

# طراحی و ساخت مولد ولتاژ بالای AC مربعی با آفست DC متغیر و بررسی اثرات آن روی پلاسمای فشار اتمسفری

محمد شیرزادی<sup>۱</sup> محمد رضائزاد<sup>۲</sup> فرشاد صحبت زاده<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه علوم و فنون مازندران- بابل- ایران  
[mohammad.shirzadi1988@gmail.com](mailto:mohammad.shirzadi1988@gmail.com)

۲- استادیار- دانشکده مهندسی و فناوری- دانشگاه مازندران - بابلسر- ایران  
[m.rezanejad@umz.ac.ir](mailto:m.rezanejad@umz.ac.ir)

۳- استاد- دانشکده علوم پایه- دانشگاه مازندران- بابلسر- ایران  
[f.sohbat@umz.ac.ir](mailto:f.sohbat@umz.ac.ir)

**چکیده:** در این مقاله یک مولد ولتاژ بالا با قابلیت تولید ولتاژ AC مربعی و آفست DC متغیر، جهت بررسی تاثیر پارامترهای مختلف ولتاژ (اعم از دامنه و فرکانس) در تولید پلاسمای فشار اتمسفری پیشنهاد شده است. مدار ارائه شده دارای ساختار ساده و کاملاً کاربردی می‌باشد. این منبع تغذیه که قابلیت تولید ولتاژ AC متغیر مربعی با دامنه حداکثر ۱۲ کیلو ولت پیک تا پیک و فرکانس ۱۵ کیلوهرتز و آفست DC متغیر با دامنه حداکثر ۲۵ کیلوولت را دارد، ابتدا در آزمایشگاه الکترونیک قدرت به صورت عملی پیاده‌سازی گردید، سپس جهت بررسی اثر نسبت ولتاژ DC به AC مربعی بر روی تولید و انتشار پلاسمای فشار اتمسفری به فواصل دورتر، در آزمایشگاه فیزیک مورد تست نهایی قرار گرفت. با ثبت مقادیر و اطلاعات مربوط به ولتاژ و جریان تخلیه، تاثیرات مقادیر DC و AC مربعی بر روی آستانه روشن شدن پلاسما و همچنین انتشار و انتقال آن بررسی شد.

**واژه‌های کلیدی:** مولد دو قطبی، کلیدهای قدرت، چند برابر کننده، پلاسمای فشار اتمسفری

**نوع مقاله:** پژوهشی

**DOI: 10.52547/jiaeee.19.4.49**

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر محمد رضائزاد

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - مازندران - بابلسر - پردیس دانشگاه مازندران - دانشکده‌ی مهندسی و فناوری

## ۱- مقدمه

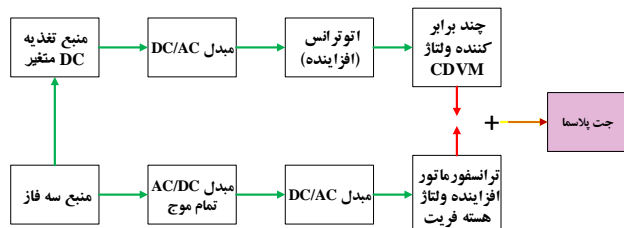
شکل موج ترکیبی DC و AC (دندان اره‌ای) با فرکانس‌های مختلف، پرداخته شده است.

در [۱۶] یک نوع اینورتر منبع امیدانسی چند طبقه با قابلیت ضریب افزایش ولتاژ بالا ارائه شده است که عمل افزایش ولتاژ را از ترکیب منبع ورودی ولتاژ و شبکه‌های منبع امیدانسی انجام می‌دهد. در [۱۷] مزایای استفاده از ترانسفورماتور فرکانس بالا ایجاد ایزولاسیون الکتریکی بین ورودی و خروجی، افزایش قابلیت اطمینان سیستم و کاهش تداخل الکتریکی یاد شده است.

هدف از این مقاله طراحی و ساخت یک منبع تغذیه ولتاژ بالا با قابلیت تولید ولتاژ AC مربعی و آفست DC متغیر و بررسی اثرات آن روی پلاسما فشار اتمسفری می‌باشد. یکی از روشهای تولید ولتاژ DC با دامنه بالا استفاده از مدارهای چند برابر کننده ولتاژ می‌باشد. همچنین جهت تولید موج پالسی AC مربعی نیز روشهای مختلفی وجود دارد، اما تولید ولتاژ AC مربعی با دامنه بالا در حد چند کیلوولت نیز محدودیت‌هایی در عمل به دنبال دارد. نکته نهایی جمع نمودن یا به نوعی ترکیب خروجی این دو منبع با یکدیگر است بطوریکه در خروجی یک شکل موج ترکیبی DC و AC داشته باشیم تا بتوان دامنه این دو موج ترکیب شده را به نحوه دلخواه و مستقل از یکدیگر تغییر داد و در نهایت تاثیر سطوح مختلف ولتاژهای AC مربعی و DC را بر روشن شدن و پایدار ماندن پلاسما مورد بررسی قرار دهیم. این عمل در مطالعات قبلی مورد آزمایش قرار نگرفته و باعث شده تا با یک شیوه جدید در آزمایشات پلاسما فشار اتمسفری و بررسی عملکرد این نوع شکل موج بر روی پلاسما مواجه شویم. بر این اساس یک منبع ولتاژ بالا با ساختاری ساده و کارا با استفاده از مبدل تمام‌پل، ترانس افزایشنده و چندبرابرکننده ولتاژ پیشنهاد می‌شود.

## ۲- ارائه ساختار پیشنهادی

همانطور که در بخش قبل ذکر شد ساختارهای مختلفی در مقالات و صنعت جهت تولید منابع ولتاژ بالا مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجاکه تاثیر شکل موج AC مربعی با آفست DC بر روی پلاسما فشار اتمسفری مورد بررسی قرار نگرفته است، لذا ارائه یک ساختار کاربردی و ساده جهت استفاده در این زمینه، هدف این مقاله می‌باشد. با توجه به مطالب بیان شده و ساختار مدارات مختلف ولتاژ بالا، ساختار مفهومی منبع تغذیه موردنظر به صورت شکل (۱) پیشنهاد می‌شود.



شکل (۱): ساختار مفهومی مدار پیشنهادی

امروزه با پیشرفت تکنولوژی در زمینه ساخت نیمه‌هادی‌های الکترونیک قدرت امکان دستیابی به ولتاژ و جریان بالاتر فراهم شده که سبب رشد بکارگیری تجهیزات الکترونیک قدرت در صنعت شده است. این مبدل‌ها در حوزه‌های مختلفی چون شتاب‌دهنده‌های هسته‌ای، شکل‌دهی و سخت‌کاری فلزات، تغذیه لیزرها، زمینه‌های پزشکی و علی‌الخصوص تولید پلاسما فشار اتمسفری مورد استفاده قرار گرفته که باعث توسعه منابع تغذیه ویژه‌ای، بنام منابع تغذیه ولتاژ بالا شده است. پلاسماهای فشار اتمسفری به دلیل واکنش‌پذیری شیمیایی بالا و کار در فضای آزاد و دمای اتاق در صنعت و پزشکی بسیار مورد توجه واقع شده‌اند. علاوه بر مزیت‌های کلی پلاسماهای سرد اتمسفری، این پلاسما در حجم تخلیه محدود نیست و توانایی انتشار به فواصل دور از فاصله الکترودی را دارد.

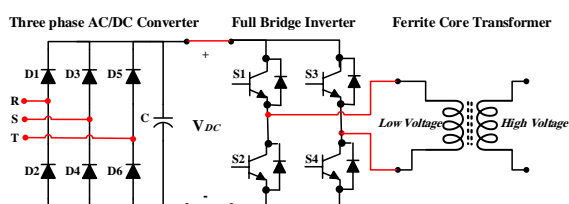
پلاسما را می‌توان از طریق اعمال ولتاژ به دو الکترود فلزی که در بین آنها یک نوع گاز وجود دارد، بوجود آورد [۱]. اگر ولتاژ اعمال شده به الکترودها به مقدار خاصی برسد، برخی از مولکول‌ها و اتم‌های موجود در گاز یونیزه شده و بهمن الکترونی ایجاد می‌کنند، که در اصطلاح پلاسما نامیده می‌شود. برای سیستم‌های الکترودی مختلف، این ولتاژ تخلیه به پارامترهای مختلفی بستگی دارد. به عنوان مثال برای دو الکترود تخت موازی ولتاژ تخلیه به پارامترهای مختلفی از جمله شکل موج ولتاژ، نوع گاز، فشار کاری و فاصله‌ی بین الکترودها وابسته است.

اخیراً اثرات شرایط مختلف منابع تغذیه از قبیل: شکل موج [۲]، سطح ولتاژ [۳]، فرکانس‌های مختلف [۴]، پهنای پالس (زمان روشنایی) [۵]، زمان صعود [۶]، پلاریته ولتاژ [۷]، و ... بر روی پلاسما مورد بررسی قرار گرفته است.

پلاسما فشار اتمسفری با استفاده از شکل موج‌های مختلف ولتاژ، تولید شده و نتایج قابل توجهی در کاربردهای مختلف نظیر غیرفعال-سازی باکتری [۸]، بهبود و مراقبت از زخم [۹]، درمان سرطان و بیماری پوستی [۱۰، ۱۱] و همچنین ضدعفونی کردن مواد غذایی [۱۲]، بدست آمد. بنابراین جهت تولید انواع شکل موج‌های ولتاژ و بررسی اثر آن‌ها بر روی پلاسما، مدارات مختلفی ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است.

در [۱۳] از یک منبع ولتاژ بالای DC با دامنه ۵ کیلوولت، جهت مطالعه بر روی جت پلاسما فشار اتمسفری هلیوم، استفاده شده است. در [۱۴] یک مولد توان پالسی دو قطبی، با استفاده از توپولوژی اینورتر پوش پول<sup>۱</sup> و یک ترانس افزایشنده، طراحی شده است. سپس از طریق این مولد به تولید پلاسما جهت کاهش ذرات در گازهای خروجی از اگزوز موتورهای دیزلی، پرداخته شد. در [۱۵] به بررسی انتقال پایدار گلوله‌های پلاسما<sup>۲</sup> در یک لوله دی‌الکتریک از طریق

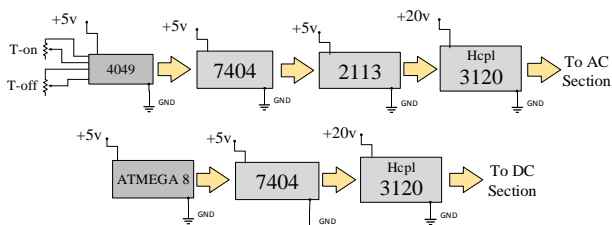
تولید ولتاژ DC با دامنه بالاتر از منابع تغذیه تکفاز را فراهم می‌سازد. ولتاژ DC تولید شده به یک مبدل DC/AC اعمال می‌شود تا یک پالس مربعی با فرکانس دلخواه و قابل تنظیم تولید شود. پالس مربعی تولید شده جهت افزایش دامنه ولتاژ تا مقدار چندین کیلوولت به یک ترانس افزایشده هسته فریت اعمال می‌شود. به منظور افزایش ولتاژ AC مربعی، یک ترانس هسته فریت با فرکانس کاری نسبتاً بالا (۱۵ کیلوهرتز) طراحی و پیاده سازی شده است. این ترانس وظیفه تولید پالس مربعی با کمترین تغییر شکل موج در خروجی را بر عهده دارد.



شکل (۳): شماتیک مداری قسمت ولتاژ فشار قوی AC مربعی

### ۲-۳- بخش فرمان

جهت تولید سیگنال کنترلی بخش تولید کننده ولتاژ AC مربعی از IC4049 و جهت کنترل کلی مدار و مدار قدرت تولید کننده ولتاژ بالای DC از میکروکنترلر ATMEGA8 استفاده شده است. برای تقویت و ایزولاسیون سیگنال‌های تولیدی نیز از HCPL3120 استفاده می‌شود. شکل (۴) بلوک دیاگرام کلی قسمت‌های فرمان و درایور سوئیچ‌ها در ساختار پیشنهادی را ارائه می‌دهد.



شکل (۴): بلوک دیاگرام قسمت فرمان ساختار پیشنهادی

### ۲-۴- ساختار جت پلاسما

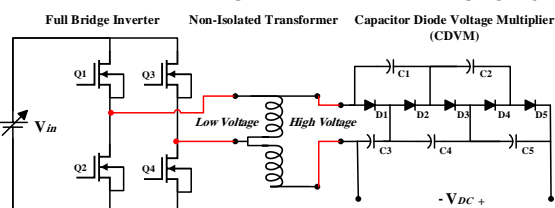
این ساختار شامل سه الکتروود است، یک الکتروود متصل به ولتاژ بالا و یک الکتروود زمین در نزدیکی آن که در واقع گپ تخلیه را تشکیل می‌دهند. الکتروود ولتاژ، یک سیم است که در داخل تیوب‌های شیشه‌ای پیرکس (به عنوان سد دی الکتریک) به طول تقریبی ۷۰ سانتی‌متر، ضخامت ۱ میلی‌متر و قطر داخلی ۴ میلی‌متر قرار می‌گیرد. الکتروود زمین اولیه و اصلی، یک ورقه مسی با پهنای ۱۰ میلی‌متر در فاصله ۱ میلی‌متری از الکتروود ولتاژ به دور تیوب پیچیده شده و به زمین متصل شده است. الکتروود زمین دوم یک صفحه آلومینیومی است که با یک مقاومت ۱ کیلو اهمی به زمین متصل شده و در مقابل جت قرار دارد. الکتروود ولتاژ بالا نیز به خروجی منبع تغذیه طراحی شده متصل می‌شود. هلیوم با فلوی ۴٫۲ لیتر بر دقیقه در تیوب جریان دارد و با اعمال

با توجه به ساختار ارائه شده در شکل (۱) این منبع از دو قسمت تشکیل شده است، یک قسمت برای تولید ولتاژ DC با دامنه بالا و قسمتی دیگر برای تولید ولتاژ AC مربعی با دامنه بالا. برای تولید ولتاژ DC همانگونه که مشخص است از یک منبع تغذیه، یک مبدل تمام پل (اینورتر) DC/AC یک اتوترانس افزایشده و در نهایت یک چند برابر کننده ولتاژ دیود خازنی<sup>۳</sup> (CDVM) استفاده شده است. جهت تولید ولتاژ AC مربعی از یک منبع سه فاز، یک مبدل تمام موج دیودی سه فاز، مبدل تمام پل DC/AC (اینورتر) و ترانسفورماتور افزایشده فرکانس بالا با هسته فریت استفاده شده است. در نهایت خروجی این دو قسمت که از یکدیگر بطور کامل ایزوله و جدا هستند با یکدیگر سری شده و به جت پلاسما آزمایشگاهی اعمال خواهد شد.

### ۲-۱- تولید ولتاژ DC با دامنه بالا

در ساختار پیشنهادی ارائه شده در این مدار جهت تولید ولتاژ DC با دامنه بالا از مدار چند برابر کننده ولتاژ دیود، خازنی (CDVM) استفاده شده است. شرح کارکرد قسمت DC فشار قوی مدار به این صورت است که به منظور کنترل سطح ولتاژ خروجی DC مدار، در ورودی مدار از یک منبع تغذیه متغیر DC استفاده شده است تا با تغییر دامنه ولتاژ ورودی بتوان دامنه ولتاژ فشار قوی DC خروجی را کنترل نمود. ولتاژ خروجی منبع تغذیه که بصورت DC است جهت تبدیل شدن به ولتاژ AC به یک مبدل تمام پل DC/AC (اینورتر) اعمال می‌شود، خروجی مبدل که یک ولتاژ متناوب AC با فرکانس ۲۵۰ هرتز است که توسط یک اتوترانس افزایشده (که مخصوص این کار طراحی شده) به میزان ۱۰۰ برابر تقویت شده و سپس به ورودی چندبرابر کننده ولتاژ دیود خازنی (CDVM) اعمال می‌شود.

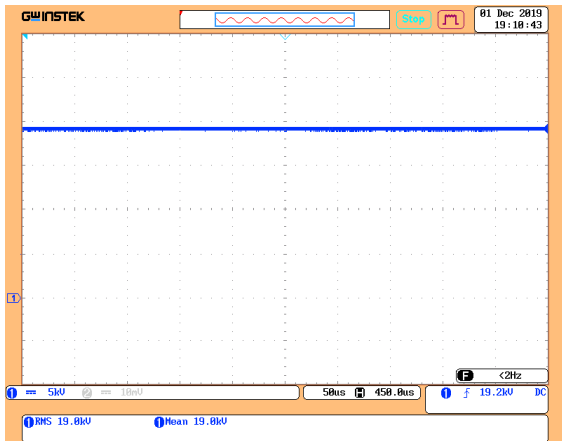
چند برابر کننده ولتاژ استفاده شده در این ساختار از نوع سری-سری (دو و نیم طبقه) است. این چند برابر کننده، ولتاژ خروجی را به میزان پنج برابر ولتاژ ورودی افزایش می‌دهد. در شکل (۲) شماتیک قسمت مولد ولتاژ DC با دامنه بالا نمایش داده شده است.



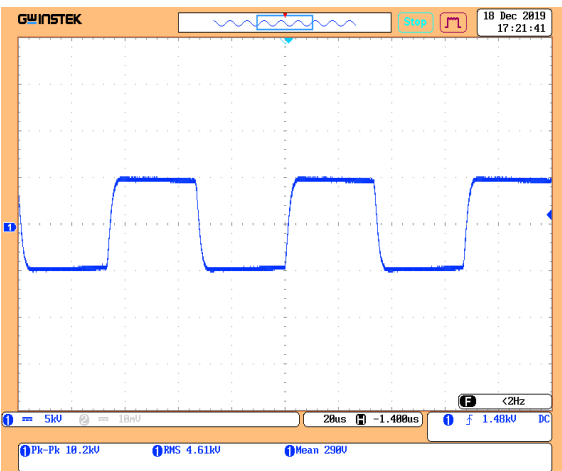
شکل (۲): شماتیک مداری قسمت ولتاژ فشار قوی DC

### ۲-۲- تولید ولتاژ AC مربعی ولتاژ بالا

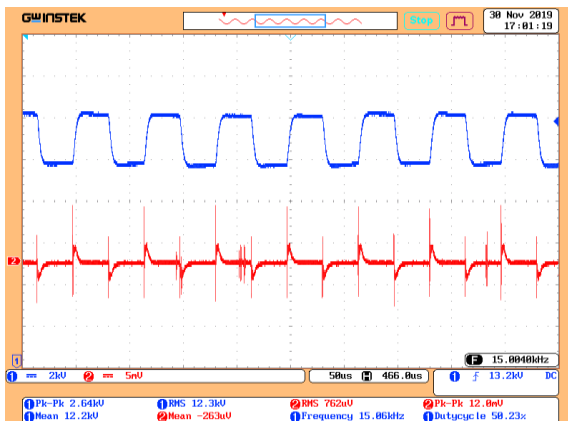
جهت تولید پالس AC مربعی ولتاژ بالا از ساختار ارائه شده در شکل (۳) استفاده شده است. در ساختار پیشنهادی ارائه شده ابتدا به کمک یک اتوترانس سه فاز و یک یکسوساز تمام موج سه فاز دیودی و مجموعه خازن‌های صافی یک منبع متغیر DC ساخته شده که امکان



(الف)



(ب)

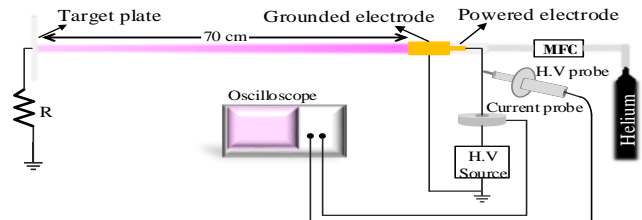


(ج)

شکل (۸): شکل موج ولتاژ و جریان عملی بعد از تولید پلاسما، (الف) ولتاژ DC خالص  $DC = 19000v$ ،  $AC_{p-p} = 0v$  شکل موج AC مربعی خالص  $DC = 0v$ ،  $AC_{p-p} = 10200v$  شکل موج ولتاژ ترکیبی DC و AC  $DC = 12300v$ ،  $AC_{p-p} = 2640v$

در ساختار پیشنهادی، از اتوترانس سه‌فاز، دیودهای یکسوساز (6A10) ۱۰۰۰ ولت ۶ آمپر، خازن‌های یکسوساز با ظرفیت 12mF، IGBT‌های (HGTP12N60A4) ۶۰۰ ولت ۵۴ آمپر، سوئیچ‌های MOSFET (23N50) ۵۰۰ ولت ۲۳ آمپر، دیودهای (MUR860)

ولتاژ، تخلیه در گپ اصلی شکل می‌گیرد و سپس گلوله پلاسمایی در طول تیوب منتشر شده و به صفحه زمین مقابل برخورد می‌کند. ساختار کلی جت پلاسما که توسط منبع ولتاژ بالا تحریک می‌شود به همراه ابزارهای اندازه‌گیری مربوطه در شکل (۵) نشان داده شده است.

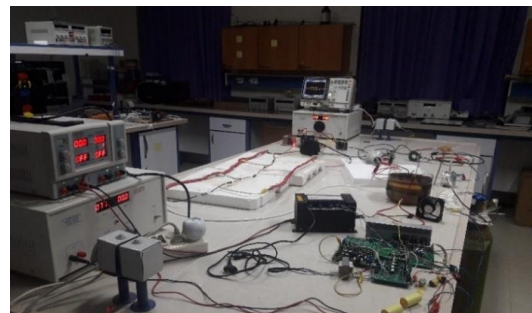


شکل (۵): ساختار کلی جت پلاسما تحریک شده توسط منبع ولتاژ

بالا

### ۳- پیاده‌سازی و بکارگیری منبع تغذیه پیشنهادی

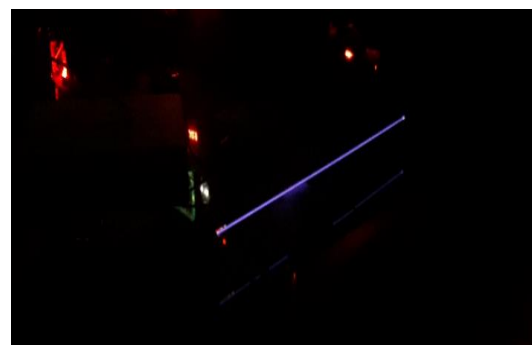
شکل (۶) قسمت‌های مختلف منبع تغذیه پیشنهادی جهت تولید پلاسما، که در آزمایشگاه پیاده‌سازی شده است، را نشان می‌دهند.



شکل (۶): نمای کلی از بکارگیری منبع پیشنهادی جهت تولید و انتقال پلاسما

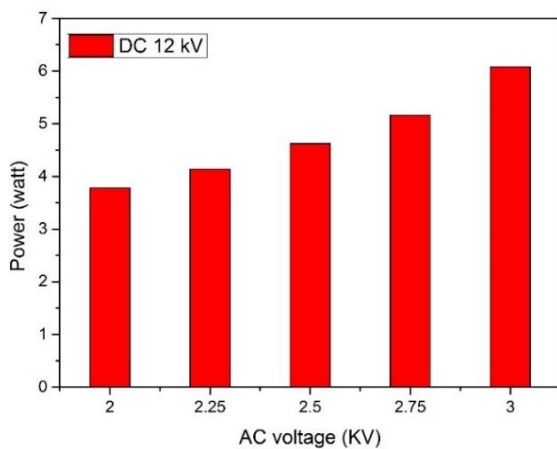
شایان ذکر است که شکل موج‌ها به وسیله اسیلوسکوپ (GW INSTEK GDS-2102A) و پروب ولتاژ بالا (Tektronix p6015A) و پروب جریان (PEARSON CURRENT MONITOR) مشاهده شده است.

شکل (۷) پلاسمای تولیدی در آزمایشگاه و شکل (۸) برخی از شکل موج‌های عملی ولتاژ و جریان خروجی که منجر به تولید و انتقال پلاسما شد، را نشان می‌دهد.



شکل (۷): تولید و انتقال پلاسما

مشاهده می‌شود با افزایش ولتاژ AC مربعی توان تزریقی به پلاسما هم بیشتر می‌شود. این افزایش توان با افزایش دامنه ولتاژ اعمالی با شیب تندی صورت می‌پذیرد. در واقع افزایش دامنه ولتاژ AC مربعی باعث افزایش توان تزریقی به پلاسما می‌شود. در مرحله بعدی آزمایش ولتاژ مستقیم (DC) ۱۲ کیلوولت به همراه ریپل AC مربعی قابل تغییر به الکتروود توان اعمال شد. وقتی ولتاژ AC مربعی که بر روی ولتاژ مستقیم (DC) ۱۲ کیلوولت سوار است، با افزایش دامنه ولتاژ پالسی به بیشتر از ۲ کیلوولت پلاسما جت به حالت پایدار می‌رسد و توانایی روشن ماندن بدون اعمال تغییرات از بیرون را دارد. توان تزریقی به پلاسما نسبت به دامنه ولتاژ AC مربعی متفاوت با دامنه ولتاژ مستقیم (DC) ۱۲ کیلوولت در شکل (۱۰) آورده شده است.



شکل (۱۰): توان تزریقی بر حسب ولتاژ AC مربعی متفاوت با دامنه ولتاژ مستقیم (DC) ۱۲ کیلوولت

لازم به ذکر است که به علت احتمال اتصال کوتاه بین الکتروود توان و الکتروود زمین، ولتاژ AC مربعی وقتی بر روی سطح ولتاژ مستقیم سوار است به بیشتر از ۳ کیلوولت افزایش پیدا نکرده است. در حالت بعدی از سطح ولتاژ مستقیم بالاتر (۱۴ کیلوولت) استفاده شده است. مشاهده می‌شود که در این سطح ولتاژ با اعمال ولتاژ متناوب برابر با ۱٫۸ کیلوولت پلاسما به حالت پایدار می‌رسد. توان تزریقی به پلاسما برای دامنه ولتاژ AC مربعی متفاوت با سطح ولتاژ مستقیم (DC) ثابت ۱۴ کیلوولت در شکل (۱۱) آورده شده است. در مرحله بعدی همین فرآیند برای سطح ولتاژ مستقیم (DC) ۱۵ کیلوولت تکرار شد. مشاهدات حاکی از آن است که با دامنه ولتاژ AC مربعی ۱٫۶ کیلوولت پلاسما به حالت پایدار می‌رسد. در ادامه با افزایش دامنه ولتاژ پالسی توان تزریقی به پلاسما اندازه گیری شده است که در شکل (۱۲) آورده شده است.

برای مشاهده بهتر نتایج و مقایسه سه نمودار قبلی برای سطوح ولتاژ مستقیم (DC) ۱۲، ۱۴ و ۱۵ کیلوولت با هم در نمودار شکل (۱۳) آورده شده است. با توجه به نمودار شکل (۱۳) حالت بهینه‌ای برای عملکرد منبع تغذیه ساخته شده تعریف می‌شود. در محدوده ولتاژ

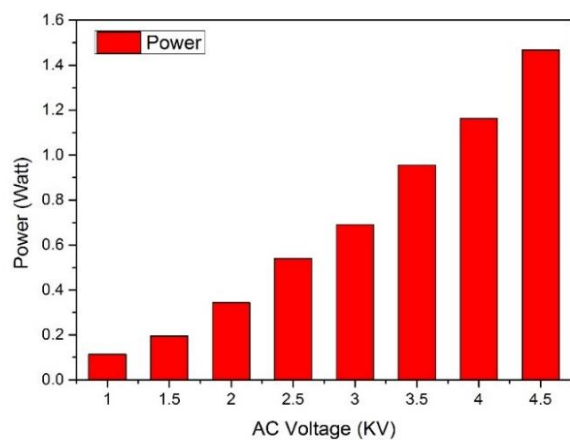
و در قسمت چندبرابرکننده از دیودهای (HVR-1X-3) و خازن‌ها 1000 MKT ولت استفاده شده است. همچنین دو ترانسفورماتور هسته فریت (۱:۲۰)، اتوترانس افزایشنده (۱:۱۰۰) جهت استفاده در این مدار طراحی شده است. ولتاژهای خاص و ترکیبی DC و AC مربعی، با سطح پتانسیل-های مختلف به نازل پلاسما به چیدمان ۳ الکتروودی اعمال شده است تا بتوان مشخصه‌یابی از پلاسما صورت گیرد. با توجه به آزمایشات مکرر در سطح آزمایشگاه، مقادیر ولتاژ AC مربعی و DC و جهت تولید و انتقال پلاسما ثبت شده است. با استفاده از مشخصه ولتاژ و جریان می‌توان توان تزریقی به پلاسما را در هر دوره تناوب از رابطه (۱) بدست آورد که در این رابطه T دوره تناوب، V ولتاژ اعمالی و I جریان تخلیه می‌باشد.

$$p = \frac{\int_0^T V_{appl} I_{dis} dt}{T} \quad (1)$$

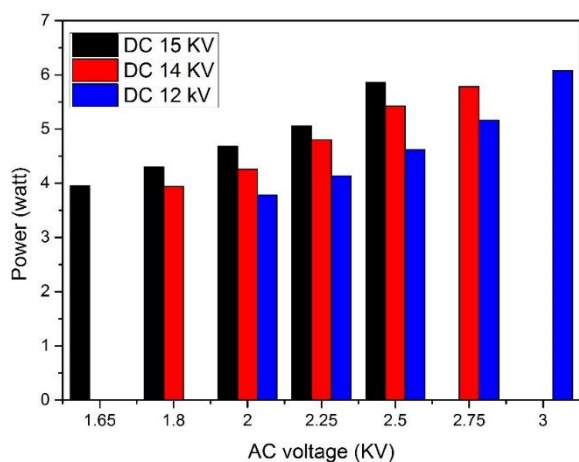
با استفاده از این رابطه توان تزریقی به پلاسما برای ولتاژهای مختلف محاسبه شده است که در شکل‌های (۹) الی (۱۳) مشاهده می‌شود.

در حالت اول فقط با اعمال ولتاژ DC مشاهده شد که پلاسما روشن نمی‌شود. اعمال ولتاژ مستقیم تا ۱۹ کیلوولت ادامه پیدا کرد که نتوانست پلاسمایی در داخل تیوب تشکیل دهد.

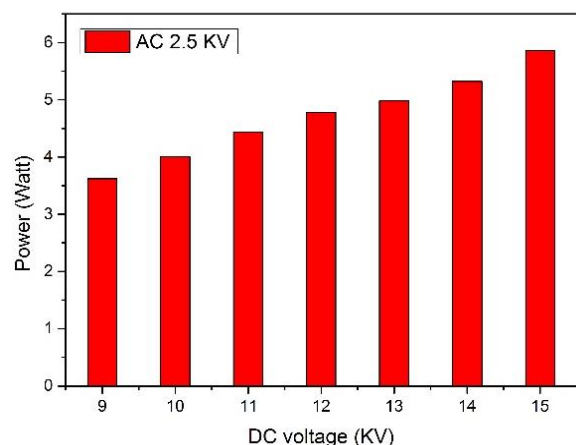
در مرحله بعد بدون اعمال ولتاژ مستقیم و فقط با اعمال پالس مثبت AC مربعی پلاسما به صورت موضعی و نه در کل تیوب روشن شد. با اعمال ۱ کیلوولت اولین نشانه‌های تخلیه تاجی مشاهده شد. با بالا بردن ولتاژ تا ۴٫۵ کیلوولت طول پلاسما در درون لوله به ۱۰ سانتی‌متر رسید ولی تا خروج از تیوب حامل پلاسما بسیار فاصله دارد. توان تزریقی برای ولتاژهای اعمالی مختلف با گام ۵۰۰ ولت در شکل (۹) آورده شده است.



شکل (۹): توان تزریقی بر حسب ولتاژ AC مربعی خالص با دامنه متفاوت



شکل (۱۳): توان تزریقی بر حسب ولتاژ AC مربعی متفاوت با دامنه ولتاژ مستقیم (DC) ۱۲، ۱۴ و ۱۵ کیلوولت



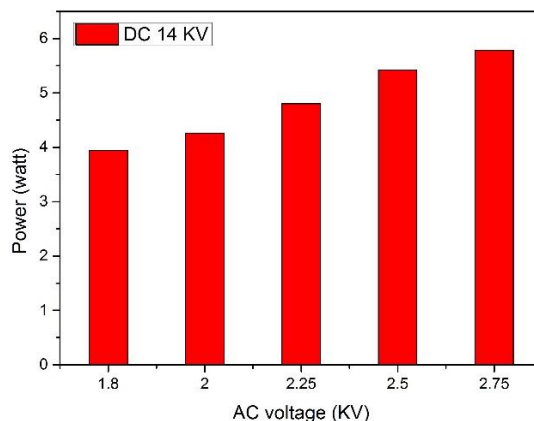
شکل (۱۴): توان تزریقی بر حسب ولتاژ مستقیم (DC) متفاوت در حالت کاهشی با دامنه ولتاژ AC مربعی ۲/۵ کیلوولت

برای بررسی گونه‌های موجود و چگونگی پلاسما از طیف سنجی استفاده شده است. با استفاده از فیبر نوری، نور تابشی از پلاسما جمع آوری شده و به طیف سنج OACION OPTIC HR2000+ وارد شده و طیف سنجی انجام شده است. فاصله سر فیبر از بدنه تیوب حامل پلاسما حدود ۰،۵ سانتی‌متر و فاصله آن از خروجی تیوب ۲ سانتی‌متر می‌باشد. طیف ثبت شده از پلاسما در شکل (۱۵) نشان داده شده است.

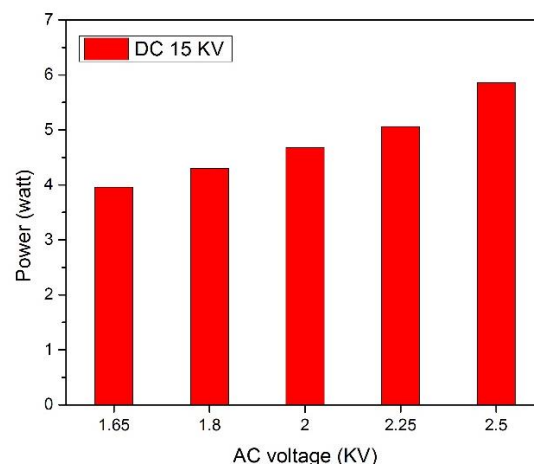
مهمترین خط طیفی مشاهده شده مربوط به خط گذار هلیوم در طول موج ۷۰۶ نانومتر می‌باشد. دیگر خطوط طیفی هلیوم که گاز کاری می‌باشد نیز در طیف مشخص شده است. دیگر خطوط قابل مشاهده خطوط مربوط به اکسیژن و نیتروژن می‌باشد. که به علت پراکندگی هوا در داخل تیوب اتفاق می‌افتد. همچنین از گونه‌های مولکولی گونه بسیار مهم OH نیز با خط طیفی ۳۰۸ نانومتر نیز مشاهده می‌شود.

مستقیم (DC) ۱۲ کیلوولت با دامنه ولتاژ AC مربعی ۲ کیلوولت مقدار توان تزریقی جهت روشن نمودن و پایدار ماندن پلاسما تولیدی ۳،۷۵ وات می‌باشد که این میزان کمترین مقدار اندازه‌گیری شده توان در حالت پایداری پلاسما می‌باشد و مقادیر در این حالت بعنوان حالت بهینه منبع تعریف می‌شود. با توجه به احتمال آرک‌زدگی و تخلیه سطوح ولتاژ بالا و همچنین شدت جریان گلوله‌های پلاسمایی در رنج بالاتر از ۲،۵ کیلوولت AC با محدودیت‌هایی جهت انجام آزمایشات پلاسمایی مواجه هستیم.

برای مشاهده تاثیر سطح ولتاژ مستقیم (DC) بر توان تزریقی، وقتی پلاسما با سطح ولتاژ مستقیم (DC) ۱۵ کیلوولت و دامنه ولتاژ AC مربعی ۲،۵ کیلوولت به صورت کاملاً پایدار روشن است، از مقدار سطح ولتاژ مستقیم با گام ۱ کیلوولت کاسته شده و در هر گام مشخصه ولتاژ و جریان ثبت شده است و با استفاده از آن توان تزریقی به پلاسما محاسبه شده است. این فرآیند تا خاموش شدن کامل پلاسما ادامه پیدا کرد که در ولتاژ مستقیم ۸،۸ کیلوولت اتفاق افتاد. نمودار توان تزریقی برای سطوح ولتاژ مستقیم متفاوت در شکل (۱۴) آورده شده است.



شکل (۱۱): توان تزریقی بر حسب ولتاژ AC مربعی متفاوت با دامنه ولتاژ مستقیم (DC) ۱۴ کیلوولت



شکل (۱۲): توان تزریقی بر حسب ولتاژ AC مربعی متفاوت با دامنه ولتاژ مستقیم (DC) ۱۵ کیلوولت

- [4] Kim, D. B., Jung, H., Gweon, B., Moon, S. Y., Rhee, J. K. and Choe, W. 2011. "The driving frequency effects on the atmospheric pressure corona jet plasmas from low frequency to radio frequency," *Physics of Plasmas*, Vol. 18, No. 4, pp. 043503, 2011.
- [5] X. Lu, Q. Xiong, Z. Xiong, Y. Xian, F. Zhou, J. Hu, W. Gong, C. Zhou, Z. Tang, Z. Jiang, and Y. Pan, "Effect of nano- to millisecond pulse on dielectric barrier discharge," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 37, No. 5, pp. 647-652, May 2009.
- [6] S. Wu, H. Xu, X. Lu and Y. Pan, "Effect of pulse rising time of pulse dc voltage on atmospheric pressure non-equilibrium plasma," *Plasma Process. Polym.*, Vol. 10, No. 2, pp. 136-140, 2013.
- [7] Pechereau, François, and Anne Bourdon. "Influence of the polarity of the applied voltage on the reignition of a discharge below a dielectric layer in air at atmospheric pressure," *Journal of Physics D: Applied Physics.*, Vol. 47, No. 44, pp. 445206, 2014.
- [8] E. Stoffels, Y. Sakiyama, and D. Graves, "Cold atmospheric plasma: Charged species and their interactions with cells and tissues," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 36, No. 4, pp. 1441-1457, Aug. 2008.
- [9] M. Laroussi, "Low-temperature plasmas for medicine?," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 37, No. 6, pp. 714-725, Jun. 2009.
- [10] M. Keidar et al., "Cold plasma selectivity and the possibility of a paradigm shift in cancer therapy," *Brit. J. Cancer*, Vol. 105, pp. 1295-1301, Oct. 2011.
- [11] G. Fridman, G. Friedman, A. Gutsol, A. B. Shekhter, V. N. Vasilets, and A. Fridman, "Applied plasma medicine," *Plasma Process. Polym.*, Vol. 5, pp. 503-533, Aug. 2008.
- [12] S. R. Deng, C. Y. Ruan, G. Mok, G. Huang, X. Lin, and P. Chen, "Inactivation of *Escherichia coli* on almonds using nonthermal plasma," *J. Food Sci.*, Vol. 72, No. 2, pp. 62-66, Mar. 2007.
- [13] X. Wang, A. Shashurin, "DC high voltage to drive helium plasma jet comprised of repetitive streamer breakdowns," arXiv:1610.04629v1, Oct. 2016.
- [14] M. Babaie et al., "Effect of pulsed power on particle matter in diesel engine exhaust using a DBD plasma reactor," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 41, No. 8, pp. 2349-2358, Aug. 2013.
- [15] S. N. Siadati, F. Sohbatzadeh, A.V. Omran, "DC superimposed AC high voltage: A new strategy for transferring stable He atmospheric pressure cold plasma bullets through long dielectric tubes," *Phys. Plasmas*, Vol. 24, No. 6, pp. 063521-1-063521-8, Jun. 2017.

[۱۶] محسن حسن بابای نوزادیان، ابراهیم بابائی. ارائه یک ساختار جدید چند طبقه‌ای برای اینورترهای منبع امپدانس. *مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران*. ۱۳۹۷؛ ۱۵ (۱): ۷۵-۸۷.

[۱۷] علی سرای‌لو، سید مسعود برکاتی. اینورتر چند سطحی آبشاری شبه منبع امپدانس با استفاده از ترانسفورماتور فرکانی بالا. *مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران*. ۱۳۹۸؛ ۱۶ (۱): ۱۱۹-۱۳۱.

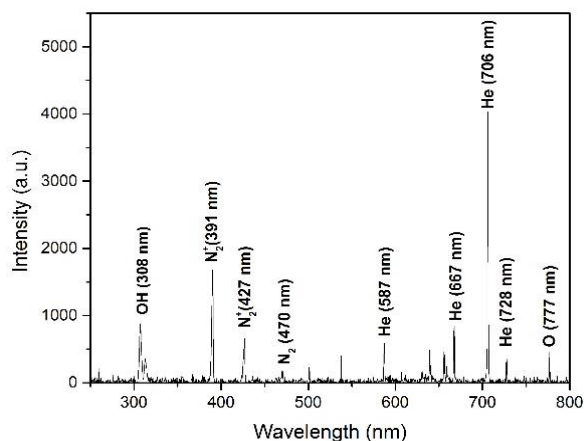
## زیر نویس‌ها

<sup>1</sup> Push Pull

<sup>2</sup> Plasma Bullets

<sup>3</sup> Capacitor Diode Voltage Multiplier

<sup>4</sup> Corona



شکل (۱۵): طیف ثبت شده از پلاسما تولید شده

## ۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک منبع ولتاژ بالا جهت استفاده در پلاسماهای فشار اتمسفری ارائه و اثرات آن مورد بررسی قرار گرفت. منبع پیشنهادی قابلیت تولید ولتاژ بالای DC متغیر را داشته به طوری که شکل موج AC مربعی نیز با دامنه و فرکانس بالا و قابل تنظیم بر روی آن سوار شده است. جهت بررسی صحت عملکرد و نتیجه خروجی، منبع پیشنهادی در سطح آزمایشگاه ساخته شد. در ادامه این منبع، جهت تولید و انتقال پلاسما بکارگیری شده و اثرات ولتاژهای مختلف منبع تغذیه بر روی تولید و انتقال پلاسما مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که با افزایش مقدار ولتاژ مستقیم (DC)، آستانه انتقال پلاسما در مقدار ولتاژ AC مربعی پایین‌تری، صورت می‌گیرد و بلعکس. حالت بهینه بدست آمده در این آزمایشات سطح ولتاژ ۲ کیلوولت DC و ۱۲ کیلوولت AC به میزان توان تزریقی ۳٫۷۵ وات (کمترین میزان توان تزریقی جهت روشن نمودن و ایجاد پلاسما پایدار) می‌باشد. همچنین با بررسی شکل موج جریان در لحظه تشکیل، تولید و انتشار پلاسما می‌توان پی برد که ماهیت پلاسماهای تشکیل شده با شکل موج AC مربعی بصورت گلوله‌های پلاسمايي بوده که جهت استفاده در زمینه‌های مختلف کاربردی بسیار مناسب و مطلوب می‌باشد.

## مراجع

- [1] Kanazawa, S., Kogoma, M., Moriwaki, T., & Okazaki, S., "Stable glow plasma at atmospheric pressure," *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 21, No. 5, pp. 838, November 2000.
- [2] Xiong Q, Lu XP, Ostrikov K, Xian Y, Zou C, Ziong Z, Pay Y. "Pulsed dc- and sine-wave-excited cold atmospheric plasma plumes: A comparative analysis," *Physics of Plasmas*, Vol. 17, No. 4, pp. 043506, 2010.
- [3] S. N. Siadati, F. Sohbatzadeh and Kh. Alavi, "Electrical and optical investigations of plasma Bullets driven by different waveforms," *Phys. Scr.*, Vol. 90, No. 8, pp. 085602, 2015.