



## مطالعه تجربی سیستم نوسانگر - تقویت کننده لیزر مولکولی نیتروژن با تخلیه عرضی

اکبر حریری\*، مصطفی ترکاشوند، امیرحسین فرهید

مرکز تحقیقات و کاربرد لیزر، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶ - ۱۱۳۶۵، تهران - ایران

**چکیده:** سیستم نوسانگر - تقویت کننده لیزر مولکولی نیتروژن متشکل از نوسانگری با پیش یونش کورونا با قابلیت کار در فشار متوسط تا یک اتمسفر و تقویت کننده‌ای با کانال تخلیه بلند و قابلیت کار با گاز نیتروژن در فشار پایین، ساخته شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. پس از طراحی خاص گاف جرقه<sup>(۱)</sup> با ابعادنس پایین، شرایط عمل لیزر در آهنگ تکرار ۱۵۰ هرتز فراهم شد. در این شرایط، توان متوسط سیستم ۳۰ mW است که با قله (پیک) توان ۴۰۰ kW، در ۵ نانوثانیه FWHM<sup>(۲)</sup> پهنای تپ مرتبط است. نتایج آزمایش نشان می‌دهند که در لیزر "بلند کانال"، کیفیت نور بهبود می‌یابد، لیکن به علت وجود پدیده خودجذبی، "بهره سیگنال کوچک"<sup>(۳)</sup> و "چگالی انرژی اشباع"<sup>(۴)</sup> کاهش می‌یابد. این تکنیک را می‌توان برای جفت‌سازی و همزمان‌سازی لیزرهای "خود-پایان‌یابنده"<sup>(۵)</sup> که در آنها استفاده از تشدیدگرهای نوری ناممکن است بکار برد.

**واژه‌های کلیدی:** لیزر مولکولی نیتروژن، تخلیه عرضی، پیش یونش کورونا، سیستم نوسانگر - تقویت کننده

## Experimental Study of an Oscillator – Amplifire Transversely Excited Molecular Nitrogen Laser System

A. Hariri\*, M. Tarkashvand, A. H. Farahbod

Laser Research Center, AEOI, P.O.Box: 11365 - 8486, Tehran – Iran

**Abstract:** An oscillator-amplifire system consists of a corona-preionized N<sub>2</sub>-laser operating at intermediate up to atmospheric gas pressure, and a long channel N<sub>2</sub> laser operating at low gas pressure was built and studied. When a special design of a low impedance spark gap in a flat-plate Blumlein circuit was utilized, the laser was able to operate at pulse repetition rate of 150 Hz. At this operational condition the average output power of the system was 30 mW which corresponds to 400 kW peak power with the FWHM pulse width of 5 ns. The experimental results showed that long channel N<sub>2</sub>-lasers will improve the laser output beam, but due to the self-absorption the small signal gain and the laser saturation energy density will be reduced. The technique can be applied to couple and synchronize other self-terminating laser systems, where the use of optical resonators are impractical.

**Keywords:** molecular nitrogen laser, transverse excitation, corona preionization, oscillator-amplifire system

\*email: ahariri@Seai.neda.net.ir



## ۱- مقدمه

لیزرهای مولکولی نیتروژن، به عنوان چشمه های همدوس، کاربردهای متنوعی از جمله در مطالعه فرایندهای فوتوشیمیایی، به ویژه دمش لیزرهای رزینهای یافته اند. کاربرد لیزرهای نیتروژن کم فشار با تپ های ۵ تا ۱۰ نانوثانیه ای و انرژی حدود ۱۰ mJ، گستره وسیعی از فرایندهای گذرا، از جمله: مطالعه حالت های سه گانه در مولکولها و رادیکالهای آزاد را امکانپذیر ساخته است، لیکن در مطالعه رفتار گذرای کمتر از ۵ تا ۱۰ نانوثانیه، کاربرد لیزرهای نیتروژن کم فشار محدود است. لیزر نیتروژن پرفشار (به ویژه فشار اتمسفری) دارای پهنای تپ نانوثانیه ای است، حتی در فشار ۶ اتمسفر، تپ ۵۰ ps از این نوع لیزر گزارش شده است [۱]. لیکن انرژی تپ لیزری برای مطالعه رفتارهای گذرای کوتاه مدت مناسب نیست. علاوه بر این، لیزرهای نیتروژن فشار اتمسفری، به علت کوتاه بودن طول کانال تخلیه شان واگرایی بالایی دارند.

برای آنکه از محاسن هر دو لیزرهای نیتروژن فشار بالا و فشار پایین بهره گیری شود روش مناسب، ترکیب سیستم لیزری مرکب از یک نوسانگر و یک تقویت کننده است. با این ترکیب می توان تپ کوتاه را به وسیله نوسانگر و کیفیت خوب باریکه لیزر را به وسیله تقویت کننده فراهم ساخت.

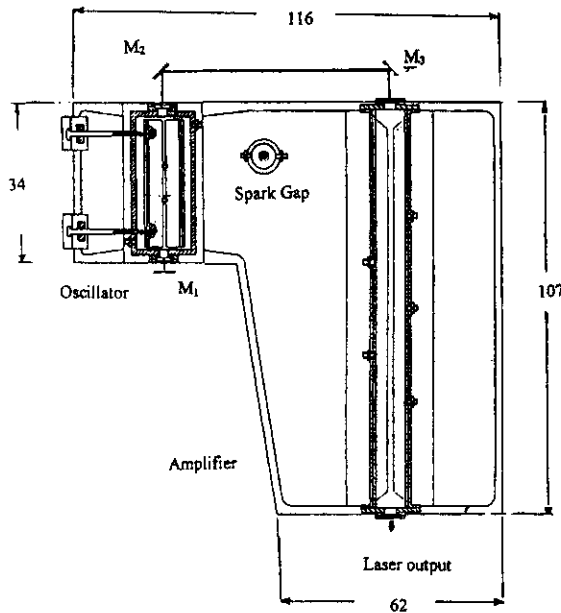
گزارشهایی که در مورد نوسانگر- تقویت کننده، در یک یا چند مرحله تقویت عرضه شده اند، بیشتر درباره نوسانگر نوع TEA<sup>(۱)</sup> و تقویت کننده نوع TE<sup>(۲)</sup> (TEA-TE) و یا هر دو نوسانگر و تقویت کننده از نوع TEA (TEA-TEA) بوده است [۲-۸].

ویژگی لیزرهای نیتروژن، زمان تپ کوتاه ۱۰-۵ ns آنها است و این به علت کوتاه بودن طول عمر تراز بالایی لیزر C<sup>۳</sup>Π<sub>۱۱</sub> (برابر با ۴۰ ns) و طولانی بودن طول عمر تراز زیرین لیزر B<sup>۳</sup>Π<sub>g</sub> (برابر با ۸-۵ ms) است که برای عمل کردن لیزر، برانگیختگی سریع به هنگام تخلیه الکتریکی حدود چند نانوثانیه لازم است؛ بدین جهت، برای راه اندازی این نوع لیزر، اغلب مدارهای سریع بلوملین، یا خازنهای سریع سرامیکی بکار می روند. در مطالعات پیشین خود [۹]، اثر افزایش گاز N<sub>۲</sub> در کاهش زمان تپ را بررسی کرده و نشان داده ایم که با تخلیه الکتریکی همراه با پیش یونش کورونای، که قبل از تخلیه اصلی عمل می کند، می توان

تخلیه الکتریکی یکنواختی در گاز N<sub>۲</sub> ایجاد کرد و بدون پیدایش جرقه های الکتریکی، فشار این گاز را در کانال لیزر تا یک اتمسفر افزایش داد. افزودن فشار گاز N<sub>۲</sub> منجر به کوتاه شدن مدت تپ لیزر می شود. بر این اساس، سیستمی با پهنای متغیر تپ ۳/۵ - ۲/۱ ns، با فشار گاز بکار رفته تا یک اتمسفر بدست آمد که در شرایط بهینه، با فشار گاز نیتروژن ۳۵۰ میلی متر جیوه، پیک توان ۷۰ kW حاصل می شود. سیستم مورد بحث، با ویژگی قابلیت های تغییر فشار تا ۱ اتمسفر و تغییر فاصله الکترودها به نحوی که بتوان با تخلیه الکتریکی یکنواخت ایجاد نوسان کرد، ممکن است به عنوان یک نوسانگر خوب در سیستم نوسانگر- تقویت کننده بکار گرفته شود. در این کار پژوهشی چون تغییرات فشار گاز در نوسانگر برای مطالعه همزمانی نیز مورد نظر بوده، سیستم نوسانگر در شرایط فشار متوسط نزدیک به حالت فشار بهینه بکار رفته است. علاوه بر این، چون استفاده از محیط تقویتی بلند کانال، حدود یک متر، در کاهش واگرایی ارزش کاربردی دارد، سیستم تقویت کننده را یک لیزر با طول تخلیه ۹۴ سانتی متر انتخاب کرده ایم. این سیستم قبلاً به عنوان نوسانگر، نقش دمنده لیزر رزینهای با پیک توان حدود ۲۰۰ کیلووات را داشته است [۱۰]. فاصله الکترودهای آن ۱۵ mm است و گاز N<sub>۲</sub> از روزنه های تعبیه شده روی الکترودها از یک الکتروود وارد و از الکتروود دیگر خارج می شود. پوشش فوقانی کانال لیزر عایق پلکسی گلاس است که ۲۴ مخروط برنجی به عنوان پیش یونش شناور، با فواصل منظم روی آن نصب شده است. چنین سیستمی به عنوان نوسانگر، تپ نوری به پهنای ۶ ns را ایجاد می کند.

در این کار تجربی با استفاده از مدار بلوملین که روی یک مدار چاپی تعبیه شده ترکیب یک نوسانگر (با استفاده از لیزر با پیش یونش کورونای در فشار متوسط گاز حدود ۲۹۰-۸۰ میلی بار) و یک تقویت کننده طویل (با پیش یونش سوزنهای فلزی که در سراسر کانال لیزر تعبیه شده است) در فشار گاز پایین، ۵۰ تا ۹۰ میلی بار، مورد مطالعه قرار گرفت. اندازه گیری های مرتبط با این ترکیب در صفحات بعد ارائه خواهند شد.

ویژگی سیستم مورد نظر، قابلیت تغییر فشار گاز در نوسانگر است که به وسیله آن می توان تپهای کوتاه متغیر مورد نیاز را، که عمل تقویت آنها بلافاصله در تقویت کننده صورت می گیرد، به



شکل ۱- طرح سیستم نوسانگر- تقویت کننده بلند کانال. همزمان سازی دو سیستم به سه طریق ممکن است: الف- تغییر دادن فاصله الکترودهای نوسانگر توسط دو پیچ ب- تغییر دادن فشار تقویت کننده ج- تغییر دادن مسیر اپتیکی بین خروجی نوسانگر و ورودی تقویت کننده به وسیله جابجاکردن عمودی آینه‌های  $M_1$  و  $M_2$ . ابعاد ساخت به سانتی متر است.

ناخواسته در دستگاه تخلیه ظاهر می‌شد.

برای دستیابی به بالاتر، گاف جرعه خاصی طراحی و روی مدار چاپی، در ناحیه‌ای که در شکل ۱ دیده می‌شود، نصب شد. با این روش دوم، به علت امپدانس پایین سیستم، توان خروجی بالایی به دست آمد؛ همچنین سیستم نوسانگر- تقویت کننده تا آهنگ تکرار ۱۵۰ هرتز به آسانی بکار افتاد. تنها عیب دستگاه دوم گاف جرعه عمر کوتاه آن است که علت آن سوختگی فیبر مدار چاپی است. در بیشتر اندازه گیری‌ها، در رگبار بالا از دستگاه دوم گاف جرعه استفاده شده است.

نوسانگر، تنها یک آینه ( $M_1$ ) دارد که خروجی آن پس از بازتابش از روی آینه‌های  $M_2$  و  $M_3$  وارد کانال تقویت کننده می‌شود. تأخیر زمانی دو سیستم، در اثر تغییر فشار گاز در دو سیستم، به ویژه در تقویت کننده، تأخیر زمانی نوری مسیر آینه‌های  $M_2$  و  $M_3$  و تغییر فاصله الکترودهای نوسانگر صورت می‌گیرد. برای ایجاد نور قطبی شده، یک منشور گلن - تامسن<sup>(۹)</sup> در مسیر باریکه نور خارج شده از نوسانگر قرار داده شد، و بررسی قطبیدگی نور به وسیله منشور گلن - تامسن دیگری که عمود بر

دست آورد. علاوه بر این، طرح جدیدی از گاف جرعه که مستقیماً به مدار بلوملین متصل می‌شود و دارای امپدانس بسیار پایین و مناسب برای لیزرهای سریع خودپایان‌یابنده است عرضه می‌شود. با این وسیله، گسترده‌گی آهنگ تکرار لیزر از مقادیر متعارف ۱۰ تا ۳۰ هرتز به آهنگ تکرار ۱۵۰ هرتز با تخلیه الکتریکی کاملاً یکنواخت افزایش یافته است. اما انتخاب کانال بلند در تقویت کننده، با آنکه در بهبود کیفیت باریکه لیزر نقش مهمی دارد لیکن به علت جذب باریکه در طول کانال، بهره سیگنال کوچک<sup>(۸)</sup> کاهش می‌یابد. در هر صورت، به وسیله این سیستم، خروجی UV با توان بیشینه ۴۰۰ کیلووات در آهنگ تکرار ۱۵۰ هرتز به دست آمده است.

## ۲- طراحی نوسانگر - تقویت کننده

مدار بلوملین متشکل از یک مدار چاپی با پوشش مسی دو طرف و عایق فیبر شیشه‌ای به ضخامت ۱/۵ mm است. در واقع، برای راه اندازی دو لیزر نوسانگر و تقویت کننده از یک مدار چاپی به ابعاد ۱۱۶×۱۵۷ سانتی متر استفاده شد و قسمتی از این مدار به صورت دوزنقه بریده شد به طوری که دو آرایش مدار تخلیه الکتریکی بر روی مدار چاپی به ابعاد ۳۴×۴۹ سانتی متر برای نوسانگر و به ابعاد ۶۲×۱۵۷ سانتی متر برای تقویت کننده در نظر گرفته شد. از اطراف مدار چاپی و از دو طرف آن لایه مسی به پهنای ۲/۵ سانتی متر برداشته شد و به منظور ایجاد خازنها، دو باریکه مسی به پهنای ۲/۵ سانتی متر برای نوسانگر و ۴/۵ سانتی متر برای تقویت کننده از یک طرف مدار چاپی برداشته شد. به این ترتیب، سه خازن به ظرفیت‌های ۷/۴، ۵ و ۱/۸ نانوفاراد ایجاد شد. شکل ۱ نحوه برش مدار چاپی و قرارگیری کانالهای لیزر را در محل‌های نوسانگر و تقویت کننده نشان می‌دهد. کلید به صورت گاف جرعه بوده و دو روش متفاوت برای استفاده از آن بکار رفته است: روش اول استفاده از یک گاف جرعه ساخته شده در کشور بود که به وسیله نواری از مس در فاصله بین دو سیستم به مدار چاپی لحیم شد. این سیستم امپدانس نسبتاً بالایی داشت، به همین جهت توان خروجی پایینی در ترکیب نوسانگر- تقویت کننده به دست آمد؛ همچنین سیستم نمی‌توانست با آهنگ تکرار تپ<sup>(۸)</sup> بالاتر از ۳۰ هرتز کار کند و جرعه‌های الکتریکی



نوسانگر با جمعیت بسیار بیشتری در تراز پایینی انرژی مولکول نیتروژن برهمکنش کند، در این صورت، عمل جذب اتفاق می افتد و در خروجی تقویت کننده، تضعیف باریکه نوسانگر را خواهیم داشت (تصویر وسط)؛ در نهایت، با تنظیم دقیق زمان به نحوی که وارونگی جمعیت در تقویت کننده هنگامی حاصل شود که تپ ورودی به آن با جمعیت معکوس بالایی برهمکنش کند، در اینصورت عمل تقویت کردن انجام می گیرد.

محاسبه I/O با فرض تقویت در یک سیستم دو تراز به صورت رابطه:

$$E_{out} = E_s \ln \left[ 1 + e^{g_0 l} \left( e^{E_{in}/E_s} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

ارائه شده است [۴ و ۶ و ۷ و ۱۱] که در آن  $E_{in}$  و  $E_{out}$  به ترتیب چگالی انرژی های خروجی و ورودی،  $g_0$  بهره سیگنال کوچک،  $l$  طول تقویت کننده (۹۴ cm)، و  $E_s$  چگالی انرژی اشباع است. از این رابطه می توان، با استفاده از داده های تجربی  $E_{out}$  بر حسب  $E_{in}$ ، دو پارامتر مشخصه  $E_s$  و  $g_0$  سیستم را به دست آورد.

#### ۴- روش آزمایش و اندازه گیری ها

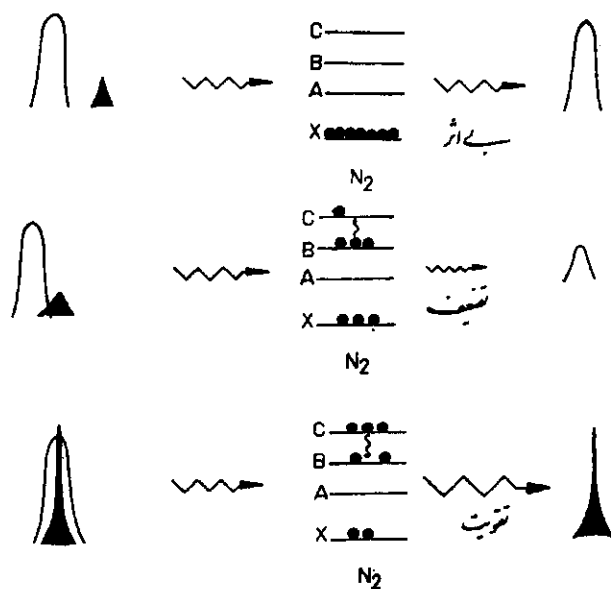
برای تعیین انرژی های ورودی و خروجی تقویت کننده از یک گرماسنج دیسکی Scientech مدل ۳۶۰۰۱ همراه با پایش توان سنج مدل ۱۳۶۲ استفاده شد. قلّه توان با تقسیم کردن توان متوسط اندازه گیری شده با گرماسنج بر آهنگ تکرار و بر پهنای پالس به دست آمد. انرژی هر تپ لیزری از رابطه  $\epsilon = P_{max} \Delta t$  که در آن  $\Delta t$  پهنای تپ لیزری است به دست می آید، که به وسیله آشکارساز سریع فوتودیود خلاء با زمان صعود ۱۰۰ ps (ITL مدل ۱۸۵۰ TF) همراه با نوسان نمای تکترونیکس (مدل ۷۹۰۴ با واحد پلاگ این 7A19) اندازه گیری شد. زمان صعود مرتبط با این ترکیب حدود ۰/۸ ns است. برای تضعیف باریکه خروجی نوسانگر، از صافی های ND سنج بندی (کالیبره) شده در طول موج ۳۳۷ نانومتر استفاده شد.

شکل های ۳ و ۴ به ترتیب تصاویر اسیلوسکپی خروجی از تقویت کننده را در دو وضعیت کاری با فشارهای متفاوت گاز نیتروژن در نوسانگر و تقویت کننده نشان می دهد. در شکل ۳،

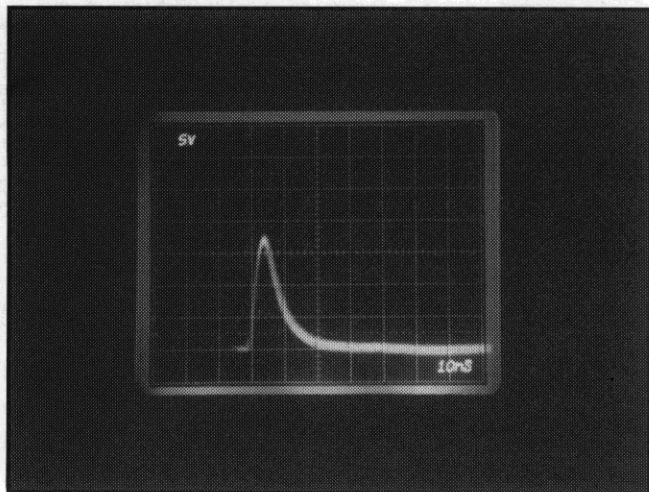
منشور اول در مسیر خروجی نور لیزر از تقویت کننده قرار داده می شد صورت گرفت، به طوری که در حالت متعامد بودن دو منشور در خروجی لیزر از تقویت کننده، نور تقویت شده به دست نمی آمد. مسیر تقویت نور در کانال بلند تقویت کننده به طور وضوح قابل رؤیت است که با تنظیم پیچ های دو آینه  $M_2$  و  $M_3$  برای هدایت باریکه ورودی به سوی تقویت کننده، می توان چگونگی تقویت شدن نور را (که به صورت باریکه ای درخشان تر از نور حاصل از گسیل تقویت شده خودبخود "ASE") کانال تقویت کننده خود را نمایان می سازد) مشاهده کرد.

#### ۳- مشخصه های ورودی - خروجی سیستم نوسانگر- تقویت کننده

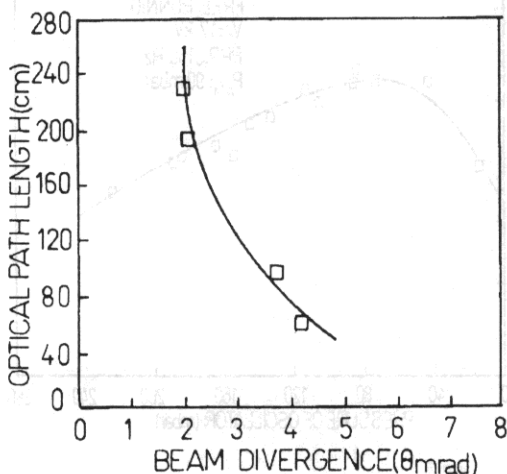
شکل ۲ سه وضعیت تپ نوسانگر- تقویت کننده را نشان می دهد. در این شکل، تپ نوسانگر با منحنی توخالی، تپ مربوط به تقویت کننده با منحنی توپر، وضعیت جمعیت معکوس در تقویت کننده با ترازهای انرژی مولکول نیتروژن نشان داده شده و تپ خروجی سیستم در سمت راست است. هنگامی که اختلاف زمانی دو تپ زیاد باشد، مولکول نیتروژن در وضعیت پایه قرار دارد و عمل تقویت کنندگی انجام نمی گیرد (تصویر بالایی). اگر تأخیر زمانی دو سیستم به اندازه ای باشد که باریکه خروجی



شکل ۲- در این شکل، از بالا به پایین، به ترتیب سه وضعیت بی اثر، تضعیف و تقویت، حاصل از فرایند تقویت کنندگی در محیط فعال لیزر  $N_2$  نشان داده شده است.



شکل ۵- نمونه‌ای از تپ لیزر تقویت‌کننده بدون تزریق لیزر نوسانگر (ASE)، ولتاژ: ۱۴ kV، فشار گاز ۹۰ میلی‌بار. واحد محور افقی Ions و واحد محور عمودی اختیاری است.

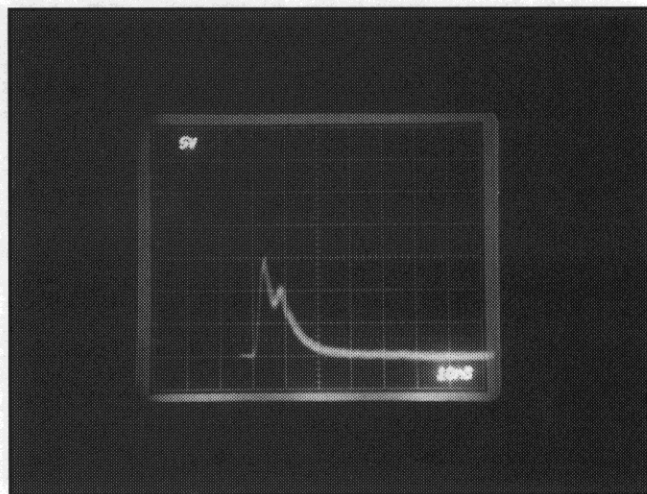


شکل ۶- واگرایی باریکه اندازه‌گیری شده خروجی لیزر: با افزایش طول مسیر نوری، واگرایی خروجی لیزر کاهش می‌یابد.

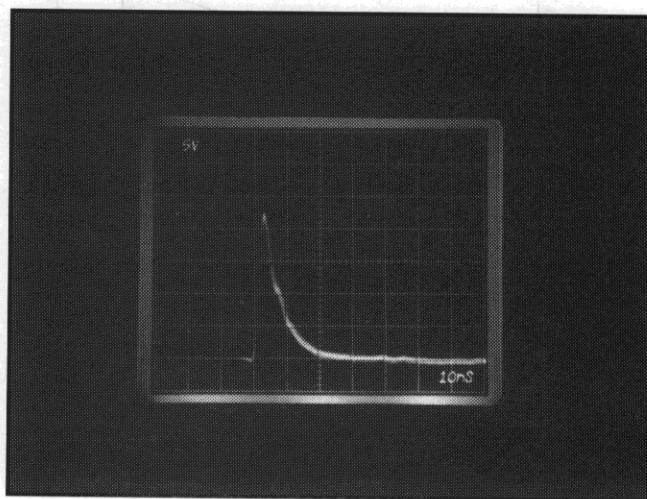
است. در مناسب‌ترین طول مسیر نوری، واگرایی حدود ۲ mrad است که با کاهش این طول تا ۵ میلی‌رادیان افزایش خواهد یافت. برای این که دو سیستم در حالت بهینه کار کند، باید علاوه بر حفظ حالت بهینه دو فشار مختلف گاز در سیستم‌های نوسانگر و تقویت‌کننده، طول مسیر نوری نیز بهینه شود.

هنگامی که سیستم لیزر با "گاف جرقه امیدانس پایین" کار می‌کند، می‌توان رگبار لیزری تا بسامد ۱۵۰ هرتز از آن دریافت کرد. در این صورت گاف جرقه به صورت خودکار عمل می‌کند و لازم نیست برای راه‌اندازی سیستم از مولد تپ الکتریکی استفاده شود. نمودار شکل ۷ تغییرات توان متوسط خروجی لیزر (بر حسب mW) را بر حسب تغییر فشار گاز در نوسانگر نشان

عدم همزمان‌سازی در تپ‌های دو سیستم، نشان دهنده عدم عمل تقویت‌کنندگی است. شکل ۴ رویهم افتادگی تپ‌ها را که ناشی از عمل صحیح تقویت است نشان می‌دهد. شکل ۵ نشان دهنده گسیل خودبخود (ASE) از کانال تقویت‌کننده بدون تزریق خروجی نوسانگر در ولتاژ ۱۴ kV است. شکل ۶، نتایج اندازه‌گیری مرتبط با کاهش واگرایی خروجی لیزر در اثر افزایش طول مسیر نوری نشان داده شده



شکل ۳- تصویر گرفته شده از نوسان‌نما، نشان دهنده فرایند تقویت در وقتی که همزمان‌سازی در اثر فشار گاز نیتروژن در دو سیستم حاصل نشده است. دو تپ جدا از هم، نشان دهنده عدم اجرای تقویت است. فشار گاز در نوسانگر و تقویت‌کننده به ترتیب ۱۱۰ و ۸۰ میلی‌بار، طول مسیر اپتیکی ۸۰ cm، تعداد رویهم افتادگی تپ لیزری ۹۰۰، فاصله الکترودها در نوسانگر و تقویت‌کننده به ترتیب ۵ و ۱۵ میلی‌متر و سرعت تکرارپذیری تپ ۱۰ هرتز در ولتاژ ۱۴ kV است. واحد محور افقی Ions و واحد محور عمودی اختیاری است.



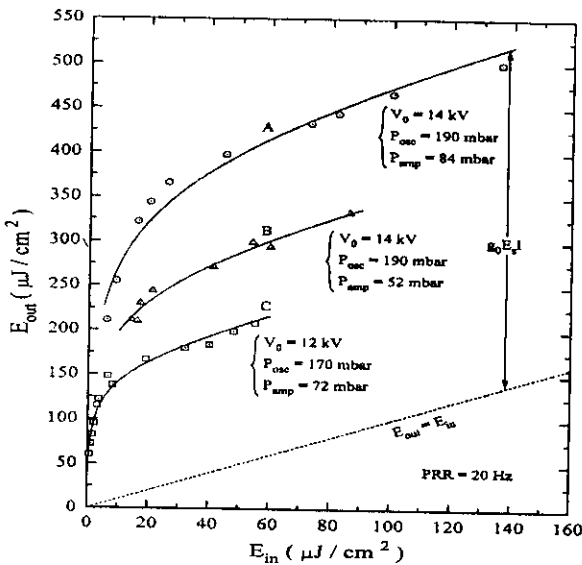
شکل ۴- همان شرایط طراحی شکل ۳، لیکن فشار گاز نیتروژن در نوسانگر و تقویت‌کننده به ترتیب ۲۹۰ و ۸۰ میلی‌بار است و تصویر همزمان‌سازی بهینه را در جهت اجرای عمل تقویت‌کنندگی نشان می‌دهد. واحد محور افقی Ions و واحد محور عمودی اختیاری است.



شکل ۹ نتایج اندازه گیری چگالی انرژی خروجی ( $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ ) را بر حسب تغییرات چگالی انرژی ورودی ( $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ ) که مشخصه فرایند تقویت کننده است نشان می دهد. پارامترهای کاری سیستم شامل ولتاژ عملکرد سیستم، فشار کاری گاز در نوسانگر و تقویت کننده در مورد هر یک از نمودارها در شکل نشان داده شده است. برای تعیین دو پارامتر  $g_0$  و  $E_S$  که در رابطه (۱) وارد شده اند، می توان داده های اندازه گیری شده شامل  $E_{out}$  و  $E_{in}$  را در رابطه (۱) قرار داده و با محاسبات کامپیوتری،  $g_0$  و  $E_S$  را معین کرد.

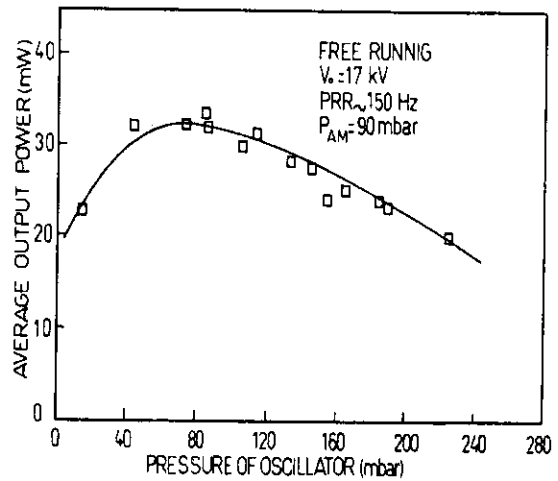
راه دیگر، تعیین رابطه (۱) در دو حد انرژی ورودی خیلی کوچک ( $E_{in}/E_S \ll 1$ ) و انرژی ورودی خیلی بزرگ ( $E_{in}/E_S \gg 1$ ) است. در مورد اول، اگر  $G = E_{out}/E_{in}$  و  $G \sim G_0 = e^{g_0 l}$  خواهیم داشت. مقدار  $g_0$  از داده های تجربی به دست می آید. در مورد دوم داریم  $E_{out} = E_{in} + g_0 l E_S$  یا  $G \sim 1 + (E_S/E_{in})g_0 l$ ، بنابراین با ترسیم خط  $E_{out} = E_{in}$  فاصله عمودی این خط تا قسمت مجانبی نمودارهای ترسیم شده، چگالی انرژی خروجی بر حسب چگالی انرژی ورودی، مقدار  $g_0 l E_S$  تعیین می شود که با در دست داشتن  $g_0$  از تحلیل مورد اول می توان  $E_S$  را حساب کرد.

نمودارهای شکل ۹ با اندازه گیری چگالیهای انرژی ورودی و

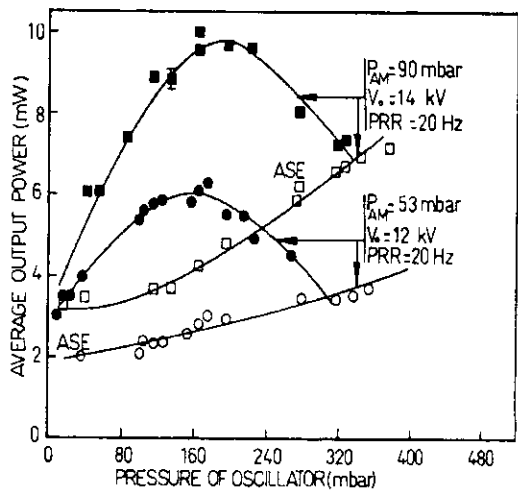


شکل ۹- نمودارهای نتایج اندازه گیری چگالی انرژی خروجی بر حسب تغییرات چگالی انرژی ورودی به دستگاه تقویت کننده در شرایط مختلف. نقاط اندازه گیری شده، مشخصه های کاری سیستم از جمله بهره سینگال کوچک،  $g_0$  و چگالی انرژی اشباع  $E_S$  را بدست می دهند.

می دهد. در حالت بهینه، توان متوسط ۳۰ mW از سیستم نوسانگر- تقویت کننده در ولتاژ کاری ۱۷ kV به دست آمده است. شکل ۸، تغییرات توان متوسط (خروجی سیستم) را بر حسب فشار گاز  $N_2$  لیزر نوسانگر در دو عملکرد متفاوت تقویت کننده نشان می دهد: در مورد نمودار بالایی (فشار گاز  $N_2$ ، ۹۰ mbar و ولتاژ کاری سیستم ۱۴ kV) و در مورد نمودار پایینی (فشار گاز  $N_2$ ، ۵۳ mbar و ولتاژ کاری سیستم ۱۲ kV) در آهنگ تکرار ۲۰ Hz است. در این شکل نتایج اندازه گیری خروجی ASE سیستم تقویت کننده، هنگامی که به آن هیچ گونه سیگنال ورودی تزریق نمی شود، نیز مندرج است.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات توان متوسط خروجی لیزر بر حسب تغییرات فشار گاز ازت در دستگاه نوسانگر، هنگامی که در گاف جرقه تخلیه آزاد صورت می گیرد. توان متوسط بدست آمده از سیستم در آهنگ تکرار ۱۵۰ Hz، برابر ۳۰ mW در ولتاژ ۱۷ کیلوولت بوده است.



شکل ۱۱- نمودار تغییرات توان متوسط خروجی لیزر بر حسب فشار گاز  $N_2$  در لیزر نوسانگر در دو عملکرد متفاوت. پارامترهای کاری لیزر در مورد اندازه گیری ها در روی شکل مندرج است.



### ۵- نتیجه‌گیری

در این کار پژوهشی طریقه‌ی اجرای عمل تقویت در بک لیزر نوع TE بلند کانال، به طول ۹۴ cm، به وسیله‌ی یک نوسانگر با پیش یونش کورونا که قادر است تا فشار یک اتمسفر کار کند، نشان داده شد. مشخصات طراحی سیستم‌های لیزری بکار رفته عرضه شده و پارامترهای کاری و بهینه‌سازی فشار گاز در دو کانال نوسانگر و تقویت‌کننده تعیین و اندازه‌گیری شده‌اند. به کمک داده‌های تجربی، مشخصه‌های رفتاری چگالی انرژی خروجی بر حسب چگالی انرژی ورودی، یعنی بهره سیگنال کوچک ( $g_0$ ) و چگالی انرژی اشباع ( $E_s$ )، یعنی دو پارامتر تقویت‌کننده، تعیین شدند. این پارامترها قدری از مقادیر اندازه‌گیری شده توسط محققین دیگر کوچکترند و احتمالاً به سبب انتخاب طول بلند کانال تقویت‌کننده و ناشی از فرایند خودجذبی است. از طرف دیگر، طول کانال تخلیه بلند موجب بهبود کیفیت باریکه نوری می‌شود. سیستم نوسانگر-تقویت‌کننده مورد بحث قادر است با یک گاف جرقه که امپدانس آن پایین است تا بسامد ۱۵۰ هرتز کار کند، بنابراین کاستن سرعت تخلیه الکتریکی در لیزرهای خودپایان‌یابنده، عاملی مؤثر برای افزایش بازدهی، سرعت تکرار و افزایش توان خروجی خواهد بود. سیستم طراحی شده را می‌توان در مورد سایر لیزرهای خودپایان‌یابنده، مانند لیزرهای اگزایمر نیز بکار برد.

### پی‌نوشت‌ها:

- ۱-Spark gap
- ۲-FWHM: (Full Width at Half Maximum)
- ۳- Small signal gain
- ۴-Saturation energy density
- ۵-Self-terminating lasres
- ۶-TEA: (Transversely Excited Atmospheric pressure)
- ۷-TE: (Transverse Excitation )
- ۸-Pulse repetition rate
- ۹-Glan-Thompson prism
- ۱۰-ASE: (Amplified Spontaneous Emission)

خروجی در شرایط کاری متفاوت لیزر نوسانگر-تقویت‌کننده رسم شده‌اند. مقایسه نمودارهای A و B که لیزرها هر دو در ولتاژ  $V_0 = 14 \text{ kV}$  فعال هستند، نشان می‌دهد که با افزایش فشار تقویت‌کننده از ۵۲ به ۸۴ میلی‌بار انرژی خروجی افزایش یافته و متعاقب آن چگالی انرژی اشباع نیز افزایش می‌یابد، لیکن "بهره سیگنال کوچک" تقریباً ثابت می‌ماند. کاهش ولتاژ کاری لیزرها نیز منجر به کاهش انرژی خروجی می‌شود؛ این کیفیت در نمودار C (در مقایسه با نمودارهای B و A) به وضوح دیده می‌شود. تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی مرتبط با سه منحنی A، B و C که با استفاده از محاسبه کامپیوتری مبتنی بر برازش کمترین مربعات داده‌های تجربی با استفاده از رابطه (۱) صورت گرفته در جدول ۱ درج شده است. در حالت عملکرد عادی سیستم، "بهره سیگنال کوچک" در گستره  $0.06 - 0.07 \text{ cm}^{-1}$  و چگالی انرژی اشباع، از ۲۵ تا ۶۵ میکروژول بر سانتی‌متر مربع در نوسان است.

جدول ۱- نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی برای تعیین پارامترهای مشخصه  $g_0$  و  $E_s$  نوسانگر-تقویت‌کننده لیزر  $N_V$

| چگالی انرژی اشباع ( $E_s$ )<br>( $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ ) | بهره سیگنال کوچک ( $g_0$ )<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | پارامترهای کاری<br>سیستم  |
|--|--|---|
| 65   | 0.064  | (منحنی A)<br>$V_0 = 14 \text{ kV}$<br>$P_{\text{osc}} = 190 \text{ mbar}$<br>$P_{\text{amp}} = 84 \text{ mbar}$ |
| 42   | 0.064  | (منحنی B)<br>$V_0 = 14 \text{ kV}$<br>$P_{\text{osc}} = 190 \text{ mbar}$<br>$P_{\text{amp}} = 52 \text{ mbar}$ |
| 25   | 0.068  | (منحنی C)<br>$V_0 = 12 \text{ kV}$<br>$P_{\text{osc}} = 170 \text{ mbar}$<br>$P_{\text{amp}} = 72 \text{ mbar}$ |



## References:

1. H. Strohwald and Salzman, "Picosecond uv laser pulses from gas discharges in pure nitrogen at pressures up to 6 atm," *Appl. phys. Lett.* **28**, 272-274 (1976).
2. I. Santa, S. Szatmari, B. Nemet, J. Hebling, "Investigation of TEA-TE nitrogen laser system," *Opt. Commun.* **41**, 59-60 (1982).
3. I. Santa, L. Kozma, B. Racz, "Investigation of atmospheric and low-pressure nitrogen laser amplifire," *Sov. J. Quantum Electron.* **15**, 533-536 (1985).
4. T. Jitsuno, "A multi-stage TEA N<sub>2</sub> laser," *J. phys. D: Appl. phys.* **13**, 1405-1411 (1980).
5. K. Kagawa, H. Kobayashi, M. Ishikane, "Oscillator-amplifire system in N<sub>2</sub> laser using the pressure dependent formative time-lag of discharge," *Jpn. J. Appl. phys.* **18**, 2187-2188 (1979).
6. F. Docchio, V. Magni, R. Ramponi, "Thyratron-switched N<sub>2</sub> atmospheric-pressure oscillator, low-pressure amplifier laser system," *Rev. Sci. Instrum.* **55**, 477-481 (1984).
7. A. A. Serafetinides and G. N. Tsirikas, "A semiconductively preionised TEA nitrogen Oscillator-amplifier laser system," *Opt. Commun.* **79**, 448-454 (1990).
8. D. H. Kalantar, D. A. Hammer, A. W. De Silva, "Nitrogen laser system for diagnosing Z-pinch and X-pinch plasmas," *Rev. Sci. Instrum.* **68**, 2725-2729 (1997).
9. A. Hariri, M. Tarkashvand, A. Karami, "Corona-preionized nitrogen laser with variable pulse width," *Rev. Sci. Instrum.* **61**, 1408-1412 (1990).
10. A. H. Farahbod and A. Hariri, "Application of generalized self-filtering unstable resonators to a N<sub>2</sub>-laser pumped dye laser," *Opt. Commun.* **108**, 84-90 (1994).
11. W. Koechner, "Solid-State Laser Engineering," Springer-Verlag, NY (1996).