



لیزر  
پیش یونشی

بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## طراحی و ساخت لیزر گازکربنیک تپی فشار اتمسفری با توان خروجی ۵ ژول در فرکانس ۱۰ هرتز با پیش یونش گاف جرقه

رضا ترابی<sup>۱</sup>، بابک کاظمی<sup>۱</sup>، کاووه سیلاخوری<sup>۳</sup>، علیرضا پژو<sup>۱</sup>، حسین پناهی و مرتضی جعفری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه صنعتی مالک اشتر

<sup>۲</sup>سازمان انرژی اتمی

چکیده - لیزر  $CO_2$  TEA ساخته شده دارای انرژی خروجی ۵ ژول در فرکانس ۱۰ هرتز می باشد. این لیزر دارای یک سیستم گردش گاز به صورت چرخه باز می باشد. سیستم الکترود عرضی است و از دو الکترود ۴۰ سانتیمتری(طول مفید) که به فاصله ۳/۲ سانتیمتری از هم قرار دارند و نیز ۲۴ جفت گاف جرقه مربوط به پیش یونش که در مجاورت هم و در دو ردیف موازی نصب شده اند، تشکیل شده است. گاز توسط یک دمنده به گردش در می آید. و کار خنک سازی ترکیب گاز نیز به همین طریق انجام می شود. این سیستم از مدار راه انداز مارکس بانک سه طبقه و یک منبع تغذیه ی ۲۰ کیلوولتی بهره می گیرد و پالس ولتاژ اعمال شده به هد لیزر ۵۵ کیلو ولت است.

کلید واژه- لیزر  $CO_2$  TEA ، پیش یونش گاف جرقه، مدار مارکس بانک سه طبقه

## Design and performance of a 10 Hz, 5J TEA CO<sub>2</sub> Laser with pin array preionization

Reza torabi<sup>1</sup>, Babak kazemi<sup>1</sup>, kave silakhori<sup>2</sup>,Alireza pej<sup>1</sup>, Hossein Panahi & Morteza jafari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Malek-ashtar University of Technology

<sup>3</sup> Atomic energy organization of Iran

**Abstract-** In this paper we describe our design and performance of a 5J TEA CO<sub>2</sub> Laser with pin array preionization are described. It containing the active volume of the laser consist of two aluminum electrodes 40 cm length with Ernest' profile. The active discharge volume between the electrodes is approximately 0.38 liter ( $3 \times 3.2 \times 40$  cm<sup>3</sup>) that has operated with up to 13.2 J/lit output density. The laser operates at variable pulse repetition frequencies up to 10 Hz. pulse voltage amplitude to laser head is 55 KV.

**Keywords:** TEA CO<sub>2</sub> Laser, preionization & active discharge volume.

سیستم راه انداز لیزر یک مدار مارکس بانک سه طبقه است که از یک منبع تغذیه‌ی  $20\text{ kV}$  کیلولولتی بهره می‌گیرد. معمولاً در این نوع لیزرهای کاوک تخت-کاو که یک تشدیدگر پایدار است، انتخاب می‌شود. آینه مقعر شعاع  $20\text{ cm}$  و تمام بازتابنده است و کوپلر خروجی، تخت و عبور  $50\%$  دارد. آینه تمام بازتابنده یک آینه مسی لایه نشانی شده با طلا است. و آینه‌ی جلو (خروجی) از جنس Zn Se است.

یکی از اساسی‌ترین کارها در طراحی این قبیل لیزرهای استفاده از سیستم خنک کننده‌ی گاز است. معمولاً برای خنک کردن جریان گاز از یک مبدل حرارتی که در مسیر چرخش گاز تعبیه می‌شود، استفاده می‌شود. سرعت جریان گاز در این قبیل لیزرهای باید به گونه‌ای باشد که در هنگام عبور از میان الکترودها، در بازه زمانی میان دو تپ پی‌درپی، گازی که یک تخلیه الکتریکی را پشت سر گذاشته و در نتیجه گرم، یونیزه و تا اندازه‌ای متتحمل تغییرات شیمیایی شده است، بتواند فضای میان الکترودها را طی کرده و حجم دیگری از گاز جایگزین آن شود. سرعت متوسط اندازه گیری شده  $4/5\text{ m/s}$  بر ثانیه اندازه گیری شد. در شکل ۲ سیستم لیزر ساخته شده نشان داده شده است.



شکل ۲- تصویری از سیستم لیزر در محیط آزمایشگاه

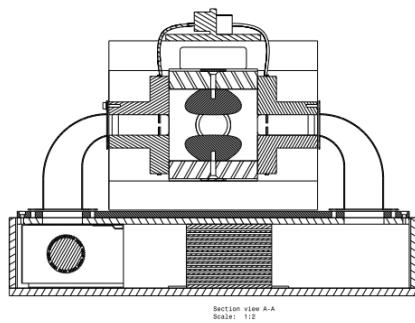
در سیستم گازرسانی لیزر از سه سیلندر گاز  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  و  $\text{He}$  به ترتیب با گردید  $4$ ،  $4$  و  $5$  استفاده می‌شود. که به فشارسنج‌هایی متصل هستند. خروجی هریک از سیلندرهای گاز پس از عبور از یک جریان سنج، توسط اتصالات و شیلنگ‌های پنوماتیکی به یک مخلوط کننده‌ی لیزر متصل می‌شود. و با نسبت  $1:8$  وارد محفظه‌ی لیزر می‌شوند. همچنین از یک شیر یکطرفه‌ی یک اتمسفری

## ۱- مقدمه

لیزرهای  $\text{CO}_2$  در بسیاری از کاربردهای دفاعی، صنعتی از قبیل سوراخ کاری، برشکاری و حکاکی و همچنین علمی و تکنولوژیکی مانند فوتوفوتو شیمی، جداسازی ایزوتوپ و ... از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. اولین لیزر TEA گاز کربنیک به وسیله فرنچ و دانشمندان کانادایی گزارش شد. [۲۱-۲۲]. این دو گروه به طور مستقل روشهایی را پیدا کردند که این روشها باعث پایداری تخلیه تابان در مخلوط  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  در فشار یک اتمسفر شد. پس از آن تلاش برای ساخت لیزرهایی از این نوع با انرژی و فرکانس بالا و یا شبیه سازی محیط تخلیه جهت پیش‌بینی نتایج خروجی لیزرهایی از این نوع [۳] ادامه دارد.

## ۲- طراحی لیزر

نمایی از طراحی مکانیکی اجزاء لیزر  $\text{CO}_2$  با استفاده از نرم افزار کتیا در شکل ۱ نشان داده شده است. قسمت‌های پیش‌یونش در دو طرف به نازل‌های ورود و خروج گاز متصل هستند و در بالای الکترودها خازن‌های پیش‌یونش دیده می‌شود. در محفظه‌ی مستطیلی پایین یک فن محوری، مبدل حرارتی و شیرهای ورود و خروج گاز تعبیه شده است. انرژی خروجی لیزر  $5\text{ J}$  و حداقل فرکانس کاری آن  $10\text{ Hz}$  می‌باشد. ابعاد الکترود ساخته شده  $9 \times 40\text{ mm}$  می‌باشد و پروفایل خم آن ارنست است و فاصله‌ی الکترود ها از هم  $3/2\text{ cm}$  سانتیمتر می‌باشد. بخش پیش‌یونش از  $25\text{ mm}$  جفت گاف جرقه که در مجاورت هم و در دو ردیف موازی نصب شده اند، تشکیل شده است. سیستم گردش گاز به صورت چرخه باز می‌باشد و گاز توسط یک دمنده، ضمن گردش خنک می‌شود.



شکل ۱- طراحی مکانیکی اجزاء لیزر با استفاده از نرم افزار کتیا

شود. برای رسیدن به انرژی خروجی لیزر  $5\text{ J}$  لازم است انرژی الکتریکی  $50\text{ }\Omega$  در نظر گرفته شود. این انرژی توسط سه خازن  $100\text{ nF}$  که در طبقات مارکس باکن قرار گرفته‌اند، تامین می‌شود. حال با توجه به اینکه حداکثر ولتاژ روی تیوب  $55\text{ kV}$  ولت است ولتاژ کاری هر یک از خازنهای C1 و C2 و C3 در مولد مارکس،  $18/3\text{ kV}$  ولت است.

### ۲-۳- محاسبه انرژی پیش‌یونش

برای ایجاد شرایط پیش‌یونش در تیوب لیزر، دو ردیف اسپارک پین در دو طرف الکترودهای لیزر چیده می‌شود. و هر جفت پین به یک خازن متصل است. عموماً انرژی خازنهای پیش‌یونش حدود  $0.5\text{ J}$  درصد کل انرژی خازنهای ذخیره کننده انرژی در نظر گرفته می‌شود. از این‌رو با توجه به انرژی الکتریکی  $50\text{ }\Omega$  در نظر گرفته شده، انرژی خازنهای پیش‌یونش  $2/5\text{ }\Omega$  بددست می‌آید. این انرژی در دو مسیر موازی پیش‌یونش که در دو طرف هد لیزر قرار دارند و هر کدام شامل ۲۴ جفت خازن به ظرفیت هر کدام  $660\text{ pF}$  و ولتاژ تحمل  $30\text{ kV}$  ولت است، تخلیه می‌شود.

### ۳-۳- نتایج عملکرد لیزر

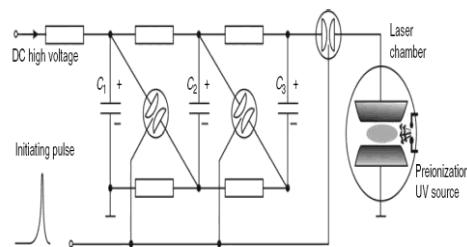
بمنظور محاسبه انرژی خروجی لیزر از یک  $\Omega$  / توان سنج مدل PM100D از شرکت THORLABS استفاده شد. البته بدلیل تاثیر نویز منع تغذیه بر مانیتور  $\Omega$  / متر، هد آن که دارای پاسخ فرکانسی  $6/8\text{ V/J}$  است، مستقیماً به اسیلوسکوپ وصل شد. سپس انرژی خروجی لیزر در فرکانس‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۵ تصویر مشاهده شده از عملکرد لیزر توسط اسیلوسکوپ که بیانگر انرژی  $2/8\text{ }\Omega$  در فرکانس  $9/6\text{ MHz}$  می‌باشد، نشان داده شده است. همچنین در شکل ۶ پالس خروجی لیزر با انرژی  $4/1\text{ }\Omega$  در فرکانس ۱ هرتز دیده می‌شود. پهنهای زمانی پالس لیزر  $120\text{ }\mu\text{s}$  نانو ثانیه بود. که از یک فوتون دراگ به این منظور استفاده شده است (شکل ۷). لازم به ذکر است به دلیل محدودیت  $15\text{ MHz}$  واتی توان قابل اندازه گیری توسط  $\Omega$  / متر، امکان اندازه گیری انرژی پیش از  $1/5\text{ }\Omega$  در فرکانس  $10\text{ Hz}$  وجود نداشت. از این‌رو حداکثر انرژی خروجی در فرکانس ۱ هرتز اندازه گیری شد که  $5/1\text{ }\Omega$  ثبت شد.

جهت عملکرد لیزر در فشار اتمسفر و نیز خروج هوای محفوظه به بیرون استفاده می‌شود.

### ۳- مدار الکتریکی

در این طرح تحقیقاتی از مولد مارکس جهت راه اندازی سیستم لیزر استفاده شده است. در مولد مارکس خازنها به صورت موازی از طریق مقاومت شارژ می‌شود و پس از روشن شدن، گاف‌های جرقه با هم سری شده و در هد لیزر تخلیه می‌شوند. مولدهای مارکس مرسوم (شکل ۳) دارای ایراداتی هستند که مهمترین آنها راندمان پایین آنها است. در این طرح مولد مارکس بگونه‌ای اصلاح شده که ایرادات آن برطرف شود.

به منظور غلبه بر این مشکل در این پروژه از القاگر به جای مقاومت استفاده شده است که یک ایده انحصاری است. القاگرها که عناصر راکتیور هستند، جایگزین مناسبی برای مقاومتها ایجاد می‌باشند.



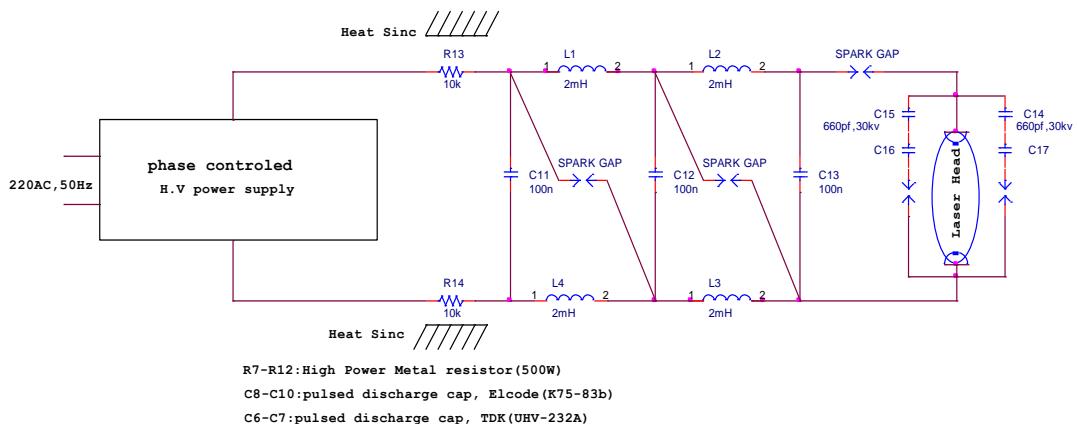
شکل-۳. تصویر یک مولد مارکس مرسوم

هرگاه خازن‌ها از طریق مقاومت شارژ شوند به همان میزانی که انرژی درون خازن انباسته می‌شود همان مقدار انرژی نیز بر روی مقاومت تلف می‌شود و این عامل باعث می‌شود تا راندمان در این روش به حداکثر  $50\text{ }\Omega$  درصد محدود شود یعنی منع تغذیه باید ۲ برابر بیشتر از انرژی مورد نیاز توان تولید کند.

ایده استفاده از القاگر بجای مقاومت دو حسن را دربی دارد که عبارتند از: ۱- حذف تلفات گرمائی مقاومت‌ها - ۲- شارژ همزمان خازن‌ها. در این پروژه از سلف‌های  $2\text{ mH}$  با هسته هوایی به جای مقاومت استفاده شده است که هر دو ایراد فوق را برطرف می‌کند. (شکل ۴)

### ۱-۳- محاسبه انرژی الکتریکی

اگر بازده الکتریکی به نوری  $10\text{ J}$  درصد در نظر گرفته



شکل ۴- مولد مارکس اصلاح شده بکاررفته در لیزر

پس از راه اندازی سیستم لیزر و بررسی عملکرد لیزر در فرکانس های متفاوت، تاثیر پالس لیزر بر روی برخی مواد از قبیل کاغذ فکس، کارتون و چوب بررسی شد. در شکل زیر یکی از این نتایج با انرژی ۵.۱ جول لیزر نشان داده شده است.



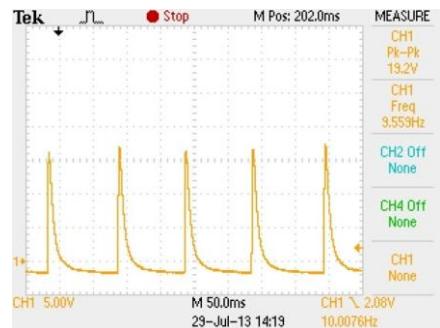
شکل ۸- تصویر تاثیر پالس لیزر روی کاغذ فکس (با سطح مقطع حدود ۳\*۳ cm)

#### ۴-۳- مراجع

- [1] R. Dumanchin and J. Rooca-serra , Compte R Acad . Sci , Vol. 269 , 916 , 1969 .
- [2] A.J. Beaulieu , J. Appl . Phys . lett , Vol . 16 , 504 , 1970 .
- [۳] ترابی، رضا، شفیعی فر، حسین، سویزی، مهدی و محمدی، حمیدرضا، شبیه سازی لیزر CO<sub>2</sub> با برانگیزش الکتریکی عرضی در فشار اتمسفر، دومین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر، ۱۳۹۰ .

#### سپاسگزاری

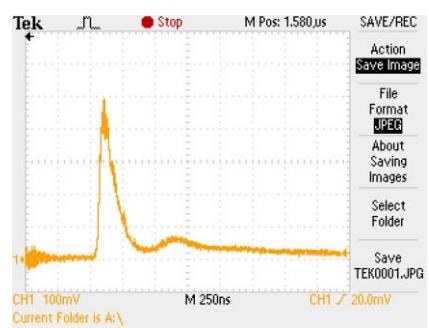
بر خود لازم می داریم از پژوهشکده ای اپتیک و لیزر دانشگاه صنعتی مالک اشترا که این پروژه در آنجا انجام شده است تشکر و قدردانی بعمل آوریم.



شکل ۵- تصویر مشاهده شده از عملکرد لیزر در فرکانس ۹/۶ هرتز با انرژی ۲/۸ جول توسط اسیلوسکوپ



شکل ۶- تصویر مشاهده شده از عملکرد لیزر در فرکانس ۱ هرتز با انرژی ۴/۱ جول توسط اسیلوسکوپ



شکل ۷- شکل پالس خروجی لیزر