

CZU: 621.373.8

PARTICULARITĂȚI DE ELABORARE A LASERULUI CU EXCIMER XeCl

**Valeriu Guțan, Ion Olaru, Mihail Radenco, Mihail Negritu,
Andrei Cerneleanu**

(Universitatea de Stat „Alec Russo”, Republica Moldova)

În lucrare sînt descrise particularitățile de proiectare și elaborare a unui laser cu excimer XeCl pentru aplicații tehnologice. Sînt descrise cerințele față de pompajul prin descărcare electrică a laserilor cu excimer și este analizată schema echivalentă a inverterului LC. Sînt determinate cerințele față de blocul de alimentare al laserului și prezentată schema-bloc.

Introducere

Laserii cu excimer sînt sursele cele mai puternice de radiație coerentă UV, capabile să genereze un număr mare de lungimi de undă de la ultravioletul îndepărtat pînă în regiunea vizibilă a spectrului.

Pentru excitarea laserilor cu excimer se folosesc fascicule de electroni, descărcări autosuținute cu fotoionizare și descărcări controlate cu fascicul de electroni. În viitor, o sursă importantă de excitare poate deveni excitarea nucleară directă sau cu fascicule de protoni [1].

Excitarea laserilor cu excimer în descărcări autoîntreținute prezintă avantajul unei simplitați constructive incomparabile cu laserii excitați cu fascicule de electroni, oferind posibilitatea funcționării la o frecvență de repetiție a impulsurilor ridicată. În consecință, se pot atinge puteri medii ridicate.

La momentul actual, în centrele științifice din lume, cele mai remarcabile rezultate au fost obținute în elaborarea laserilor cu excimeri pompați prin descărcare electrică. De exemplu, în laserul cu molecule KrF ($\lambda=248$ nm) a fost obținută energia în impuls de 5 J și puterea medie de 200 W. În laserii cu XeCl ($\lambda=308$ nm) a fost obținută cea mai înaltă energie de radiație în impuls - 60 J și puterea medie 400 W.

Unul dintre principiile puse la baza elaborării laserului cu excimer XeCl este pompajul prin descărcare electrică transversală cu ionizare preventivă ultravioletă a mediului activ gazos [2, 3].

În baza acestui principiu de pompaj, a fost elaborat conceptul construcției laserului, care include următoarele blocuri și sisteme:

- camera laser;
- blocul de alimentare;
- sistemul de pompaj prin descărcare electrică transversală;
- sistemul de ionizare preventivă a mediului activ gazos;
- sistemul de vacuumare și formare a mixturii gazoase;
- sistemul electronic de dirijare cu laserul.

Pentru obținerea unor caracteristici performante, necesare pentru aplicarea în tehnologiile de sinteză a structurilor semiconductoare, în proiectarea și elaborarea sistemului de pompaj al laserului cu excimer XeCl și a blocului de alimentare au fost aplicate unele soluții constructive noi.

Scopul lucrării prezente este analiza și descrierea cerințelor față de pompajul laserilor cu excimer excitați prin descărcare electrică transversală, a cerințelor față de elaborarea blocului de alimentare a laserului și prezentarea schemei bloc a laserului elaborat în laboratorul „Tehnologii laser” al Universității de Stat „Alecu Russo” din Bălți.

Lucrarea reprezintă prima parte a unui set de lucrări care va conține analiza detaliată a principiilor de elaborare a componentelor laserului cu excimer XeCl și a posibilităților de optimizare a parametrilor energetici și temporali.

Cerințele față de pompajul laserilor cu excimer

Parametrii temporali și energetici ai radiației laserului cu excimer sînt determinați de schema și construcția generatorului de pompaj, de metoda de preionizare, de geometria zonei active, de componența chimică a mixturii gazoase,

presiunea absolută în mediul activ și, de asemenea, de regimul de funcționare (mono impuls sau pulsuri cu anumită frecvență).

Pentru obținerea emisiei laser eficiente sînt necesare densități înalte a puterii de pompaj ($10^6 \div 10^7 \text{ W/cm}^3$). Conform [2], valorile minimale a densității puterii de pompaj care asigură apariția generației în mediul activ XeCl sînt de ordinul 10^5 W/cm^3 . Aceste valori sînt determinate de durata scurtă de viață a moleculei excimerice și de intensitățile foarte înalte de saturație. La valori înalte ale puterii de pompaj este complicat de a menține o descărcare difuză pe toată durata impulsului de excitare. Ca regulă, dispariția emisiei în perioada unui impuls de pompaj este cauzată de filamentarea descărcării sau de absorbția radiației de către ionii de Cl.

Procesul de filamentare devine dominant pentru perioadele de descărcare mai mari de 200 ns. Este cunoscut faptul că energia maximală emisă în laserii cu excimer cu excitare prin descărcare electrică transversală este obținută pentru durata impulsului de pompaj de ordinul $10 \div 100$ ns.

Micșorarea duratei impulsului de pompaj limitează valoarea energiei de excitare introdusă datorită influenței inductanțelor generatorului de pompaj.

Pentru o analiză mai detaliată, întreaga durată a procesului de pompaj poate fi divizată în 5 faze temporale distincte (fig.1).

Perioada t_1 corespunde timpului de creștere a tensiunii pe interstițiul de descărcare pînă la străpungere și are valori de ~ 100 ns. Această perioadă este determinată de generatorul de pompaj și depinde, în particular, de valorile capacităților și inductanțelor circuitului de pompaj, valoarea tensiunii de încărcare U_0 , particularitățile sistemului de preionizare și componența chimică a mediului activ.

În perioada t_2 are loc o cădere rapidă a tensiunii pe interstițiul de descărcare. Perioada t_3 corespunde procesului de excitare eficientă cu condiția menținerii descărcării difuze. Intervalul de timp t_4 corespunde stadiului cuazistaționar de descărcare, iar faza t_5 - timpului de excitare eficientă, pînă la apariția filamentării.

Durata t_2 este determinată, în principiu, de raportul U/Pd , unde U - tensiunea pe interstițiu, P - presiunea mixturii, d - distanța dintre electrozi. Valoarea raportului U/Pd înainte de străpungere, în afară de cele expuse, influențează, de asemenea, formarea descărcării difuze. Pentru sistemele tradiționale de preionizare U/Pd trebuie să fie mai mare decît U_{st}/Pd (U_{st} - tensiunea statică de străpungere). Cu creșterea raportului U/Pd , condițiile de formare a descărcării difuze devin mai favorabile.

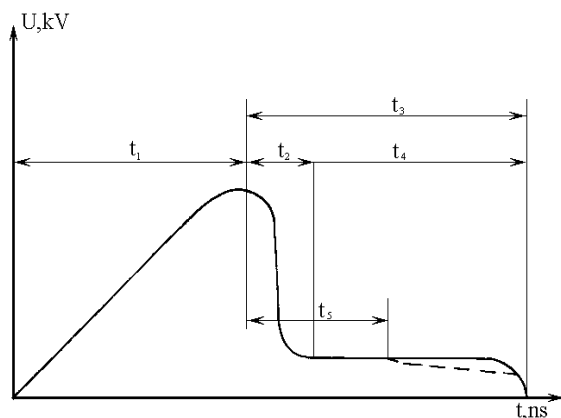


Fig.1 Fazele evoluției procesului de pompaj.

Valoarea t_4 este determinată de expresia $\pi(LC)^{1/2}$, deoarece rezistența activă a interstițiului de descărcare în laserul cu excimer este cu mult mai mică decât reactanța caracteristică. Raportul U/Pd în stadiul cuazistaționar t_4 este de câteva ori mai mic decât U_{st}/Pd și este determinat de componența și presiunea mixturii, fiind aproximativ egal cu $0,7 \text{ kV/cm}\cdot\text{at}$ pentru amestecul cu neon și $1,5 \text{ kV/cm}\cdot\text{at}$ pentru cel cu heliu.

În general, valoarea curentului în interstițiul de descărcare este determinată de schema generatorului de pompaj, parametrii elementelor ei (L,C), iar forma impulsului laser depinde de particularitățile schemei de pompaj, particular, de valorile capacităților acumulatorului și de faptul dacă schema de pompaj conține și capacități de accelerare a descărcării. Astfel, variind parametrii generatorului de pompaj poate fi optimizată eficiența laserului, durata și forma impulsului.

Una din schemele generatorului de pompaj frecvent utilizată este schema cu inversare LC în care capacitățile acumulatorului la încărcare sînt conectate în paralel, iar la descărcare – consecutiv [2, 3]. Pentru modelarea și analiza mai detaliată a proceselor din schema generatorului de pompaj, în fig.2 este prezentată schema lui echivalentă.

În fig.2, E_1 indică interstițiul între electrozii de descărcare ai laserului, iar E_2 reprezintă interstițiul eclatorului de inversare a tensiunii. Prin C_1 , C_2 , R_1 și L_1 sînt indicate corespunzător capacitățile, rezistența și inductanța circuitului de acumulare a energiei, iar prin C_2 , R_2 și L_2 - capacitatea, rezistența și inductanța circuitului eclatorului.

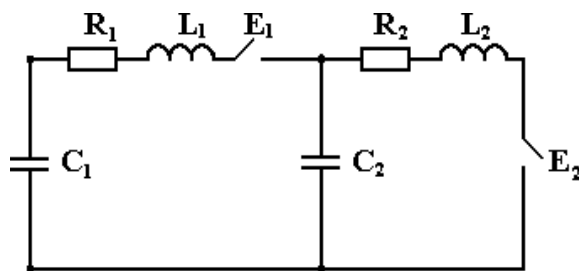


Fig.2 Schema electrică echivalentă a generatorului de pompaj.

Odată cu activarea eclatorului, în conturul L_2C_2 începe un proces oscilator. Astfel, pe parcursul perioadei de timp $\pi\sqrt{L_2C_2}$, are loc reîncărcarea condensatorului C_2 , iar tensiunea aplicată la electrozii E_1 se dublează (caz ideal). Energia acumulată în C_1 și C_2 va fi efectiv introdusă în descărcarea de pompaj, dacă timpul de inversare a tensiunii pe C_2 este mult mai mare decât timpul de descărcare a condensatoarelor C_1 și C_2 , unite consecutiv.

Eficiența pompajului depinde în mare măsură de caracteristica procesului de inversare care poate fi cu amortizare puternică, critică sau slabă.

Cazul optimal pentru pompajul laserului este cazul cu amortizare slabă, în care tensiunea aplicată la electrozii laserului în momentul străpunerii este egală cu tensiunea dublă de încărcare a acumulatorului de energie. Parametrii circuitului eclatorului E_2 sînt determinanți pentru toate trei cazuri. Amortizarea slabă este determinată de condiția: $R_2 < 2(L_2/C_2)^{1/2}$.

Valoarea rezistenței R_2 depinde de parametrii eclatorului, în special de suprafața de străpungere și de presiunea gazului în eclator. Este clar că valoarea

rezistenței trebuie să fie cât mai mică. Evident că, în afară de cele expuse, asupra eficienței schemei de pompaj mai influențează și alți factori.

Conform analizelor prezentate în [4], eficiența laserului cu excimer nu este determinată doar de acordarea optimală a generatorului de pompaj cu interstițiul dintre electrozi.

Din acest punct de vedere, mai prezintă interes asemenea caracteristici ale generatorului de pompaj ca energia specifică introdusă E_{sp} și coeficientul de transfer η_a a energiei acumulate.

Energia specifică introdusă în descărcare pentru durata primului impuls de curent poate fi determinată prin integrare după formula: $E_{sp} = \int_0^t UI dt$, unde τ - durata primului impuls de curent, care aproximativ coincide cu durata impulsului general.

Cunoscînd energia acumulată în generatorul LC: $E_a = CU^2/2$, pot fi calculați coeficientul de transfer al energiei în descărcare $\eta_a = E_i/E_a$, puterea specifică introdusă $W_i = E_i/\tau_i V_a$ (unde V_a - volumul activ de descărcare) și eficiența totală de emisie $\eta_g = E_g/E_a$.

În lucrările [2, 4] se arată că, odată cu creșterea tensiunii de încărcare, energia specifică introdusă în descărcare crește, în schimb coeficientul de transfer scade. Aceeași dependență se observă și la mărirea presiunii mediului gazos.

Este important de menționat, că odată cu creșterea presiunii și a distanței dintre electrozi, energia specifică introdusă în descărcare scade, iar energia totală introdusă crește. De aceea, pentru mărirea energiei emise este rațional de a se mări distanța dintre electrozi și presiunea mediului activ pînă la valorile care asigură condiții favorabile de concordanță a rezistenței interstițiului de descărcare cu rezistența ondulatorie a schemei electrice de pompaj.

Cerințele față de blocul de alimentare

În modelele experimentale precedente a fost elaborat un bloc de alimentare cu sincronizare din rețea.

Lucrările de testare a acestui bloc de alimentare au permis determinarea neajunsurilor și cerințelor tehnice pentru elaborarea unui bloc de alimentare mai performant.

O particularitate constructivă a blocului de alimentare cu sincronizare de la rețea este transformatorul de tensiune înaltă care asigură reglarea discretă a tensiunii în limita 400-1000V în trepte a cîte 50 V. În consecință, energia acumulată are valori discrete proporționale cu tensiunea de încărcare.

Deoarece tensiunea pe acumulatorul intermediar poate avea numai valori constante discrete, efectuarea lucrărilor experimentale de optimizare a parametrilor energetici ai laserului este dificilă.

O altă particularitate a blocului este formarea frecvenței de repetiție și sincronizarea momentului de funcționare a elementului de putere a convertorului de

tensiune înaltă (triac) cu momentele zero ale tensiunii din rețea. Această metodă de formare a semnalelor de comandă are următoarele dezavantaje:

- este dificilă sincronizarea aparatelor de măsură din exterior cu momentul declanșării procesului de pompaj al laserului;
- sincronizarea de la rețea nu asigură funcționarea stabilă a generatorului de frecvențe.

Reieșind din cele expuse mai sus, la baza proiectării noului bloc de alimentare a fost pusă condiția tehnică care ar exclude sincronizarea de la rețea și ar oferi următoarele posibilități avantajoase:

- reglarea fină a tensiunii pe acumulatorul de energie;
- dirijarea manuală și din exterior;
- sincronizarea aparatelor de măsură de la laser.

Deoarece, pentru obținerea tensiunii înalte de încărcare a acumulatorului principal de energie se folosește un convertor de tensiune înaltă cu triac care funcționează în impuls, cerințele expuse pot fi realizate eficient folosind un convertor de tensiune suplimentar, care ar funcționa numai în perioadele de repaos dintre impulsurile de repetiție ale laserului. Astfel, se exclude necesitatea sincronizării convertorului de tensiune cu triac de la rețea, necesară pentru a avea o perioadă de timp cu lipsă de curent în circuit ce servește pentru închiderea triacului. În acest caz, valoarea tensiunii necesare de încărcare poate fi selectată cu exactitate.

Pe baza celor expuse, blocul de alimentare elaborat va deține următoarele caracteristici:

1. Energie maximă acumulată $E = 25\text{J}$;
2. Frecvența maximă de repetiție $F = 30\text{ Hz}$;
3. Putere medie a blocului $P = 1\text{kW}$;
4. Limitele de reglare a reținerii $\tau = 5 \div 100\ \mu\text{s}$;
5. Tensiune reglabilă de încărcare $U = 100 \div 1000\text{V}$;
6. Tensiunea de pompaj $U_p = 2500 \div 25000\text{V}$;

Suplimentar, blocul de alimentare va avea următoarele funcții:

- menținerea automată a valorii tensiunii de încărcare selectate;
- dirijarea interioară cu frecvența de repetiție și sincronizarea sistemelor exterioare de măsură;
- dirijarea manuală și exterioară cu frecvența de repetiție;
- sincronizarea laserului cu semnale de la aparatele de măsură.

Elaborarea schemei bloc a sistemului de alimentare

Elementul de bază al blocurilor de alimentare cu funcționare în impuls este convertorul de tensiune înaltă cu acumulator intermediar de energie. Deci funcțional, elementul de bază inclus în schema blocului de alimentare va fi convertorul de tensiune înaltă. La rândul său, acumulatorul intermediar de energie cu încărcare de la transformator cu reglare în trepte nu permite obținerea unui regim energetic optimal, de aceea este necesar a folosi o altă sursă de încărcare.

O soluție rațională este folosirea unui convertor de tensiune care va menține un curent constant de încărcare a acumulatorului intermediar. În cazul când curentul de încărcare este constant, tensiunea pe acumulatorul intermediar crește liniar. În acest caz convertorul poate fi dirijat, folosind o schemă specială care asigură măsurarea tensiunii de pe acumulatorul intermediar și compararea ei cu o tensiune etalon. În consecință, poate fi selectată orice tensiune de încărcare în limitele $0 - U_{c \max}$.

Din cele expuse rezultă necesitatea proiectării unui convertor de tensiune, a unui bloc de comandă cu convertorul și a unui bloc de selecție a tensiunii (energiei) acumulate.

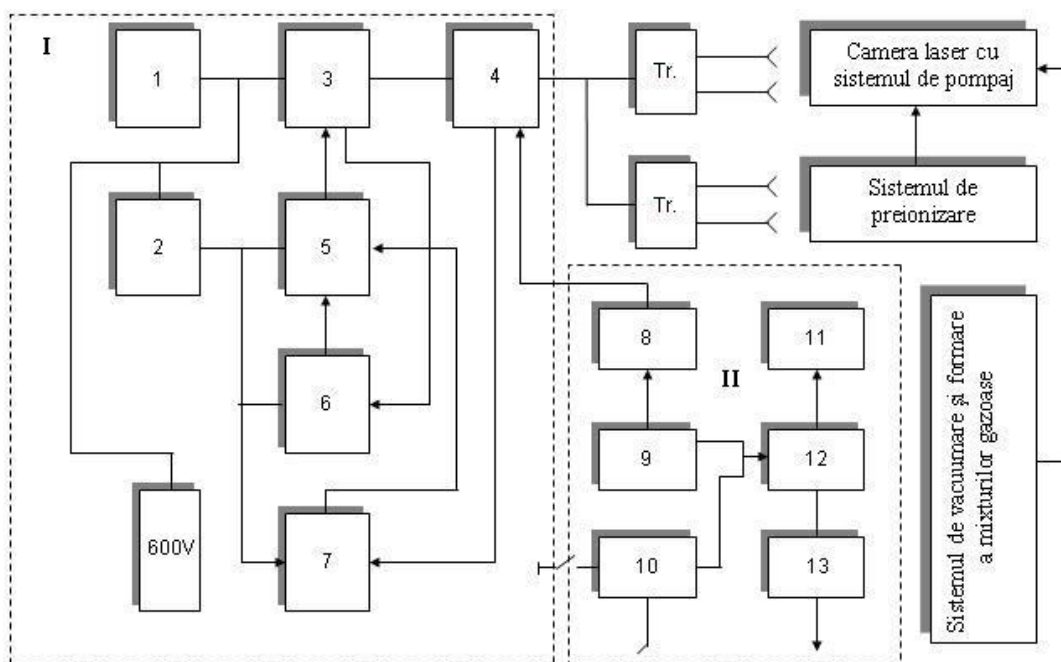


Fig.3. Schema-bloc a laserului

I – Blocul de alimentare al laserului: 1- filtru de protecție; 2 - bloc de alimentare; 3 - convertor de tensiune; 4 - convertor de tensiune înaltă; 5 - bloc de comandă cu convertorul de tensiune; 6 - bloc de protecție a convertorului de tensiune; 7 - bloc de selecție a tensiunii convertorului; II – Blocul de dirijare al laserului : 8 - bloc de comandă cu tiristorul convertorului de tensiune înaltă; 9 - generator de frecvență de repetiție 10 - bloc de comandă cu dirijare manuală și de la distanță; 11 - bloc de comandă a sistemului de preionizare; 12 - bloc reglabil de reținere în timp a impulsului de comandă cu blocul de preionizare; 13 - bloc de formare a impulsului de sincronizare cu aparatele de măsură.

Pentru o fiabilitate mai înaltă a blocului de alimentare este necesară folosirea următoarelor blocuri adăugătoare:

- blocul de protecție a convertorului de tensiune de suprasarcină;
- blocul de comandă cu frecvența de repetiție a laserului;
- blocul de ionizare preventivă;

- blocul reglabil de reținere în timp a impulsului de comandă cu blocul de preionizare;
- blocul de comandă cu triacul convertorului de tensiune înaltă;
- blocul de formare a impulsului de sincronizare a aparatelor de măsură;
- blocul de dirijare manuală sau exterioară cu frecvența de repetiție a laserului.

Schema-bloc a sistemului de alimentare (cu blocurile componente auxiliare) este prezentată în fig. 3 ca parte componentă a schemei-bloc a laserului care mai conține:

- blocul de dirijare al laserului ;
- camera laser cu sistemul de pompaj;
- sistemul de preionizare;
- sistemul de vacuumare și formare a mixturii gazoase

Lucrarea este realizată în cadrul proiectului 07.498.04.05 PA „Elaborarea laserului cu excimer XeCl pentru aplicații tehnologice” cu suport financiar în cadrul Programului de Stat „Cercetari fundamentale și elaborari de materiale și dispozitive pentru aplicatii fotonice si optoelectronice”.

Bibliografie

1. Елецкий, А.В. Эксимерные лазеры // УФН. -1978. -Т.125. -N2. -С.279-314.
2. Месяц, Г.А., Осипов, В.В., Тарасенко, В.Ф., Импульсные газовые лазеры. // М.: Наука, 1991, 271 с.
3. Баранов, В.Ю., Борисов, В.М., Степанов, Ю.Ю., Электроразрядные эксимерные лазеры на галогенидах инертных газов // М.: Энергоиздат, 1988, 216 с.
4. Ануфрик, С.С., Володенков, А.П., Зноско, К.Ф., Энергетические характеристики ХеСl-лазера с возбуждением LC-инвертором // ЖПС, 1999, т.66, №5, С.702–707.

PARTICULARITIES OF ELABORATING EXCIMER XeCl LASER

**Valeriu Gutan, Ion Olaru, Mihail Radcenco, Mihail Negritu,
Andrei Cerneleanu**
(Alec Russo State University, Republic of Moldova)

Some particularities of projection and elaboration of excimer XeCl laser for technological application are described in this paper. The requirements for the pumping through electric discharge of the lasers with excimer are described and the scheme equivalent of LC inverter is analyzed. The requirements for the power unit of laser are determined and scheme block is presented.

Prezentat la redacție la 20.09.08