) plasma actuators. *Journal of Electrostatics*, 69(4), 302–312. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2011.04.005>