بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

لیزر گازکربنیک پالسی TEA با مدار تحریک کننده تمام نیمه‌هادی

منصور زند، سعید امین نعیمی، بختیار کیا و رضا نشاطی

پژوهشکده لیزر واپتیک، پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای، انتهای خیابان کارگر شمالی، تهران، ایران

چکیده – در این مقاله پژوهشی، ضمن معرفی اصول عملکردکلید های مغناطیسی، یک دستگاه لیزر فشار آتمفسری گازکربنیک را بااستفاده از سه طبقه متراکم کننده مغناطیسی و ترانسفورماتور پالس و کلید تریستوری، راه اندازی کرده و نتیجه را با شرایط تحریک مدار مودولاتور تایروترونی مقایسه شد. با این پژوهش جایگزینی مدار تحریک کننده تمام نیمه هادی بجای تایروترون کاملا امکان پذیر می‌نماید.

کلید واژه- لیزر گاز کربنیک، لیزر تپی، فشار آتمسفر، کلید نیمه هادی، متراکم کننده پالس مغناطیسی

TEA CO_2 Laser by An all-solid-state exciter

Mansour Zand, Saeed Amin Naeimi, Bakhtiar Kia and Reza Neshati

Laser and Optics Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, IRAN

Abstract- In this research paper will be introduced the practice of magnetic switches for a TEA Co_2 Laser, by using of three stage magnetic pulse compressor, pulse transformer and thyristor switches and then was compared with thyratron modulator. It was concluded that using of semiconductor circuit will be possible instead of thyratron modulator.

Keywords: CO_2 laser, Magnetic Pulse Compressor (MPC), Semiconductor switch, TEA CO_2 laser.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

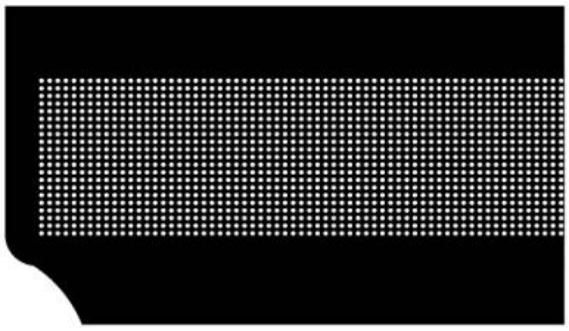
۱- مقدمه

کاربردهای متنوعی برای لیزرگازکربنیک پالسی عرضی فشار آتمسفری تکرار بالا، به لحاظ داشتن توان لحظه ای و انرژی بالا در هر تپ، در علوم و صنایع مختلف وجود دارد، برای مثال می‌توان به کاربردهای آن به عنوان ابزاری جهت حکاکی و علامت زنی، گداخت، شتاب ذرات و لیدار لیزری اشاره کرد. مشکل اصلی در این گونه لیزرها، ایجاد پیش یونش در محیط گازی و در فشار آتمسفر، قبل از تخلیه اصلی می‌باشد در این رابطه میتوان به بعضی از روش‌های استفاده شده، مثل آرایه جرقه‌های مولد پرتو فرابنفش[۱] ، ایجاد کرونا [۲] ، و روش‌های دیگر، اشاره کرد.

روش متداول در مدارات مورد استفاده جهت اعمال تپ ولتاژ، به‌کارگیری تحریک کننده با استفاده از تایروترون است، تایروترون‌ها کلیدهای سریع و دارای قابلیت کار در ولتاژ بالا و در نرخ تکرار زیاد می‌باشند. ولی نقطه ضعف آنها، عمر محدود و قیمت بالا و بلحاظ برخورداری از تکنولوژی بالا، مشکلات تهیه آنها در ایران است. استفاده از کلیدهای نیمه‌هادی، بسیار با اطمینان بوده و دارای طول عمر بالا می‌باشند. ضعف کلیدهای نیمه‌هادی در مقایسه با تایروترون‌ها در سرعت کم کلیدزنی و ولتاژ پائین کارکرد آنها می‌باشد. این ضعف با ترکیب آن با ترانسفورماتور پالس جهت افزایش ولتاژ و متراکم‌کننده‌های مغناطیسی پالس جهت کاهش زمان کلیدزنی، برطرف می‌گردد[۳] . در طرح ارائه شده با استفاده از کلید تریستور، ترانسفورماتور پالس و سه مرحله متراکم سازی، با استفاده از مواد مغناطیسی اشباع پذیر، پالس ولتاژ با پهنای کمتر از ۳۰۰ نانو ثانیه به الکترودهای لیزر اعمال می‌گردد.

۲- ساختار لیزر

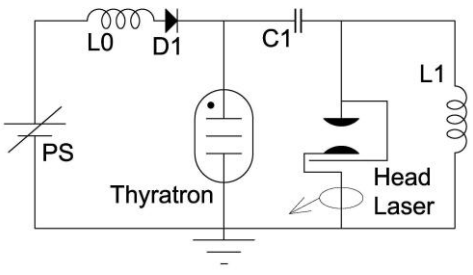
این لیزر با استفاده از پیش یونش کرونای سطحی از طریق مدار چاپی[۴] طراحی شده است. الکترودهای کاتد و پیش یونش بر روی یک قطعه فیبر دو رو مس مدار چاپی از جنس فایبر گلاس با ضخامت ۱/۳۵ میلی‌متر به روش لیتوگرافی ساخته شده‌اند. الکترود کاتد بر روی یک سطح فیبر مدار چاپی با ابعاد ۴۰ در ۳۷۲ میلی‌متر متشکل از موزائیک‌هایی به ابعاد ۲ میلی‌متر که در مرکز آن یک دایره توخالی به قطر ۱/۴ میلی‌متر قرار دارد (شکل ۱)، و الکترود پیش یونش یک مستطیل به ابعاد ۴۰ در ۳۷۲ میلی‌متر در سطح دیگر فیبر مدار چاپی قرار دارد. الکترود پیش یونش از نظر الکتریکی با آند هم پتانسیل می‌باشد. آند از جنس آلومینیوم به ابعاد ۵۰ در ۳۵۲ میلی‌متر و در فاصله ۱۰ میلی‌متری از کاتد قرار دارد.



شکل ۱- نمائی از طرح مدار چاپی به عنوان الکترود

محفظه لیزر از یک استوانه آهنی به قطر ۳۵ و طول ۶۰ سانتی‌متر ساخته شده است، که بر روی آن دو دریچه جهت عبور پرتو لیزر و یک دریچه جهت بررسی تخلیه الکتریکی تعبیه شده است. کاواک لیزر به طول ۶۲ سانتی‌متر و از دو آینه با قطر ۵ سانتی‌متر، یکی تمام بازتاب مقعر در عقب از جنس مس با پوشش طلا و شعاع انحنای ۴ متر و دیگری در جلو، تخت و از جنس زینک سلناید، با پوشش ۸۰ درصد بازتاب، تشکیل شده است.

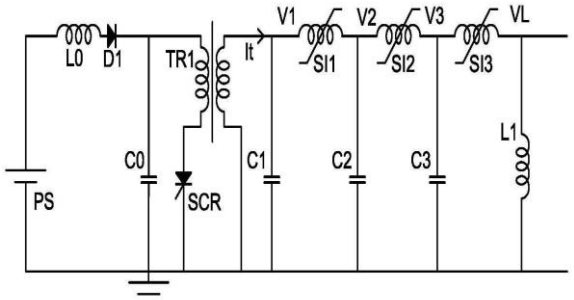
نسبت مخلوط گازی مورد استفاده ۳، ۵، ۱۲ به ترتیب برای گازکربنیک، نیتروژن و هلیوم می‌باشد. ابتدا لیزر با استفاده از یک منبع ولتاژ مستقیم و یک تایروترون مطابق با مدار شکل ۲ مورد تحریک قرار گرفت. منبع ولتاژ PS از طریق خودالقاءL_0 و دیود D_1، خازن C_1 با ظرفیت ۸/۱ نانو فاراد را پر می‌کند. خودالقاء L_1 مسیر پرشدن خازن را مهیا می‌نماید. انرژی خازن C_1 از طریق تایروترون هم‌زمان بر روی آند و صفحه پیش یونش اعمال شده و پس از تولید کرونای سطحی در کاتد باعث کاهش امپدانس ناحیه فعال شده و تخلیه الکتریکی رخ می‌دهد.



شکل ۲- مدار الکتریکی لیزر با تایروترون

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

در مرحله بعد الکترودهای لیزر به تحریک کننده نیمه‌هادی متصل گردید. شکل ۳ شمای این مدار را نشان می‌دهد.

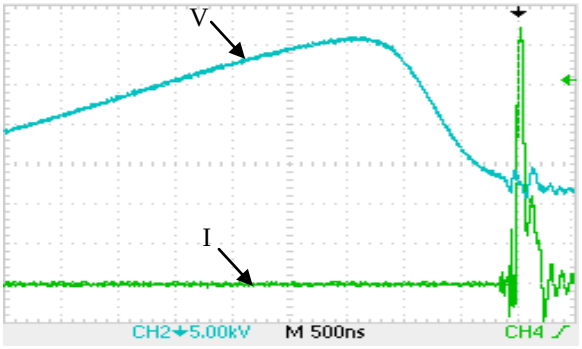


شکل۳- مدار تمام نیمه‌هادی تحریک کننده

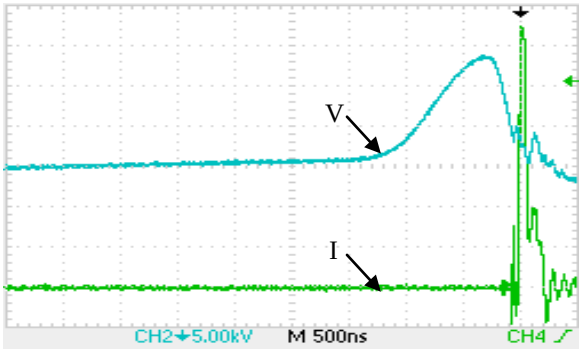
که در آن C_0، ۴ میکرو فاراد، C_1 و C_2، ۸/۱ نانو فاراد و C_3، ۷/۱ نانو فاراد و L_1، ۱۲۰ میکرو هانری می‌باشند.
تریستور مورد استفاده به‌شماره Tb133-250-12 و هسته ترانسفورماتور TR1 مدل EE به‌شماره ۷۰ با شش دور سیم ۲/۵ در اولیه و ۱۲۰ دور سیم ۰/۲ در ثانویه می‌باشد.
SI_1 از یازده هسته فریتی به ابعاد ۱۲۵×۱۲×۸۰ با ۳۰ دور سیم، SI_2 از چهار هسته فریتی به ابعاد ۱۰۰×۱۴×۶۰ با ۸ دور سیم و SI_3 از هجده هسته فریتی به ابعاد ۲۵×۱۲×۱۴ با یک دور سیم ساخته شده‌اند. محاسبات انجام شده بر مبنای رابطه ۱ می‌باشد[۳].

$$\phi = \frac{1}{N_t}\int_0^{T_{sat}} V(t)dt = \Delta B A_m \qquad (۱)$$

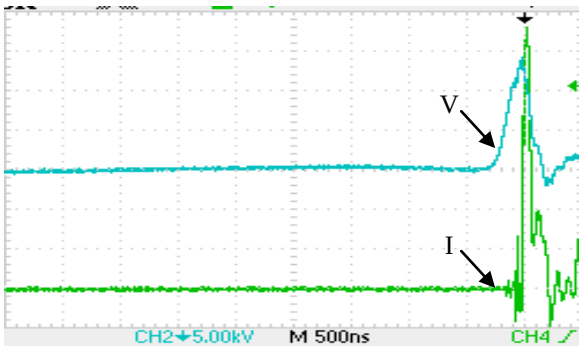
که در آن φ شار مغناطیسی، N_t تعداد دور سیم پیچ اطراف ماده‌ی مغناطیسی، $V(t)$ ولتاژ اعمال شده در سیم پیچ، قبل از اشباع و در زمان بین $t=0$ تا $t=T_{sat}$، ΔB تغییرات دانسیته‌ی شار مغناطیسی و A_m سطح مقطع ماده‌ی مغناطیسی است. شکل ۴ پالس ولتاژ را در نقاط V_1 و V_2 و V_3 و V_L مشخص شده در مدار شکل ۳ را نشان می‌دهد.
قابل ذکر است که جریان عبوری از الکترود های لیزر به‌عنوان مرجع زمانی در تمامی این شکل‌ها دیده می‌شود.
شکل ۵ جزئیات تپ ولتاژ و جریان اعمال شده به الکترودهای لیزر را نشان می‌دهد، پیک جریان در حدود ۱/۴ کیلو آمپر اندازه گیری شده است.



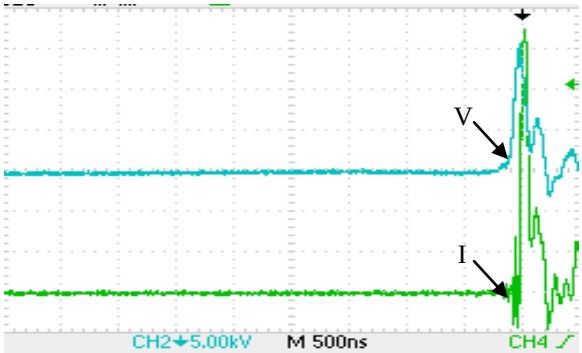
(الف)



(ب)



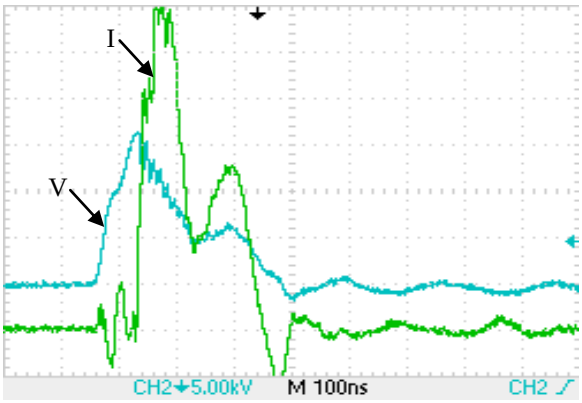
(ج)



(د)

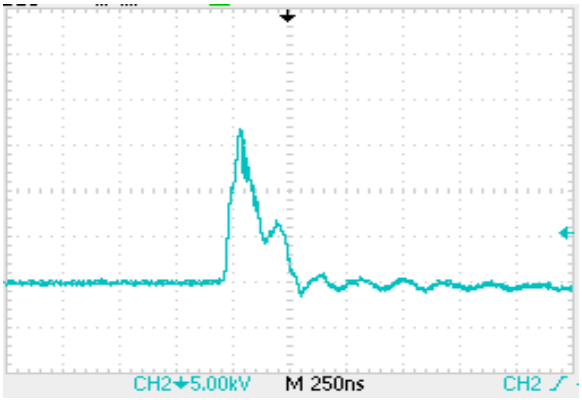
شکل ۴- پالس ولتاژ شکل (الف) در نقطه V_1 و شکل (ب) در نقطه V_2 و شکل (ج) در نقطه V_3 و شکل (د) در نقطه V_L از مدار شکل ۳ در مقایسه با هم و با مرجع قراردادن جریان عبوری از الکترودهای لیزرI (هر واحد محور افقی ۵۰۰ نانوثانیه و محور عمودی برای ولتاژ ۵ کیلو ولت و برای جریان ۲۰۰آمپر می‌باشد)

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

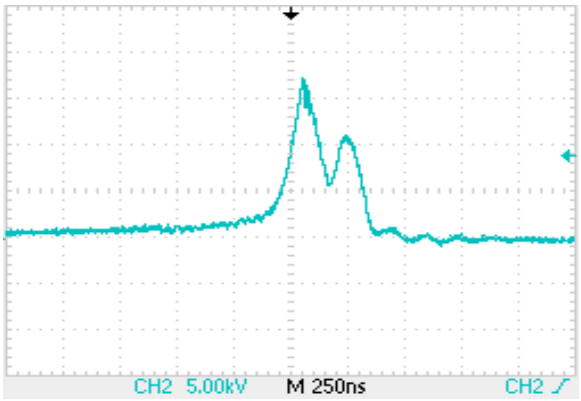


شکل ۵- تپ جریان (I) و ولتاژ (V) اعمال شده به لیزر(هر واحد محور افقی ۱۰۰ نانوثانیه و محور عمودی برای ولتاژ ۵ کیلو ولت و برای جریان ۲۰۰آمپر می‌باشد)

در مقایسه‌ای بین تپ ولتاژهای تولید شده توسط تحریک کننده تایروترونی (شکل ۶) و تحریک کننده تمام نیمه‌هادی (شکل ۷)، مشاهده می‌شود که نسبتاً مشابه به هم هستند. (مقیاس زمانی در هر دو شکل ۲۵۰ نانوثانیه می‌باشد)



شکل ۶ – تپ ولتاژ اعمال شده به لیزر با استفاده از تایروترون



شکل ۷ – تپ ولتاژ اعمال شده به لیزر با استفاده از تحریک کننده تمام نیمه‌هادی(هر واحد محور افقی ۲۵۰ نانوثانیه و محور عمودی ۵ کیلو ولت می‌باشد)

۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهش نشان داده شد که، با ترکیب سه تائی کلید نیمه‌هادی و ترانسفورماتورهای تپ ولتاژ و متراکم کننده‌های مغناطیسی، و جایگزینی آن به جای قطعات پیچیده‌ای مانند تایروترون، بدون تغییر محسوسی در توان خروجی لیزر، می‌توان وابستگی به این قطعات را، نه‌تنها در این نوع لیزر بلکه در سایر لیزرهای گازی تپی، از بین برد.

مراجع

[1] Seguin H., *Photoinitiated and Photo sustained Laser*, Appl. Phys. Lett, L 21pp. 414-416, 1972.

[2] Fahlen T.S., *Efficient Quarter.Joule KrF Laser with Corona Preionization*, IEEE J. Quantum Electron., QE-15, pp. 311-312, 1979.

[3] Nunnaly W.C., *Magnetic Switches and Circuits*, Los Alamos National Laboratory,1982

[۴] عطاملک قربانزاده و همکاران ،" *لیزر گازکربنیک پالسی TEA با انرژی ۱/۵ ژول و با پیش‌یونش پلاسمای سطحی برروی کاتد*" شماره ۱۰۳۵، شانزدهمین کنفرانس انجمن اپتیک و فوتونیک ایران، ۱۳۸۸

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]