

مطالعه تجربی تأثیر پیش یونش بر رفتار لامپ درخش تب کوتاه

فاطمه سادات تحصیلداران^۱، امیرحسین فرهید^{۲*}، رسول ملک فر^۱

۱. گروه فیزیک اتمی و مولکولی، بخش فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۱۴۱۵-۱۷۵، تهران - ایران
۲. پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳، تهران - ایران

*Email: afarahbod@aeoi.org.ir

مقاله‌ی فنی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۳/۱۲

چکیده

در این مقاله رفتار لامپ درخش با پیش یونش به منظور تولید تب‌های کوتاه نوری برای دمش نوری پلاسمای القاییده لیزری مورد مطالعه تجربی قرار گرفته است. پهنای تب‌های نوری لامپ از مرتبه ۱ میکروثانیه و انرژی کل تخلیه شده در لامپ در حد ۲ ژول است. برای این منظور مدار ویژه‌ای متشکل از ۳ کلید تریگاترون طراحی و مورد استفاده قرار گرفت. مشاهدات نشان می‌دهند که تحت شرایط تجربی مورد بررسی، رفتار لامپ از مدل کلاسیک گونز برای بستگی اختلاف پتانسیل به جریان لامپ به صورت $V = K_0 I^\alpha$ و مقدار ثابت $\alpha = 0.5$ تبعیت نمی‌کند و به نحو مناسبی‌تری با تابع فراندلیخ قابل توصیف است. علاوه بر آن، پارامتر $\alpha(I)$ تابعی از جریان لامپ است و برای شیب صعودی و نزولی جریان لامپ نیز رفتاری متفاوت از خود نشان می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهند که کوتاه‌ترین تب نوری لامپ درخش به ازای تأخیر زمانی قریب ۵ میکروثانیه میان آغاز فرایند پیش یونش و تخلیه اصلی لامپ پدید می‌آید.

کلیدواژه‌ها: لامپ درخش، پیش یونش، معادله فراندلیخ، کلید تریگاترون

Experimental study of pre-ionization on the behavior of short pulse flashlamp

F.S. Tahsildaran^{1,2}, A.H. Farahbod^{*2}, R. Malekfar¹

1. Atomic and Molecular Physics Group, Department of Physics, Tarbiat Modares University, P.O.Box: 175-14115, Tehran - Iran
2. Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 14399-51113, Tehran, Iran

Technical Paper

Received 21.3.2021, Accepted 2.6.2021

Abstract

In this article, the behavior of a short pulse, pre-ionized flashlamp for pumping the laser-induced plasma has been experimentally studied. The total discharged energy is nearly 2 joules to generate 1 microsecond optical pulses. For this means, an especially designed discharge circuit with a single high voltage switch where consists of three trigatron switches in series was implemented. The observations show that the flashlamp doesn't obey the classical Goncz's V-I characteristics $V = K_0 I^\alpha$ with a constant $\alpha = 0.5$ under experimental conditions. The flashlamp behavior can be more suitably described with a Freundlich's equation. Moreover, the $\alpha(I)$ parameter is a function of the discharge current with a different behavior on the leading and falling edges of the current pulse. The shortest flashlamp optical pulses were achieved with about 5 microseconds delay time among the pre-ionization and the main discharge of flashlamp.

Keywords: Flashlamp, Pre-ionization, Freundlich's equation, Trigatron switch

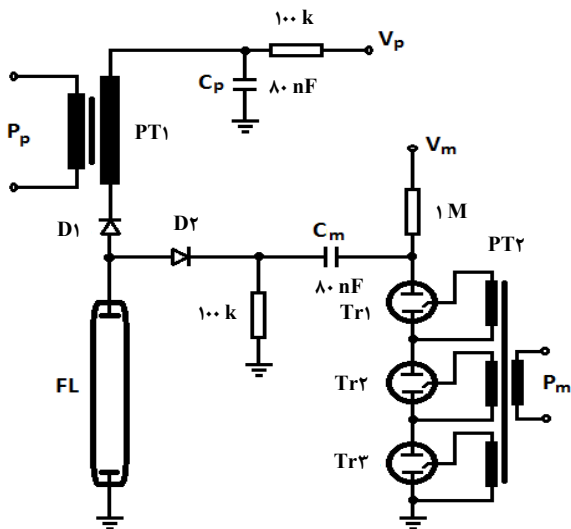


۱. مقدمه

کمک رابطه کلاسیک نیمه تجربی گونز^۳ [۸] به صورت یک تابع ساده توانی و حل عددی معادله مدار الکتریکی لامپ صورت می‌گیرد [۴، ۹]. مشاهدات و یافته‌های آرایه شده در بخش ۳ نشان می‌دهند که لامپ رفتاری پیچیده‌تر از مدل کلاسیک نیمه تجربی گونز [۸] از خود نشان می‌دهد و معادله تجربی فراندلیخ [۱۰] توصیف مناسب‌تری برای رفتار لامپ درخش در تمامی فرایندها آغاز تشکیل پلاسمای لامپ تا خاتمه آن به دست می‌دهد.

۲. ساختار تجربی

بررسی تجربی رفتار لامپ درخش برای تولید تپ نوری کوتاه با استفاده از مدار شکل ۱ صورت گرفت. مدار مذکور بر خلاف مدارهای متداول برای پیش یونش و تخلیه اصلی [۲، ۳ و ۱۱-۱۳]، تنها حاوی یک کلید مرکب ولتاژ بالا متشکل از ۳ کلید تریگاترون Tr_۱، Tr_۲ و Tr_۳ در دسترس از نوع P-۲۴ ساخت کشور روسیه است. هر تریگاترون P-۲۴ قبل از بروز پدیده شکست خودبه‌خود^۴ تنها توانایی نگهداری حدود ۴ کیلو ولت میان آند و کاتد خود را دارد. برای افزایش ولتاژ شکست و کنترل پذیری لازم تا ۱۰ کیلو ولت، کلیدی مرکب از ۳ تریگاترون به صورت سری مورد استفاده قرار گرفت. الکتروود فرمان تریگاترون‌ها به کمک پالس ترانسفورمر PT_۲ با ۳ پیچه ثانویه مجزا و با اعمال پالس الکتریکی به اولیه ترانسفورمر فرمان می‌گیرد. دامنه پالس فرمان تریگاترون‌ها در حد ۵ کیلو ولت است. بدین ترتیب عمل روشن شدن تمامی تریگاترون‌ها هم‌زمان و با اطمینان کامل انجام می‌شود.



شکل ۱. ساختار تجربی تحریک و تخلیه لامپ درخش FL به همراه پیش یونش.

از دیرباز دمش نوری ناهمدوس به منظور پدید آوردن انبوهی وارون و بهره نوری به کمک تابش‌های پرتوان لامپ درخش در محیط‌های فعال حالت جامد بلورین و شیشه‌های حاوی عناصر گذار نظیر کرومیم، تیتانیوم و نفودیمیم، و محیط‌های مایع حاوی مولکول‌های آلی رنگ، نظیر رودامین، مورد توجه پژوهشگران در حوزه فیزیک و فن‌آوری لیزر قرار داشته است [۱-۴]. هم‌چنین پیشنهاد استفاده از منابع نوری ناهمدوس برای دمش پلاسمای القا شده لیزری^۱ به منظور افزایش توانمندی روش شناسایی عناصر در فن‌آوری بیناب‌سنجی پلاسمای به کمک لامپ درخش و یا دیودهای نورگسیل قابل ذکر است [۵].

لامپ درخش علی‌رغم بازدهی تبدیل انرژی الکتریکی به نوری قابل توجه، به دلیل تابش در گستره وسیعی از طول موج‌ها و مکانیسم تابش از پلاسمای در حال انبساط درون محفظه لامپ، از محدودیت‌هایی برای تولید تپ‌های نوری کوتاه برخوردار است. برای افزایش توان تابشی لامپ درخش، کاستن از ناپایداری‌های پلاسمای و آغاز یک فرایند پایدار و با تکرارپذیری قابل قبول، غالباً از دو رویکرد مکمل استفاده می‌شود. در رویکرد نخست عبور جریان پیوسته از مرتبه ۰/۱ الی ۱ آمپر از درون پلاسمای کم‌چگال اولیه لامپ، به دلیل گسترش پلاسمای دیواره‌های درونی لامپ قبل از آغاز تخلیه الکتریکی اصلی، تا حد قابل توجهی منجر به پایداری پلاسمای پدید آمده و افزایش عمر مفید لامپ می‌شود [۴]. در رویکرد دیگر و برای تخلیه الکتریکی با پهنای تپ کوتاه و کم‌تر از ۵ میکروثانیه، اجرای تخلیه اولیه^۲ با انرژی در حد کسری از انرژی تخلیه اصلی [۲، ۳] می‌تواند سبب کاهش خود القای وابسته به شعاع هندسی پلاسمای لامپ [۶] و کاستن شدن از پهنای تپ الکتریکی تخلیه و در نتیجه تقلیل پهنای زمانی تپ نوری و افزایش بیشینه قله توان نوری گسیل یافته از لامپ شود. استفاده هم‌زمان از دو رویکرد مورد اشاره، به ویژه برای لامپ‌هایی با نرخ تکرار بالای تخلیه، افزایش تکرارپذیری فرایند تخلیه و ارتقای توان تابشی را به همراه دارد [۷].

در این مقاله رفتار لامپ درخش در رژیم کاری با پیش یونش و چگالی جریان ۱۰۰ الی ۱۰۰۰ آمپر بر سانتی‌متر مربع و انرژی کل تخلیه در حد ۲ ژول به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. برخی ملاحظات فنی برای ساده‌تر نمودن مدار تحریک و پیش یونش لامپ نیز در بخش ۲ مقاله مورد اشاره قرار گرفته است. تحلیل رفتار بستگی اختلاف پتانسیل دو سر لامپ درخش به جریان تخلیه لامپ، غالباً به

3. Goncz

4. Self-Breakdown

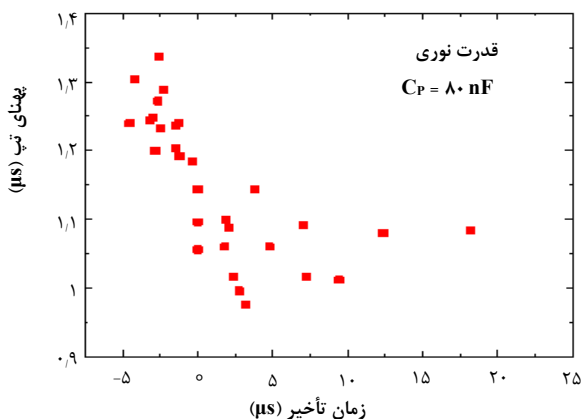
1. Laser-Induced Plasma

2. Pre-Pulse



مطالعه تجربی رفتار لامپ درخش به کمک مدار شکل ۱ بر روی طیف گسترده‌ای از مقادیر جریان و ولتاژ شارژ برای خازن‌های پیش یونش و بانک خازنی اصلی مدار لامپ صورت گرفته است. علاوه بر آن، تأثیر تأخیر زمانی میان لحظه آغاز پیش یونش و تخلیه اصلی و تغییر ظرفیت خازن مدار پیش یونش نیز مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ نشان می‌دهد که پهنای زمانی تپ نوری لامپ تابعی از تأخیر زمانی میان آغاز دو تپ تخلیه اصلی و پیش یونش است و کم‌ترین پهنای تپ به ازای تأخیر حدود ۵ میکروثانیه پس از پیش یونش حاصل می‌شود.

با توجه به سرعت انتشار امواج اکوستیکی درون پلاسمای زنون لامپ از مرتبه 10^5 سانتی‌متر بر ثانیه، پس از گذشت ۵ میکروثانیه، امواج مذکور به جدار درونی دیواره لامپ که از محور لامپ کم‌تر از ۴ میلی‌متر فاصله دارند برخورد می‌کنند و بدین ترتیب دشارژ بانک خازنی اصلی C_m درون پلاسمای کم‌چگالی به قطر روزه درونی لامپ صورت می‌گیرد. با افزایش انرژی تخلیه اصلی و افزایش قله جریان عبوری لامپ از ۳۰۰ به ۵۵۰ آمپر، میانگین پهنای تپ نوری و تپ الکتریکی جریان کل لامپ اندکی کاهش می‌یابد، شکل ۳. مشاهدات تجربی نشان می‌دهند رفتار زمانی توان تابشی از لامپ با تقریب بسیار خوبی متناسب با رفتار جریان عبوری از لامپ است. نمونه‌ای از رفتار زمانی مشاهده شده برای جریان عبوری از لامپ درخش و پتانسیل کاتد لامپ در شرایط تنظیم بهینه تأخیر زمانی میان فرایند پیش یونش و تخلیه اصلی در شکل ۴ نشان داده شده است. انرژی تخلیه شده درون لامپ قریب ۱/۵ ژول است. انرژی پیش یونش حدود ۰/۵ ژول، و قله جریان پیش یونش نیز در حد ۱۰۰ آمپر است.



شکل ۲. بستگی مشاهده شده برای پهنای تپ نوری لامپ به تأخیر زمانی میان لحظه آغاز پیش یونش و فرایند تخلیه اصلی لامپ.

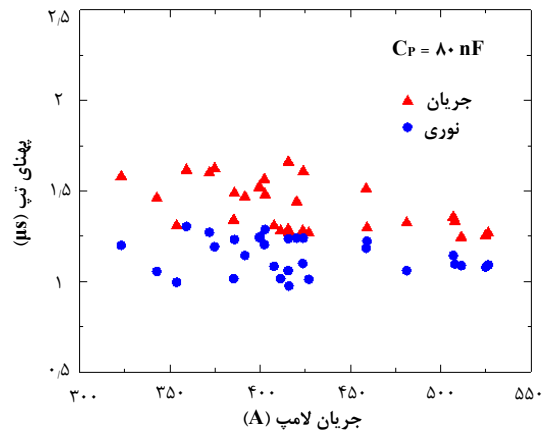
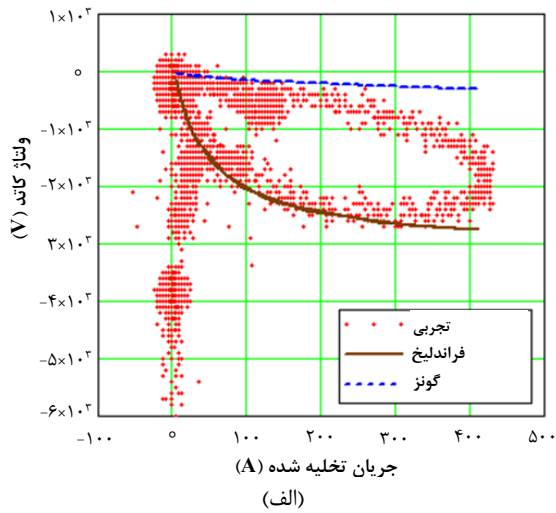
مدار پیش یونش متشکل است از پالس ترانسفورمر تحریک PT۱ با خودالقای اشباع ۵ میکروهنری که با لامپ به صورت سری قرار گرفته است، و خازن پیش یونش C_p که به کمک یک مقاومت ۱۰۰ کیلو اهمی تا ولتاژ منفی $V_p = -3.6$ kV شارژ می‌شود. انرژی خازن C_p پس از اعمال تپ تحریک لامپ P_p به اولیه ترانسفورمر، از طریق دیود D_1 درون لامپ درخش FL تخلیه می‌شود. جداره لامپ FL از جنس شیشه سیلیکا به قطر درونی ۷ میلی‌متر است. لامپ حاوی گاز زنون با فشار ۳۰۰ میلی‌بار، و فاصله دو سر الکتروود لامپ از یکدیگر ۹۰ میلی‌متر است. مدار تخلیه اصلی نیز از بانک خازنی C_m با ظرفیت ۸۰ نانوفاراد و بیشینه ولتاژ کاری ۱۰ کیلو ولت، ۳ کلید تریگاترون و دیود D_2 تشکیل شده است. دیودهای D_1 و D_2 مسیر تخلیه پیش یونش و تخلیه اصلی را از یکدیگر جدا می‌نمایند و آند مشترک آن‌ها به کاتد لامپ درخش متصل است. دیودهای D_1 و D_2 به ترتیب از ترکیب سری ۵ و ۱۰ دیود سریع ۱۸۰۰ ولتی از نوع DH۶۰-۱۸A با زمان بازیافت معکوس ۱۵۰ نانوثانیه و قابلیت تحمل عبور تپ جریان ۹۰۰ آمپر با پهنای زمانی کم‌تر از ۱۰ میکروثانیه تشکیل یافته است. خازن C_m از طریق مقاومت ۱ مگا اهمی متصل به ولتاژ مثبت V_m و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهمی متصل به زمین شارژ می‌شود. ولتاژ V_m از ۴+ تا ۸/۵+ کیلو ولت قابل تنظیم است. برای مشاهده رفتار ولتاژ لامپ و تریگاترون نیز از دو پروب ولتاژ بالا با پهنای باند ۵۰ مگاهرتز استفاده شد. تپ جریان تخلیه لامپ به کمک یک پیچه روگوفسکی و جریان عبوری از تریگاترون‌ها نیز با پیچه روگوفسکی دیگری هر یک با پهنای باند ۲۰ مگاهرتز که به ترتیب در مسیر متصل به زمین آند لامپ و کاتد تریگاترون قرار گرفته‌اند و به کمک یک اسیلوسکوپ دیجیتال با پهنای باند ۵۰۰ مگاهرتز اندازه‌گیری شده است. تولید تپ P_p برای آغاز فرایند پیش یونش، و تپ P_m برای روشن شدن کلیدهای تریگاترون و آغاز تخلیه اصلی لامپ، به کمک یک مولد تپ با تأخیر زمانی قابل تنظیم میان تپ‌ها و دقتی در حد ۱ میکروثانیه صورت می‌گیرد.

مدار شکل ۱ تنها شامل یک کلید ولتاژ و جریان بالا برای تخلیه اصلی لامپ است و در مقایسه با آنچه سایر پژوهشگران مورد استفاده قرار داده‌اند [۲، ۱۱-۱۳] به کلید ولتاژ بالای دوم برای آغاز تحریک و پیش یونش لامپ نیازی ندارد که مزیتی به شمار می‌آید.

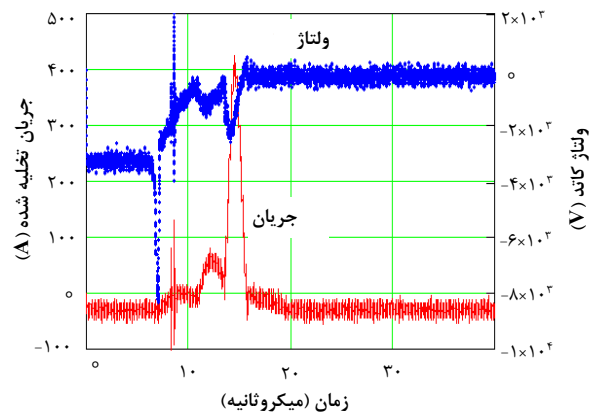
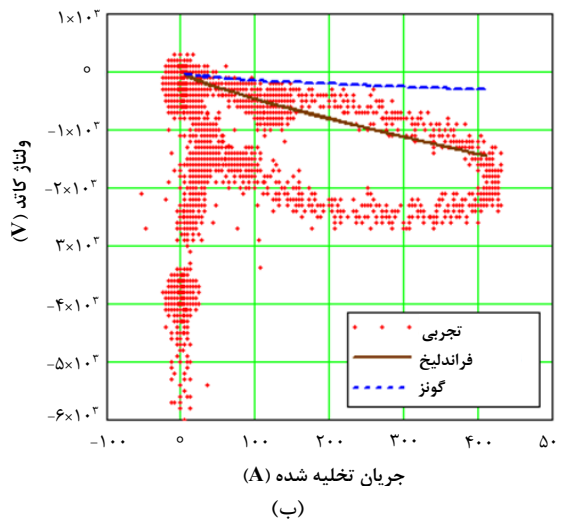
۳. یافته‌های تجربی

1. Reverse Recovery Time





شکل ۳. رفتار تجربی پهنای تپ نوری و جریان لامپ به قله جریان تخلیه لامپ.



شکل ۴. بستگی تجربی مشاهده شده برای پهنای تپ نوری لامپ به تأخیر زمانی میان لحظه آغاز پیش یونش و فرایند تخلیه اصلی لامپ.

شکل ۵. نمونه‌ای از داده‌های تجربی مشاهده شده برای پتانسیل کاتد لامپ برحسب جریان تخلیه. معادله فراندلیخ برای: الف) شیب صعودی جریان، ب) شیب نزولی جریان لامپ. برای مقایسه، معادله کلاسیک گونز نیز به صورت خط چین ترسیم شده است.

۴. مدل‌های نیمه تجربی برای لامپ درخش

غالباً برای توصیف رفتار اختلاف پتانسیل دو سر لامپ درخش V ، به جریان تخلیه لامپ I ، رابطه کلاسیک نیمه تجربی گونز به صورت یک تابع ساده توانی با پارامتر امپدانس K_0 و نمای ثابت $\alpha = 0.75$ مورد استفاده قرار می‌گیرد، رابطه (۱) [۴].

$$V = \pm K_0 |I|^\alpha \quad (1)$$

در رابطه (۱)، علامت \pm به جهت عبور جریان وابسته است. پارامتر امپدانس لامپ K_0 ، برای لامپ درخش زنون تابعی از طول قوس لامپ L_{arc} ، قطر روزنه درونی لوله لامپ d ، نوع گاز و فشار اولیه درون لامپ P برحسب میلی‌بار است و با رابطه (۲) داده می‌شود [۴].

$$K_0 = 1.28 \frac{L_{arc}}{d} \left(\frac{P}{450} \right)^{1/2} \quad (2)$$

در شکل ۵ داده‌های تجربی مشخصه لامپ متناظر با شکل ۴ در صفحه ولتاژ-جریان آورده شده است. آغاز تحریک لامپ با اعمال ولتاژ تحریک از طریق ترانسفورمر PT۱، شکل ۱، صورت می‌گیرد و پس از آن پتانسیل کاتد لامپ طی چند میکروثانیه تا کم‌تر از ۱ کیلو ولت کاهش می‌یابد و تخلیه خازن پیش یونش درون لامپ آغاز می‌شود. سپس تخلیه خازن C_m و افزایش جریان لامپ و کاهش اختلاف پتانسیل میان دو الکترود لامپ ادامه می‌یابد. شیب مثبت و صعودی جریان به دلیل تغییرات سریع جریان سبب افزایش اختلاف پتانسیل میان الکترودهای لامپ می‌شود. سپس روند کاهشی و شیب منفی و نزولی جریان و تخلیه هر چه بیش‌تر انرژی خازن C_m درون پلاسمای لامپ تا قطع جریان ادامه می‌یابد. فرایند مذکور مسیر بسته‌ای را در صفحه $V-I$ پدید می‌آورد (شکل ۵).

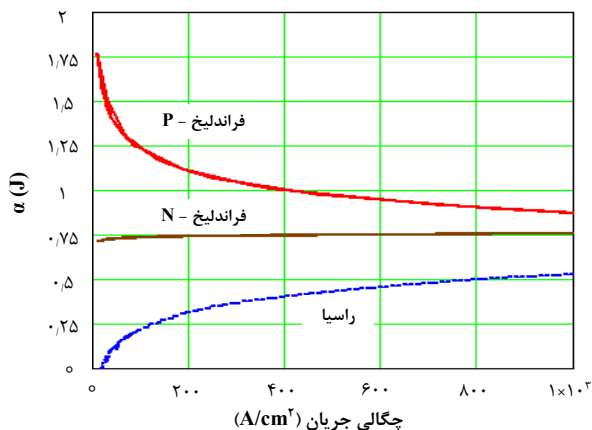


برای شیب صعودی جریان لامپ درجه یونش پلاسما روندی افزایشی دارد. در این مرحله پلاسمایی کم‌دما با انرژی کم‌تر از الکترون ولت تشکیل می‌شود که بیشینه یونیدگی آن در قله جریان لامپ حاصل می‌شود. در آغاز شیب نزولی جریان لامپ، درجه یونش بیشینه است و فرایندهای بازترکیب و کاهش درجه یونش با طول عمری از مرتبه عکس فرکانس برخورد یون و الکترون همراه است. بنابراین پلاسمای لامپ در مرحله نزول جریان لامپ از مقاومت کم‌تر و پارامتر α کوچک‌تری نسبت به شیب صعودی جریان برخوردار است (شکل ۶). با توجه به رابطه (۴) مقاومت لامپ برابر است با $R_{lamp} = K_o |I|^{\alpha(I)-1}$ بدین ترتیب مدل گونز با پارامتر ثابت $\alpha = 0.5$ نمی‌تواند رفتار جریان لامپ را به درستی توصیف نماید.

مقادیر تجربی خودالقا L_{lamp} ، و مقاومت R_{lamp} لامپ در شکل ۷ برحسب تأخیر زمانی میان فرایند پیش یونش و تخلیه اصلی لامپ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که خودالقای لامپ تابعی از زمان است. مقاومت و خودالقای لامپ با استفاده از داده‌های تجربی و تعاریف شناخته شده برای کمیت‌های مذکور محاسبه شده است، رابطه (۶) و (۷):

$$R_{lamp}(t) = V(t) / I(t) \quad (6)$$

$$L_{lamp}(t) = V(t) / (\Delta I / \Delta t) \quad (7)$$



شکل ۶. مقایسه بستگی پارامتر α لامپ به چگالی جریان ارایه شده توسط راسیا با مقادیر تجربی برای مدل فراندلیخ به لبه صعودی (P) و لبه نزولی (N) جریان لامپ.

برای لامپ درخش به کار رفته برای مشاهدات تجربی، با توجه به مقادیر ذکر شده در بخش ۲، پارامتر امیدانس لامپ $K_o = 15.6 \text{ V/A}^{1/2}$ است. بررسی‌های تجربی نشان دادند که لامپ درخش در هنگام افزایش جریان رفتاری متفاوت با لبه نزولی و کاهش جریان از خود نشان می‌دهد که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. برای توصیف این رفتار، با جایگزین نمودن پارامتر ثابت $\alpha = 0.5$ در مدل تجربی گونز با رابطه (۳) برای $\alpha(I)$ ، تابع توانی ساده رابطه (۱) به معادله فراندلیخ، رابطه (۴)، برای دو لبه صعودی و نزولی جریان منجر می‌شود که رفتار تخلیه لامپ را به نحو بسیار مناسب‌تری دنبال می‌نماید، شکل ۵. معادله تجربی فراندلیخ غالباً برای توصیف فرایند جذب سطحی گازها^۱ در جامدات و مایعات به کار می‌رود [۱۰].

$$\alpha(I) = a|I|^{-b} \quad (3)$$

$$V = K_o |I|^{\alpha(I)} \quad (4)$$

در جدول ۱ میانگین مقدار ضرایب a و b رابطه (۳) برای شیب صعودی و نزولی جریان لامپ که از برازش معادله فراندلیخ به روش حداقل مجموع مربعات خطا به ۲۰ نمودار مشخصه ولت-آمپر لامپ در بازه قله جریان تخلیه ۳۵۰ الی ۵۵۰ آمپر آورده شده است.

در گذشته بستگی پارامتر α به جریان لامپ بدون اشاره به روند افزایشی یا کاهش جریان لامپ توسط راسیا^۲ به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۴] و رابطه (۵) با بستگی لگاریتمی α به چگالی جریان برای گستره ۱۰ الی ۱۰۴ آمپر بر سانتی‌متر مربع با برازش به داده‌های تجربی به دست آمده است.

$$\alpha(J) = 0.13 \ln(J) - 0.37 \quad (5)$$

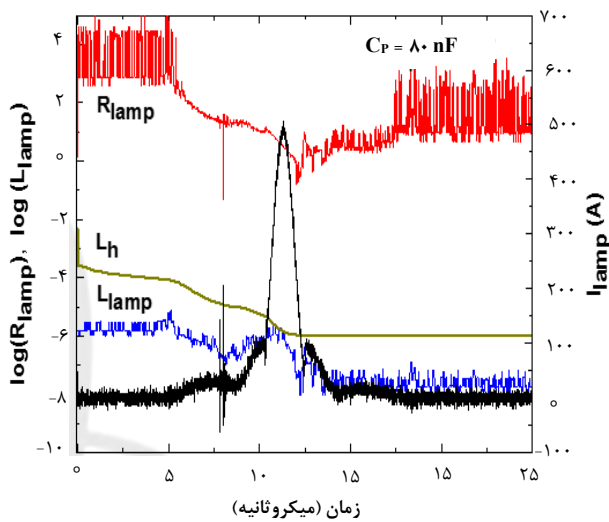
چگالی جریان به صورت $J = 4I / \pi d^2$ تعریف می‌شود. استفاده از رابطه (۵) و قرار دادن آن در رابطه (۴) به ازای $J > 400 \text{ A/cm}^2$ نتایج قابل قیاسی با نتایج حاصل از مدل گونز حاصل می‌شود. شکل ۶ نشان می‌دهد که رابطه ۵ در محدوده ۵۰۰ الی ۱۰۰۰ آمپر بر سانتی‌متر مربع، مقداری نزدیک به ۰.۵ برای $\alpha(I)$ به دست می‌دهد. با افزایش بیش‌تر جریان لامپ $J > 1000 \text{ A/cm}^2$ ، مقدار پارامتر α به سوی ۰.۷۵ میل می‌کند [۱۵].

جدول ۱. مقادیر ضرایب به کار رفته در معادله فراندلیخ

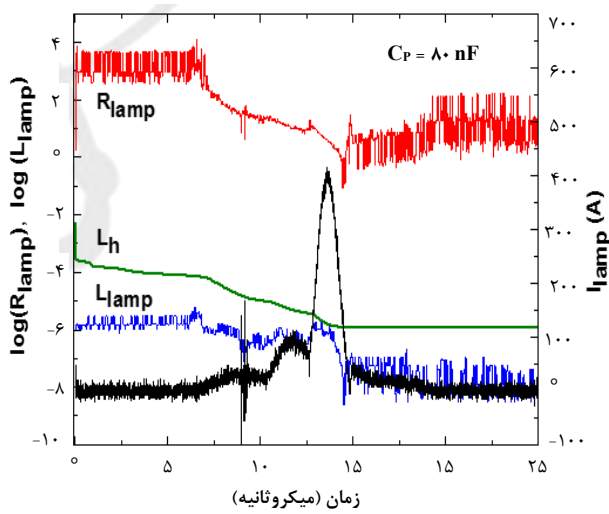
شیب جریان	a	b
صعودی	۲٫۱۰۸ (±۰٫۲۵۱)	۰٫۱۴۸ (±۰٫۰۱۷)
نزولی	۰٫۷۰۵ (±۰٫۰۱۵)	- ۰٫۰۱۲ (±۰٫۰۱۵)

1. Adsorption
2. Rasiah

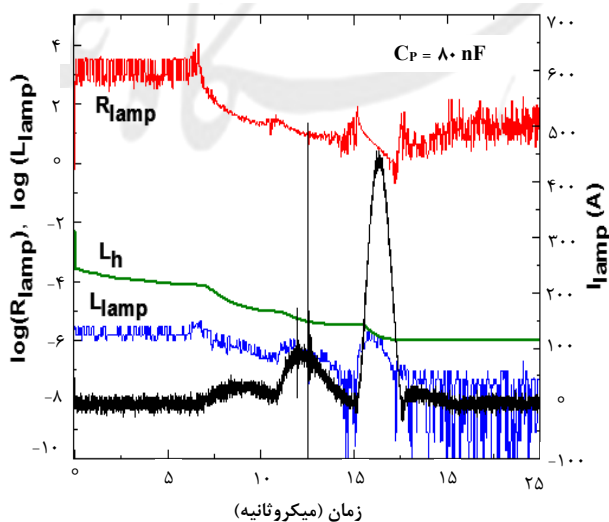




(ب)



(ج)



(د)

محاسبات مرجع [۶] بر پایه مدل خود همسان^۱ برای انبساط پلاسمای درون لامپ، رابطه (۸) را برای بستگی زمانی خودالقای لامپ به شعاع پلاسمای در حال گسترش $r_{arc}(t)$ بر حسب سانتی متر به دست می دهد، رابطه (۹).

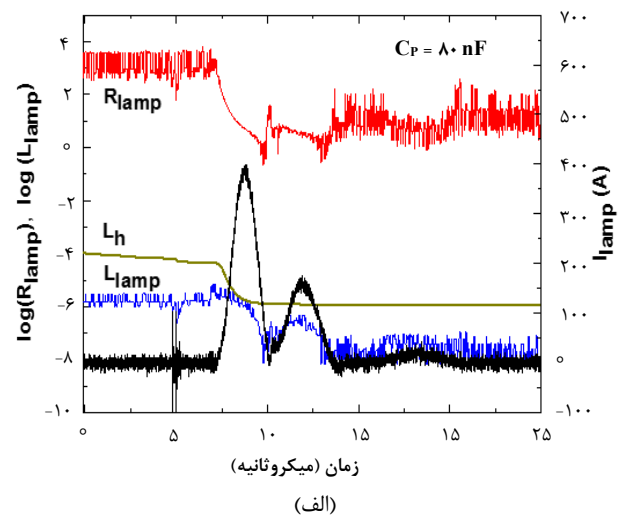
$$L_h(t) \approx \frac{B L_{arc}^2}{r_{arc}(t)} \quad (8)$$

$$r_{arc}(t) = 0.75 \left[\frac{E(t)}{L_{arc}} \right]^{1/6} \quad (9)$$

ضریب B به صورت تجربی به دست آمده و مقدار آن $3 \times 10^{-9} \text{ H/cm}$ است [۶]. در رابطه (۹)، $E(t)$ انرژی تحویل شده به لامپ است که به کمک رابطه (۴) از انتگرال گیری زمانی توان تا لحظه مورد نظر به دست می آید، رابطه (۱۰):

$$E(t) = \int I(t)V(t)dt = \int K_o |I(t)|^{1+\alpha(t,I)} dt \quad (10)$$

رفتار $L_h(t)$ در کنار مقدار تجربی خودالقای لامپ در شکل ۷ ترسیم شده است. تنها در هنگام انجام تخلیه الکتریکی با مقدار کافی انرژی و در نزدیکی قله جریان لامپ سازگاری نسبی با L_{lamp} از خود نشان می دهد. کاهش پهنای زمانی تب جریان تخلیه اصلی لامپ که به کاهش پهنای زمانی تب نوری لامپ با تأخیر زمانی حدود ۴ میکروثانیه پس از پیش یونش منجر می شود به کاسته شدن حداقلی مقدار L_{lamp} از ۱ میکروثانیه به کمتر از ۰.۱ میکروثانیه قبل از انجام تخلیه اصلی لامپ مربوط می شود (شکل ۷ د).



(الف)

شکل ۷. بستگی مشاهده شده برای لگاریتم مقاومت و خودالقای لامپ به تأخیر زمانی اعمال شده میان پیش یونش و تخلیه اصلی لامپ، الف) تخلیه اصلی قبل از پیش یونش، ب) بدون تأخیر زمانی، ج) ۲ میکروثانیه تأخیر زمانی، د) ۴ میکروثانیه تأخیر زمانی.

1. Self-Similar



۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش تجربی حاضر، رفتار لامپ درخش برای تولید تپ های نوری کوتاه در حد ۱ میکروتانیه با پیش یونش به ازای مقادیر کوچک انرژی تخلیه در حد ۲ ژول مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مشاهدات تجربی حاکی از کاهش نسبی پهنای تپ جریان و تپ نوری لامپ برحسب تأخیر زمانی میان عمل تخلیه اصلی انرژی و عمل پیش یونش لامپ است. یافته‌های تجربی نشان می‌دهند که مدل متداول گونز برای مشخصه الکتریکی لامپ از کارایی لازم برای توصیف رفتار لامپ برخوردار نیست و تنها می‌توان آن را به عنوان یک تقریب برای مشخصه لامپ درخش در نظر گرفت. توصیف دقیق‌تر رفتار لامپ به کمک معادله فراندلیخ برای لبه صعودی و نزولی جریان لامپ میسر است که تا پیش از این مورد توجه قرار نگرفته است. علاوه بر آن، طراحی متفاوتی برای مدار تحریک و تخلیه لامپ درخش پیشنهاد و مورد استفاده قرار گرفت که از سادگی بیشتری در مقایسه با روش‌های متداول برای تحریک لامپ با پیش یونش برخوردار است.

مراجع

1. F. Tahsildaran, A.H. Farahbod, R. Malekfar, *System of short pulse flashlamps for optical pumping of a laser-induced plasma*, Iranian conference of optics and photonics, 25th, Shiraz university, Shiraz (2018).
2. R.G. Hohlfeld, W. Manning, D.A. MacLennan, *Self-inductance effects in linear flashtubes: an extension to Markiewicz and Emmett theory*, *Appl. Opt.*, **22**, 13, 1986 (1983).
3. A.J.W. Brown, C.H. Fisher, *A 6.5 J flashlamp pumped Ti:Al₂O₃ laser*, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, **29**, 9, 2513 (1993).
4. J.H. Goncz, *Resistivity of xenon plasma*, *Journal of Applied Physics*, **36**, 742 (1965).
5. J.P. Markiewicz, J.L. Emmett, *Design of flashlamp driving circuits*, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, QE-2, **11**, 707 (1966).
6. H. Freundlich, *Über die Adsorption in Lösungen*, *Zeitschrift für Physikalische Chemie – Stöchiometrie und Verwandtschaftslehre.*, **57**, 4, 385 (1907).
7. A. Marotta, C.A. Arguello, *A simmered pre-pulsed flashlamp dye laser*, *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, **9**, 478 (1976).
8. J.A. Mroczkowski, R.H. Milburn, *Double pulse laser flashlamp pumping and a new method of flashlamp triggering*, *Rev. Sci. Instrum.*, **48**, 12, 1555 (1977).
9. A. Hirth, R. Meyer, K. Schetter, *On the proper choice of the preionization mode of linear flashlamps*, *Opt. Commun.*, **35**, 2, 255 (1980).
10. I.J. Rasiah, B.C. Tan, H.W. Lee, *Voltage-current relationship for flashlamps: an empirical approach*, *Appl. Opt.*, **30**, 4, 485 (1991).
11. J.T. Lue, D.Y. Song, C.K. Yeh, *The plasma Z-pinch effect on the I-V characteristic of fast discharge flash tubes*, *J. Appl. Phys.*, **51**, 4626 (1980).
12. W. Lei, et al, *Research and design on power system of microsecond xenon-lamp-pumped dye lasers*, *Academic International Symposium on Optoelectronics and Microelectronics Technology*, Harbin, China (2011).
13. J.L. Emmett, A.L. Schawlow, *Enhanced ultraviolet output from double-pulsed flashlamps*, *Appl. Phys. Lett.*, **2**, 11, 204 (1963).
14. M.H. Ornstein, V.E. Derr, *Prepulse enhancement of flashlamp pumped dye laser*, *Appl. Opt.*, **13**, 9, 2100 (1974).
15. B.L. Zhu, H.F. Liu, H.L. Zhou, *Pre-pulse flash lamp pumped Ti:Sapphire tunable laser*, *Opt. Tech.*, **1**, 79, 2 (1999).
16. W. Koehner, *Solid-State Laser Engineering*, 6th ed., Springer (2006).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

فاطمه سادات تحصیلداران، امیرحسین فرهبد، رسول ملک فر (۱۴۰۱)، مطالعه تجربی تأثیر پیش یونش بر رفتار لامپ درخش تپ کوتاه، ۱۰۰، ۱۶۷-۱۷۳

DOR: 20.1001.1.17351871.1401.43.2.19.4

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1396.html

