UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" din BUCUREȘTI



TEZĂ DE DOCTORAT Rezumat

SISTEME OPTO-ELECTRONICE DE COMANDĂ SI CONTROL PENTRU LASERII ULTRAINTENȘI

OPTO-ELECTRONIC COMMAND AND CONTROL SYSTEMS FOR ULTRA-INTENS LASERS

Conducător științific: Prof. dr. ing. Paul Șchiopu

Doctorand: Ing. Mihai Şerbănescu

BUCUREȘTI 2020

SISTEME OPTO-ELECTRONICE DE COMANDĂ SI CONTROL PENTRU LASERII ULTRAINTENȘI

Mulțumiri

Realizarea prezentei teze a fost posibilă cu sprijinul total și a susținerii domnului profesor universitar Dr. Ing. Paul Șchiopu, conducătorul științific al tezei de doctorat, precum și întregii echipe de îndrumare: prof.dr.ing. Adrian Manea, conf.dr.ing. Marian Vlădescu și conf.dr.ing. Ioan Plotog, cărora le adresez pe această cale sincere mulțumiri pentru suportul științific oferit pe întreaga perioadă a școlii doctorale.

Pe parcursul efectuării și elaborării acestei teze am beneficiat de sprijinul permanent din partea domnului Dr. Marian Zamfirescu, Șef CETAL, căruia îi mulțumesc în mod special pe această cale.

Doresc să le mulțumesc colegilor mei Dr. Săndel Simion, Dr. Andreea Groza, Dr. Cătălin Luculescu și Dr. Liviu Neagu pentru îndrumările, sugestiile și susținerea acestora în elaborarea prezentei teze.

Doresc să mulțumesc în mod deosebit colegilor mei din echipa CETAL-PW, Dr. Achim Alexandru, Dr. Aurelian Marcu, Dr. Constantin Diplașu, Dr. Georgiana Giubega, Dr. Răzvan Ungureanu și Dr. Gabriel Cojocaru pentru cerințele lor legate de laserul CETAL-PW, pentru ajutorul, sugestiile și criticile lor privind soluțiile implementate. Acestea au influențat și contribuit decisiv la obținerea rezultatelor prezentate în această lucrare.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei mele pentru sprijinul și înțelegerea acordată pe toată perioada studiilor doctorale.

Cuprins

1. Introducere		
2. Comanda și controlul laserilor ultraintenși	2	
2.1 Introducere	2	
2.2 Etajul de sincronizare	3	
2.3 Etajul cronometru	4	
2.4 Corecția de drum optic	6	
3. Prezentarea laserului CETAL-PW	8	
4. Implementarea soluțiilor adoptate	10	
4.1 Introducere	10	
4.2 Sistemul de sincronizare - SINCROLASER	10	
4.3 Sistem de monitorizare temporala a pulsurilor optice din laserii ultraintenși	15	
4.4 Sistem de control a poziției fascicolului pentru laserul CETAL-PW	23	
5. Aplicații ale soluțiilor dezvoltate, în scanarea laser de tip LIDAR		
6. Concluzii		
Bibliografie		

Observație: în rezumat a fost păstrată numerotarea din teză a indicațiilor bibliografice;

1. Introducere

Laserul reprezintă una dintre marile invenții ale omenirii ce permite ghidarea si controlul luminii în scopul utilizării ei în aplicațiile lumii moderne. Creșterea permanentă a puterii de ieșire a fost limitată de pragul de distrugere al componentelor optice utilizate, respectiv de atingerea pragului de densitate de energie transmisă atât spațial cât și temporal.

Depășirea acestui obstacol a fost posibilă printr-o abordare originală a profesorului Gérard Mourou împreună cu Donna Strickland. Aceștia au propus un sistem global de amplificare a pulsurilor laser prin expandarea temporală a acestora, amplificarea propriuzisă si recomprimarea lor, metodă denumită "Chirped Pulse Amplification" (CPA) [1].

Această tehnologie a permis obținerea de fascicule laser cu puteri de vârf de ordinul a 10 PW, tehnologie implementată actual la facilitatea ELI-NP, ce găzduiește un ansamblu laser cu doua ieșiri de 10 PW în paralel comandate de un oscilator comun [2].

Creșterea acestei puteri de vârf este posibilă prin utilizarea de amplificatoare laser dispuse în paralel [3] și ulterior combinarea fasciculelor la țintă[4]. O altă abordare este amplificarea optică parametrică a pulsurilor laser expandate temporal OPCPA ("Optical Parametric Chirped Pulse Amplification") [5]. Aceasta reprezintă un proces neliniar de ordinul doi generat de suprapunerea spațială și temporală a două fascicule laser și care generează apariția unei noi unde cu frecvența egală cu diferența frecvențelor undelor inițiale. Practic are loc o amplificare a fascicolului de semnal pe durata suprapunerii spațiale și temporale a undelor respective. Suprapunerea temporală a pulsurilor laser implică elemente de sincronizare precum și sisteme de măsură și control al acestora. Prin această tehnică sunt posibile obținerea directă de pulsuri laser de 100 PW [6].

Prezenta lucrare prezintă o metodă originală pentru generarea soluțiilor specifice laserilor ultraintenși cum ar fi sincronizarea, controlul temporal și spațial al pulsurilor laser pentru amplificatoarele parametrice OPCPA pentru obținerea intensităților viitoare de 100PW și cu aplicații imediate pentru laserii CPA super-intenși de 1 PW și 10 PW existenți.

Astfel, cercetările proprii originale efectuate în cadrul desfășurării acestei teze au fost testate și implementate direct în cadrul Institutul National pentru Fizica Laserilor, Plasmei si Radiației (INFLPR) unde s-a instalat, utilizat și dezvoltat laserul ultraintens CETAL-PW ce poate asigura pulsuri laser de maxim 1 PW (10¹⁵ W). Probele funcționale și utilizarea laserului CETAL-PW au demonstrat necesitatea adoptării soluțiilor cercetate pentru implementarea unor sisteme de comandă și control, atât pentru menținerea drumului optic cât și pentru controlul temporal.

Lucrarea cuprinde cercetările, detaliile de proiectare și dimensionare ale sistemelor propuse, implementarea lor fizică și testarea lor în cadrul real al exploatării laserului CETAL-PW.

Practic, în capitolul 2 sunt analizați laserii ultraintenși atât pentru cei in gama 1 PW-10 PW amplificați prin tehnica CPA ("Chirped Pulse Amplification") cât și cei viitori în gama 100 PW amplificați prin tehnica OPCPA ("Optical Parametric Chirped Pulse Amplification") din punct de vedere al sistemelor de comandă și control. Se prezintă soluțiile implementabile precum și soluțiile inovatoare dezvoltate în cadrul tezei.

În capitolul 3 este prezentat laserul CETAL-PW reliefându-se blocurile inițiale de comandă și control atât din punct de vedere spațial cât si temporal, precum și limitările existente acestora.

În capitolul 4 este prezentată implementarea completă a soluțiilor propuse atât pentru elementele de comandă și control temporale (etajul de sincronizare, etajul de monitorizare temporală a pulsurilor laser) cât și spațiale prin monitorizarea poziției fascicolului laser la deplasarea acestuia prin sistemul de transport.

În capitolul 5 este prezentată suplimentar o implementare a conceptelor dezvoltate în teză și aplicată într-un proiect practic de scanare laser de tip LIDAR cu aplicații în industria auto.

În anexe sunt prezentate programele utilizate pentru controlul echipamentelor dezvoltate în cadrul tezei, atât programele interne scrise în limbaj de asamblare cât și programele interfață de calculator scrise în python.

2. Comanda și controlul laserilor ultraintenși

2.1 Introducere

Pentru funcționarea în parametrii optimi a laserilor ultra-intenși atât pentru cei in gama 1 PW-10 PW amplificați în tehnica CPA ("Chirped Pulse Amplification") cât și cei viitori amplificați în gama 100 PW amplificați în gama OPCPA ("Optical Parametric Chirped Pulse Amplification") sincronizările temporale precum și drumurile optice sunt critice. Orice desincronizare va genera eliminarea amplificării pulsului optic și orice eroare de drum optic va genera fie distrugerea elementelor optice prezente pe traseul acestuia fie distrugerea pulsului propriu-zis. Schema bloc a unui laser super-intens, din punct de vedere al comenzilor și controlului este afișată în fig.2.1:



Fig. 2.1 - Schema bloc de amplificare a pulsurilor ultrascurte în mod CPA și OPCPA

În figura 2.1 se prezintă lanțul optic simplificat, respectiv oscilatorul de femtosecunde, selectorul de pulsuri, etajul de condiționare fascicul specific laserilor OPCPA, pentru controlul direcției și timpului de parcurs, amplificatorul optic și linia de transport fascicul laser în camera de interacție.

Etajul de comandă și control pentru un laser ultraintens trebuie să conțină:

- un etaj de sincronizare ce asigură comanda laserilor de pompaj şi selecția pulsurilor laser utile prin intermediul modulatoarelor electro-optice (Pockels cels) pentru energii şi diametre de fascicul mici şi comutatoare opto-mecanice pentru diametre de fascicul mari şi frecvențe de lucru mici sau în regimuri de lucru puls cu puls;
- Un etaj de măsurare a intervalelor de timp dintre pulsul util laser și pulsul (pulsurile) de pompaj pentru obținerea amplificării optice maxime
- Un sistem de detecție și corecție a drumului optic prin laser și prin sistemul de transport al fascicolului până în camera de interacție.

2.2 Etajul de sincronizare

Rolul acestui etaj este sa asigure selecția pulsurilor și comanda tuturor elementelor active din laser precum și toate sincronizările externe corelate cu pulsul laser.



Schema bloc a unui etaj de sincronizare este afișată în fig.2.2:

Fig. 2.2 - Schema bloc a etajului de sincronizare pentru laserii super-intenși

Acesta este compus dintr-un divizor de frecvență fix ce asigură ceasul de sistem de frecvență KHz (uzual 1 KHz) din ceasul generic de frecvență de MHz sincron cu pulsurile laser generate de oscilatorul optic de femtosecundă.

Ceasul de sistem de KHz este demultiplicat prin numărătoare sincrone programabile la frecvențele de lucru necesare din laser, respectiv 1 KHz, 100 Hz, 10 Hz, 1 Hz, 0,1 Hz etc. Întrucât fiecare nou ceas obținut comandă un element activ din laserul super-intens este necesar și un etaj de întârziere a pulsului, programabil, pentru sincronizarea execuției comenzii respective cu pulsul optic. Comanda astfel obținută trebuie să fie condiționată de regimul de lucru global al laserului, respectiv pulsuri continue, în rafală sau puls cu puls și în final amplificată specific pentru comanda etajului de execuție: comutatoare electro-optice (celule Pockels și module acusto-optice), opto-mecanice (shuttere), elementele de pompaj optic (lămpi flash și module de diode de putere).

Tot sistemul trebuie să fie programat și controlat din programe interfață de pe calculatoarele locale și să asigure comenzi de sincronizare a programelor de achiziție de date și a serverului pentru preluarea acestora în baza de date globală.

Etajul asigură interfața dintre semnalele generate permanent, corelate cu pulsurile optice, cu etajele de comandă laseri de pompaj și obturatoare opto-electro-mecanice și etajele monitorizare și preluare de date din laserii super-intenși (energimetre, spectrometre, camere de profil sau de poziție etc) precum și regimul de lucru al laserului.

Toate datele achiziționate la puls trebuie salvate central și etajul asigură comenzile necesare acestei activități.

2.3 Etajul cronometru

Schema bloc generică a unui sistem de măsură a timpilor între impulsurile optice [14] este afișată în fig 2.3, respectiv:





Schema implică utilizarea fotodiodelor ultrarapide, amplificatoare de transimpedanță [15] ce convertesc curentul generat în tensiune de lucru, utilizarea unor comparatoare pentru formarea impulsurilor digitale și etajul digital cronometru cu măsurări de timp între semnalele de "Start" si "Stop". Această metodă directă de măsură funcționează corect în condițiile în care semnalele au amplitudini similare și cele două semnale sunt "curate" fără artefacte generate de reflexii parazite sau subarmonici. În condițiile în care amplitudinea semnalelor măsurate variază apar erori de măsură introduse de pragurile fixe ale comparatoarelor, "eroarea de pantă", conform fig.2.4.



Fig. 2.4 - Evidențierea erorilor de măsură temporale date de panta semnalelor optice

Eliminarea acestor erori se poate face prin măsurarea derivatelor semnalelor de intrare. În condițiile în care semnalul obținut este contaminat cu reflexii multiple atunci și derivata acestuia va genera semnale multiple, fig.2.5, respectiv:



Fig. 2.5 - Derivata semnalelor optice în condiții ideale și reale

Deoarece un laser ultraintens este zgomotos optic și elementele laser sunt închise în cutii de protecție apărând reflexii multiple, această metodă de măsură nu se poate aplica.

În cadrul tezei am dezvoltat o metodă originală [16,17] prin care se măsoară întârzierile dintre două semnale atât prin metoda derivatei adaptată cât și cu determinarea momentelor efective de generare a semnalelor, conform fig.2.6.



Fig. 2.6 - Pragurile de determinare 5

Practic se măsoară mai multe intervale de timp corespunzătoare unor niveluri cunoscute ale pragurilor de basculare ale comparatoarelor din sistem,. și întârzierea efectivă este calculată funcție de acestea. Pentru a determina legea de compoziție se determină suplimentar caracteristica sistemului măsurând întârzierile fără reflexii multiple, semnalele optice de Start si Stop având aceiași formă dar cu amplitudini diferite. Întârzierea dintre cele două semnale optice se măsoară prin timpii între maximele semnalelor sau având un prag de comparare prin semisuma timpilor de basculare atât pentru frontul pozitiv (T_0) cât și pentru frontul negativ (T_3) conform fig. 2.7.



Fig. 2.7 - *Sistemul de măsură temporală în cazul semnalelor nedistorsionate* Practic întârzierea este:

$$T = \frac{T_0 + T_3}{2} \tag{2.18}$$

Aceasta relație este adevărată numai și numai dacă $T_3 < T_0$

Și ținând seama de calibrările descrise anterior sistemul general devine:

$$T = \frac{T_0 + T_3}{2} \tag{2.23}$$

$$T = f(T_0, T_1, T_2) \tag{2.24}$$

În cadrul laserilor ultraintenși, întrucât semnalele sunt periodice se pot face determinări de întârziere între acestea făcând măsurări de timp alternativ față de un semnal digital de referință.

2.4 Corecția de drum optic

În cadrul sistemelor laser și în special în cazul laserilor ultraintenși, propagarea pulsurilor de femtosecunde este critică [18]. Variațiile de drum optic si de intensitate ale pulsurilor laser ce apar de-a lungul propagării prin elementele optice, pornind de la oscilator până la țintă, induc fie distrugerea elementelor optice din sistem fie pierderea caracteristicilor fundamentale ale pulsului de femtosecunde. Problemele variaților de drum optic au fost evidențiate încă de la apariția laserilor de femtosecunde fiind propuse soluții prin folosirea opticii reflective de tip sferic și parabolic [19] precum și sisteme active de corecție folosind fotodiode în cuadrant [20].

La propagarea fascicolului laser prin etajele optice succesive, impulsul laser este amplificat energetic și magnificat spatial prin intermediul unor telescoape optice astfel încât sa se mențina permanent densitatea de energie sub pragurile de distrugere ale componentelor respective, uzual 150 mJ/cm². Laserii ultraintenși prezintă lungimi de drum optic de sute de metri și orice dezalinire în special pentru diametrele mari prezente în cadrul pulsurilor de energie foarte mare duce automat la distrugerea elementelor optice.

Variațiile de drum optic apar în sistemele laser din cauzele: reglajul unghiului de incidență pe cristal în cazul amplificatoarelor parametrice din laserii OPCPA; variațiile lentilelor termice din mediile active induse de sistemele de răcire; variația temperaturii mediului ambiant; variația umidității mediului ambiant; variația temperaturii elementelor optice din sistem (oglinzi); deplasările oglinzilor de mari dimensiuni situate în tubulatură la extragerea aerului pentru pregătirea experimentelor. Compresorul și linia de transport fascicul funcționează la 10⁻⁶ mbar. Toate aceste variații de drum optic sunt temporal lente și pot fi compensate prin instalarea suplimentară în sistem a unor camere video CCD si utilizarea monturilor motorizate. Astfel monitorizarea poziției se realizează cu camere de tip câmp apropiat ("NearField") - camere in care deplasarea obiectului se regaseste proportional cu deplasarea spotului pe senzorul CCD – si camere de tip câmp îndepărtat ("FarField") care prezinta un sistem optic cu o focala foarte lungă si pe senzorul CCD se regăsește spotul focal al fascicolului de monitorizat și deplasarea acestuia este proportionala cu unghiul fascicolului Schema bloc de control al drumului optic printr-un laser ultraintens propusă pentru eliminarea problemelor mai sus menționate este afișată în figura 2.8.



Fig. 2.8 - Schema bloc de control al poziției fascicolului optic la propagarea printr-un laser ultraintens

3. Prezentarea laserului CETAL-PW

În cadrul INFLPR, în infrastructura CETAL este instalat laserul ultraintens CETAL-PW.

Funcționarea acestui sistem complex este asigurată de următoarele blocuri :

- Condiționare fascicul laser "Front-End" fig.3.2;
- Amplificator in regim nominal "Amplificator 2" fig.3.3;
- Generare impuls de PW "Compresor";
- Transport fascicol în camera de interacție "BTL";
- Sistemul de focalizarea a pulsului laser pe țintă.

Acestea sunt prezentate global în figura 3.1.

Etajul de condiționare fascicul laser "Front-End" are rolul de a genera pulsuri laser cu caracteristicile spectrale și de contrast necesare pentru amplificarea energetică și pentru compresie. În funcție de caracteristicile elementelor optice implicate etajele componente funcționează la diverse frecvențe, respectiv 80 MHz, 1 KHz, 10 Hz și 0,1 Hz.

Amplificatorul 2 este un amplificator laser multipas având patru treceri ale pulsului laser util prin mediul activ și amplifică energetic pulsul laser până la 30 J.

Frontul pulsului laser amplificat este corectat cu ajutorul unei oglinzi deformabile, este magnificat până la un diametru de 160 mm, și este recomprimat temporal în "compresor" reobținându-se durata acestuia de 25 fs și este transmis prin vid prin sistemul de transport "BTL", compus din oglinzile dielectrice M1 – M4, fig.3.5, în camera de interacție unde prin intermediul unei oglinzi parabolice este focalizat pe țintă. Compresorul și sistemul de transport funcționează sub vid la presiunile de 10^{-7} - 10^{-6} mbar.

Monitorizarea fascicolului se realizează prin camerele video plasate în spatele oglinzilor M2 și M4 vizualizând transmisia reziduală prin oglinzile respective.

Comenzile din laser precum și sincronizările necesare se execută cu două echipamente dedicate ISEO [25] dezvoltate de fabricant și înseriate. Acestea asigură funcțiile de etaj de demultiplicare analizate anterior în prezenta lucrare și funcțiile de control întârziere pentru fiecare ieșire, conform schemei bloc din figura 3.2

Laserul CETAL-PW reprezintă un sistem complex ce furnizează în mod continuu în camera de interacție un puls laser de intensitate de 1 PW. Din punctul de vedere al sistemului de comandă și control sistemul CETAL-PW prezintă blocurile necesare de sincronizare dar care funcționează doar în mod continuu pentru cele două intensități de 1 PW și frecvență de lucru de 0,1 Hz și de 45 TW cu frecvența de 10 Hz.

Din punct de vedere al controlului temporal sistemul nu prezintă nici o monitorizare, astfel apărând în cadrul funcționării normale, de durată, abateri temporale (drift) între pulsurile de pompaj și pulsurile laser utile generate de diferențele de drum optic. Din punct de vedere al controlului spațial sistemul asigură un control insuficient îndeosebi în zona critică a liniei de transport (BTL) a pulsului laser comprimat în camera de interacție având doar două elemente de control pentru 4 oglinzi.



Fig. 3.1 -Schema bloc a sistemului CETAL-PW, o diagrama similară a fost afișată în [21]



Fig. 3.2 - Schema bloc a sistemului de comandă laser CETAL-PW

4. Implementarea soluțiilor adoptate

4.1 Introducere

Prezentarea soluțiilor de comandă și control pentru laserii ultraintenși, realizată în capitolul 2, a pus în evidență necesitatea implementării unor blocuri funcționale care să conțină:

- Etajul de sincronizare ce comandă laserii de pompaj, asigură selecția pulsurilor laser prin intermediul modulatoarelor electro-optice și opto-mecanice;
- Etajul de măsurare a intervalelor de timp dintre pulsul util laser și pulsul (pulsurile) de pompaj pentru obținerea amplificării maxime
- Sistemul de control și corecție a drumului optic prin laser și prin sistemul de transport al fascicolului până în camera de interacție.

Implementare soluțiilor și testarea acestora s-a realizat pe laserul CETAL-PW, laser prezentat în capitolul 3.

4.2 Sistemul de sincronizare - SINCROLASER

Sistemul laser CETAL-PW prezintă doar două regimuri de lucru distincte, putere de vârf de 45 TW cu frecvența de lucru 10 Hz și regim de putere de 1 PW cu frecvența de lucru de 0,1 Hz. Aceste configurații nu permit utilizarea acestuia în regim puls cu puls sau în rafală și nici funcționarea la alte frecvențe, respectiv 10 Hz, 0,1 Hz, 0,05 Hz, 0,033 Hz, etc. în funcție de experimentul efectuat.

Conform funcționării descrise în capitolul anterior comenzile sunt date de două generatoare de semnal ISEO (fabricație Thales Laser [25]) comandate de semnalul generat de oscilator (80 MHz) si care prezintă fiecare o demultiplicare sincronă fixă a ceasului ce devine noul semnal de sincronizare pentru restul de 20 de ieșiri TTL cu demultiplicare de frecvență și întârziere de fază programabile față de acesta. Toate laserele de pompaj funcționează permanent la frecvență a pulsului se execută la energii și diametre ale fasciculului foarte mici cu celule opto-electrice ("pockels cell") ce asigură selecția pulsului de lucru prin manipularea polarizării optice atât din seria primară generată de oscilator de 80 MHz cât și din seria secundară de 1 KHz din etajul de condiționare puls laser. Astfel înainte de etajele de amplificare frecvența pulsului este de 10 Hz. Selecția suplimentară a pulsului pentru funcționarea la 0,1 Hz este realizată de un obturator opto-mecanic Uniblitz.

Din fabricație, pentru funcționarea la 10Hz, obturatorul Uniblitz este permanent deschis prin acționarea comutatoarelor frontale și pentru funcționarea la 0,1 Hz este setat "remote" și comanda se generează din ISEO2. Manipularea pulsurilor laser în alte regimuri decât cele inițiale se poate face comandând suplimentar acest obturator opto-mecanic.

Suplimentar față de comenzile necesare laserilor de pompaj și a obturatoarelor optice etajul de sincronizare trebuie să asigure existența unor magistrale fizice de sincronizare (TTL) pentru toate etajele de monitorizare a laserului global și al experimentului (camere video, spectrometre, energimetre, powermetre etc) precum și comenzi de sincronizare pentru programele de calculatoare ce controlează aceste echipamente si pentru transferul datelor din acestea după pulsul laser într-o bază de date. În figura 4.1, PC1, PC2, PC3, PC4 sunt calculatoarele inițiale de comandă din sistem (comandă laserii de pompaj, echipamentele auxiliare etc) instalate de fabricant și sunt elemente critice fiind complet izolate de rețele externe pentru evitarea accesărilor ilegale. Calculatoarele auxiliare PC Diagnoza 1, PC Diagnoza 2 și PC Diagnoză 3, instalate, sunt calculatoare de control din sistem care preiau datele din echipamentele de monitorizare. Acestea sunt cablate într-o rețea INTRANET cu un server de baza de date ce preia informațiile din acestea. Echipamentul Sincrolaser trebuie să comande aceste calculatoare sa achiziționeze datele la puls și serverul de bază de date să preia aceste date în vederea stocării permanente.



Fig. 4.1 - Schema de conexiuni a controlului in laserul CETAL-PW

Comanda achiziției datelor de către serverul de baze de date se asigură de echipamentul Sincrolaser prin intermediul unui mașini dedicate ce scrie direct în bază un indicator (flag) de salvare specific precum și parametrii de funcționare.

Implementarea directă a specificațiilor descrise în este afișată în figura 4.2, astfel:



Fig. 4.2 - Schema bloc a echipamentului de sincronizare

Obținerea unui sistem fără jitter implica utilizarea unor circuite integrate cu intrări de tip Trigger Schmitt hardware- cu pragurile de basculare fără variații determinate de temperatura sau de tensiunea de alimentare - implica utilizarea familiilor de circuite integrate ACT [26][27]. Impedanțele de ieșire de 50 Ω implica capabilitate de curent de ieșire tipic de 50 mA si cu limitare de curent de scurtcircuit.

Separările galvanice necesare se asigura cu optocuploarele digitale ACPL-061 ce asigura o transmisie de 10 MHz, respectiv timpi de comutație de 10ns si ieșiri compatibile TTL [28]. Rezistentele de intrare se aleg in funcție de semnalele de comanda astfel încât curentul de curentul de comutare sa fie 5 mA.

Tot sistemul este comandat de un procesor ce are rolul de selecție si sincronizare impulsuri din ISEO cu regimul de lucru ales, comunicarea cu calculatorul si comanda obturatoarelor din sistem. Deoarece timpii de întârziere si sincronizare sunt generați extern (din blocurile ISEO), timpii de decizie ai procesorului nu sunt critici. S-a ales un procesor uzual ATMEGA8A [29] comandat cu un cristal de cuarț de 14.7456 MHz. S-a ales aceasta valoare pentru a se asigura o comunicație seriala, prin intermediul magistralei USB, fără erori temporale de comunicație in modul de transmisie asincron [20]. Comunicația este asigurata de convertorul serial –USB obținut cu FT232R [30] ce asigura toate funcțiile necesare și schema electronică este afișată în fig.4.10.

Figura 4.3 conține schemă generală a plăcii de bază a echipamentului Sincrolaser.

Convertorul Serial-Rețea s-a realizat utilizând microcalculatorul Rasberry PI [31] comandat prin USB doar pe comanda de transmisie Tx prin intermediul unui circuit FTDI FT232R [30] suplimentar. Softul de comunicație cu baza de date s-a realizat în Phyton 3.0. Schema implementată este afișată în figura 4.4.



Fig. 4.3 - Schema electronică implementată



Fig. 4.4 - Schema electronică a convertorului Tx – Rețea Server

Programul de comandă a fost realizat in LABVIEW [32] din motive de compatibilitate cu restul programelor de control al laserului și interfața grafică este afișată în figura 4.5: Software-ul din microcontroler este realizat in limbaj de asamblare și asigură: comunicația seriala cu computerul de control prin intermediul unei interfețe USB și comanda fizică a laserului CETAL_PW in funcție de comenzile externe. Toate ieșirile sunt sincrone cu ceasul laserului. Organigrama programului de comunicație de pe calculatorul interfață de comandă este definită simplificat în figura 4.6.

Comenzile efective ale obturatoarelor de 10 Hz și de frecvență PW (0,1 Hz sau submultiplii) și blocarea comenzilor din laser în funcție de regimurile de lucru (puls cu puls sau în rafală) se realizează sincron pe întreruperile Int0 și Int1 ale procesorului.



Fig. 4.5 - Interfața programului de control al etajului



Fig. 4.6 - Organigramele programelor de comunicație și comandă.

Răspunsul sistemului ce definește complet starea este citit si de microcalculatorul Rasberry PI prin intermediul interfeței USB. Acesta scrie prin intermediul unui script Phyton, întro bază de date starea sistemului și timpul până la următoarea tragere, asigurând astfel sincronizarea programelor (software) calculatoarelor de salvare date.

4.3 Sistem de monitorizare temporala a pulsurilor optice din laserii ultraintenși

Pentru funcționarea laserilor ultraintenși sincronizarea dintre pulsul util și pulsul sau pulsurile de pompaj este critică, orice desincronizare generează eliminarea amplificării pulsului optic sau amplificarea sa superficială.

Sistemul laser CETAL-PW prezintă diagrama temporală a pulsurilor laser în amplificatorul optic principal afișată în fig. 4.22 din punct de vedere funcțional, respectiv:

Sincronizarea acestora este definită de arhitectura amplificatorului principal, specificat ca "Amplificator 2"în figura 4.4 și cu drumurile optice descrise în figura 3.3. Acesta este un amplificator optic multipas cu 4 treceri. Drumul optic efectuat de laserul util între două treceri este de 6 m ceea ce corespunde unui interval temporal de 20 ns si pulsul laser are lățime temporala de 800 ps la semiînălțime. Laserii de pompaj Atlas generează pulsuri cu o durata de 15 ns la semiînălțime și se asigura doua pulsuri defazate cu 55 ns intre ele. Diagrama temporală a pulsurilor prin cristal este definită în figura 4.7.

Astfel etajul de monitorizare trebuie să fie capabil să măsoare întârzieri între semnale în gama 1 ns – 1 μ s cu o rezoluție de 1/10, respectiv 50 ps -100 ps.



Fig. 4.7 - Diagrama temporală a pulsurilor optice în amplificatorul multipass

Conform specificațiilor este necesară utilizarea unui circuit integrat cronometru cu o rezoluție de măsură sub 50 ps și capabil să măsoare intervale de timp de 1 µs. În cadrul implementării am ales circuitul integrat cronometru de tip MSC Vertriebs GMBH TDC 502 [36] și caracteristicile principale sunt descrise în tabelul 1 :

Rezoluție	45ps
Moduri de măsurare	Interval I: 0ps – 10μs ; Interval II: 180ns – 210ms
Canale	2 Canale de Stop cu un semnal comun de Start, panta semnalului de comanda programabilă
Măsurări în rafală	Până la 10 determinări. Timpul mort între determinări de 25ns. Pulsurile minime 14ns
Ceas de calibrare	Cristal de cuarț în intervalul 500 kHz – 20 MHz
Autocalibrare	Automată după fiecare determinare sau la cerere
Metodă de măsură	Start-Stop și/sau între Stopuri succesive
Data de ieșire	Cuvinte de 24 biți, numere întregi, pozitive

 Tabel 4.1 - Caracteristicile circuitului MSC Vertriebs GMBH TDC 502

În cadrul capitolului 2 a fost descrisă metoda inovativă de măsurare a acestor defazaje prin determinarea simultană a mai multor intervale de timp, pentru diverse praguri fizice și obținerea întârzierii reale prin calcule relative la intervalele obținute.

Practic trebuie măsurate simultan patru intervale de timp în paralel, trei pentru frontul crescător și una pentru cel descrescător. Circuitele uzuale cronometru (inclusiv circuitul ales) permit una sau două intrări de stop, respectiv una pentru fronturi crescătoare și una pentru fronturi descrescătoare și suplimentar permit măsurări în cascadă.

Soluția o reprezintă serializarea impulsurilor paralele generate de pragurile de comparare [16],[17], conform figurii 4.8.



Fig. 4.8 - Schema bloc de transformare a întârzierilor prin serializare, [16],[17]

Unde pragurile 0,1 și 2 reprezintă tensiunile de basculare (active pe front pozitiv) ale comparatoarelor ce monitorizează semnalul de ieșire corespunzător semnalului optic și Δ T1 si Δ T2 sunt întârzierile introduse in sistem pentru decelarea sigură a impulsurilor. Semnalul de prag 3 reprezintă ieșirea comparatorului de prag 0 dar activat pe front negativ. Practic din diferența întârzierilor definite de pragurile 3 și 0 se definește durata pulsului optic. Circuitul cronometru ales impune ca întârzierile suplimentare Δ T1 si Δ T2 să fie de minim 25 ns, pentru a efectua măsurările corect și durata minimă a impulsurilor de Start si Stop de 14 ns. Diagrama propusă de serializare temporala a impulsurilor este specificată în figura 4.25 și implementarea fizică în figura 4.9. Întârzierile necesare au fost obținute cu porți de transfer cu histerezis 74AHC14 [37] și 74AHC132 [38] ce au întârzierea de transfer tipică de 11 ns și maxim de 21 ns, cunoscută. Adăugând rezistențe de 2 k Ω în conjuncție cu capacitățile parazite de intrare de 50 ps se pot obține întârzieri de 50 ns – 80 ns.

Întârzierile introduse nu sunt critice deoarece în cadrul măsurării descrise în capitolul 2 acestea se elimină prin măsurări succesive ale pulsurilor implicate. Ele se aleg de zeci de nanosecunde.



Fig. 4.9 - Schema electronică de serializare temporală implementată

Recepția sistemului am ales să se realizează cu placa ELECTRO-OPTIC DEVICE ERX-6 [39] ce generează două semnale unul digital și unul analogic corespunzătoare intrării optice a fotodiodei cu siliciu înglobate. Aceasta este o placă compactă alimentată direct la 5 V și asigură o transimpedanță de 1000 KΩ.

Unitatea centrala controlează toate subsistemele electronice astfel trebuie ales un microcontroler ce sa înglobeze necesarul de interfețe (CAN, Serial, porturi paralele), convertoare analog – digitale, numărătoare, memorie nevolatila si volatila si funcționare pe întreruperi. Pentru îndeplinirea acestor deziderate s-a ales microprocesorul ATMEL AT90CAN32 [40], pentru o flexibilitate maximă. Pentru a se asigura comunicația USB fără erori ceasul de sistem se alege multiplu de 2 respectiv Q = 14,7456 MHz Schema bloc implementată este afișată în figura 4.10, respectiv:



Fig. 4.10 - Schema bloc pentru echipamentul de monitorizare temporală.

Practic se determină perioadele de timp între semnalul de "START" un semnal digital generat din echipamentul "Sincrolaser" dezvoltat în cadrul tezei (capitolul 4.2) și impulsurile optice din amplificatorul laser principal "STOP" conform figurii 4.11.



Fig. 4.11 - Diagrama temporală de măsură implementată.

Semnalele generate de etajul de recepție optică ELECTRO-OPTIC DEVICE ERX-6 [39] sunt unul digital – DCO- cu prag minim setat automat la limita de detecție și care în etaj devine pragul 0 pentru frontul crescător și pragul 3 pentru frontul descrescător și un semnal analogic proporțional cu iluminarea - ASO. Întrucât acest semnal este proporțional atât cu iluminarea ambientală cât și cu semnalul dat de pulsul laser pragurile de detecție – pragul 1 si pragul 2 vor avea o componentă fixă de tensiune suprapusă peste o tensiune proporțională cu iluminarea ambientală.

Schema electronică implementată este afișată în figura 4.12.



Fig. 4.12 - Schema electronică de comparare pentru pragurile temporale. Tensiunile de prag de comparare sunt:

$$V_{Prag1} = V_{ASO} + V_{P1}/10$$
 (4.5)

$$V_{Prag2} = V_{Prag1} + V_{P1}/10 = V_{ASO} + V_{P1}/5$$
(4.6)

Comunicațiile externe ale microsistemului se realizează prin convertoarele FT232R pentru magistrala USB și MCP2551 pentru magistrala CAN. Circuitul cronometru TDC502 se interfațează cu microprocesorul printr-o magistrală de date de un octet (DATA₀₋₇), magistrală de adrese (ADR₀₋₃) și semnalele de activare aferente (citire, scriere, selecție etc). Suplimentar prezintă o ieșire de stare – "gata de start" precum si o ieșire pentru întrerupere externă – "măsurare terminată", Circuitul cronometru poate funcționa în mai multe regimuri de lucru cum ar fi 1 canal (A sau B) cu măsurări în cascadă de până la 10 pulsuri sau 2 canale simultan cu măsurări în cascadă pentru 4 pulsuri etc.

Schema globală a echipamentului este afișată în figura 4.13.



Fig. 4.13 - Schema electronică completă a etajului Cronometru.

Programul din microsistem a fost scris în limbaj de asamblare fiind structurat pe nivele de prioritate: bucla de comunicație serială asigura comunicația cu computerul, interpretarea comenzilor si setarea și raportarea stării sistemului; bucla de "10 Hz", comandata extern pe întreruperea INT0, corespunzătoare măsurării pulsului laser util ("seed") față de semnalul de start generat de Sincrolaser; bucla de "0,1 Hz" ce comandă laserul în regim PW(0,1 Hz sau submultiplii), comandata extern pe întreruperea INT1, corespunzătoare măsurării pulsurilor laser de pompaj față de semnalul de start generat de echipamentul Sincrolaser. Controlul echipamentului se realizează printr-o comunicație seriala prin intermediul unei interfețe USB, utilizându-se un program propriu gen terminal. Din momentul comenzii start se măsoară defazajul dintre semnalul electric generat de etajul de sincronizarea Sincrolaser și pulsul laser la fiecare 100ms (întreruperea INT0). Întreruperea INT1 generează măsurarea întârzierii dintre semnalul electric generat de etajul de sincronizarea Sincrolaser și pulsul laser la fiecare 100ms (întreruperea INT0).



Fig. 4.14 – Organigrama programului de microprocesor pentru bucla principală.



Fig. 4.15 – Organigrama programului de microprocesor pentru întreruperi.

S-au efectuat statistici pe serii de 20 de măsurări de timp între pulsul laser și pulsurile laserilor de pompaj și afișate sub forma grafică în figurile 4.16, 4.18 și 4.20

Ecuația de determinare a defazajului temporal dintre pulsul laser util și pulsurile de pompaj este afișată în figurile.4.17, 4.19 și 4.21 corespunzător pompajelor 1, 2 și 3.. Pe abscisă sunt defazajele parțiale și pe ordonată pragurile.

Timpii determinați pentru defazajul dintre pulsul laser util și pulsul de pompaj 1 sunt:

- mediu: T = 20,278 ns; minim: $T_{min} = 19,946 \text{ ns}$; maxim: $T_{max} = 20,508 \text{ ns}$
- Eroarea maximă este: $\varepsilon = \pm 1,38\%$; Abaterea standard este: $\sigma = 0,68\%$
- Rezoluția determinării: 45 ps



Fig. 4.16 - Măsurările de timp pentru defazajul între pulsul util și pompajul 1



Fig. 4.17 - Legea de calcul a intervalului real de timp dintre pulsul util și pompajul 1.

Timpii determinați pentru defazajul dintre pulsul laser util și pulsul de pompaj 2 sunt:

- mediu: T = 20,320 ns; minim: $T_{min} = -20,159 \text{ ns}$; maxim: $T_{max} = 20,531 \text{ ns}$
- Eroarea maximă este: $\varepsilon = \pm 1\%$; Abaterea standard este: $\sigma = 0.5\%$
- Rezoluția determinării: 45 ps



Fig. 4.18 - Măsurările de timp pentru defazajul între pulsul util și pompajul 2

Ecuația de determinare a defazajului dintre pulsul laser util și pulsul de pompaj este afișată în fig.4.38.



Fig. 4.19 - Legea de calcul a intervalului real de timp dintre pulsul util și pompajul 2.

Timpii determinați pentru defazajul dintre pulsul laser util și pulsul de pompaj 3 sunt:

- mediu: T = 4,409 ns; minim: $T_{min} = 4,203$ ns; maxim: $T_{max} = 4,603$ ns
- Eroarea maximă este: $\varepsilon = \pm 4.54\%$; Abaterea standard este: $\sigma = 2,31\%$
 - Măsurările de timp între pulsul laser și pulsul de pompaj 3, pentru cele praguri și timpul calculat [ps] **-**T1 T3

• Rezoluția determinării: 45 ps

Fig. 4.20 - Măsurările de timp pentru defazajul între pulsul util și pompajul 3



Fig. 4.21 - Legea de calcul a intervalului real de timp dintre pulsul util și pompajul 3.

4.4 Sistem de control a poziției fascicolului pentru laserul CETAL-PW

Laserii ultraintenși OPCPA și CPA prezintă lungimi de drum optic total de ordinul sutelor de metri, de exemplu laserul CETAL-PW prezintă un drum optic prin toate amplificatoarele laser până la incinta de interacție în jur de 150 m. Reglajele de unghi de incidență pentru amplificarea din laserii OPCPA precum și micile variații datorate expansiunii termice a monturilor sau micile dezalinieri a componentelor optice se traduc pentru aceste lungimi de drum optic la variații importante de poziție și de traiectorie a fascicolului laser la trecerea prin blocurile de amplificare și în sistemul de transport ce leagă compresorul de camera de interacție. În această zonă pulsul laser are intensitatea și diametrul maxim ceea ce impune propagarea acestuia prin vid înalt și variațiile de poziție și înclinare duc la fascicule laser parazite generate de intersectia pulsului laser cu peretii tubulaturii a sistemului de transport ce conduc la rândul lor la apariția de puncte de focalizare pe suprafețele oglinzilor din sistem, ceea ce implică distrugerea acestora [41]. La iesirea din etajul de condiționare laser ("Front-End") fascicolul are diametrul de 12 mm, la iesirea din Amplificatorul 2 diametrul acestuia este de 60 mm, si la intrarea in compresor acesta devine de 160 mm. Din acest punct este livrat in camera de intercatie, sub vid, printr-o tubulatura cu diametrul interior de 240 mm. Compresorul sistemului laser CETAL-PW precum si etajele ulterioare funcționează in vid, la presiunea de 10⁻⁶ mbar. În etapele premergătoare experimentelor alinierile și verificările se execută cu aer și extragerea acestuia duce la modificarea pozițiilor monturilor oglinzilor de mari dimensiuni situate în tubulatură (320 x 230 mm) ducând direct la deplasarea catastrofală a fascicolului laser.

Monitorizarea poziției și a direcției fascicului se realizează cu camere de tip câmp apropiat ("Near-Field și camere de tip câmp îndepărtat ("Far-Field") fiind rezolvată direct prin montarea camerelor la ieșirea fiecărui bloc optic funcțional, conform figurii 4.22.



Fig. 4.22 - Schema optică implementată în laserul CETAL-PW pentru controlul spațial al fascicolului laser. Această schemă optică a fost afișată în [21], fig.3.

În condițiile in care diametrul laserului devine 160 mm utilizarea directă a camerelor de tip câmp apropiat ("Near-Field") nu este fezabilă – deplasarile de ordinul milimetrilor nu se pot pune in evidență. Din acest motiv s-a implementat soluția utilizarii unei mire ce permite trecerea doar a unor parti din fascicol si astfel permite evidențierea clara a centrului fascicolului precum și concentricitatea fascicolului cu cercul central, respectiv segmentele de inele din cercurile concentrice trebuie să aibă aceiași iluminare. Implementarea acestei mire s-a făcut prin fixarea acesteia pe o axă rotativă la intrarea în compresor și în cadrul alinierii fiind automat introdusă sau scosă din fascicolul laser atenuat.

Controlul poziției fascicolului laser a implicat utilizarea unor ecrane semitransparente, montate pe axe rotative motorizate, situate in fața oglinzilor din linia de transport fascicul si a unor camere de tip câmp apropiat "Near-Field" ce monitorizeaza fascicolul prin transparența ecranelor. Suplimentar aceste ecrane protejează oglinzile de focalizările parazite. Astfel se obtine un sistem unic determinat a pozitiei fascicolului laser prin tot sistemul de transport. Schema optica implementata pentru sistemul de transport este afișată în fig.4.23.

Ecranele necesare s-au realizat din plăci de teflon, material cu punct de topire foarte ridicat, 326.85 °C, foarte mică rată de gazare în vid si grad de transparență suficient (1%) pentru camerele video utilizate. Pentru deplasarea ecranelor s-au utilizat goniometre STANDA tip 7R150V ce permit: rotatie de 360°, viteza unghiulara de 8 ture/min, rezolutie unghiulara de 2 arcmin, sarcină radiala 1,7 kg și functionare in vid. Camerele video utilizate alese: Microsoft USB Cam3000HD, cu rezolutie HD, autofocus și cu funcționare in vid. Pentru construcția fizică a sistemelor nu s-a permis efectuarea nici a unei modificari

mecanice (gauriri, filetari etc) astfel incat s-au utilizat solutii particularizate locale. Proiectele au fost realizate personal în SolidWorks 2012.



Fig. 4.23 - Schema optică implementată în laserul CETAL-PW pentru controlul spațial al fascicolului laser prin linia de transport. Această schemă optică a fost afișată în [21].

Sistemul de comanda si de monitorizare s-a realizat separandu-se zonele de control: zona laser ce controleaza si monitorizeaza pozitia mirei, camerele de Far-Field si Nier-Field din laser si ecranul si camera video de la oglinda M1 din transport (Parter) și zona transport de controleaza si monitorizeaza ecranele si camerele video de la oglinzile M2-M4 si in camera de interactie (Subsol). Schema bloc a etajelor de comandă pentru linia de transport din zona superioară și inferioară este afișată în figura 4.24. În figura 4.25 se prezintă alinierea liniei de transport a laserului CETAL-PW, evidențiată cu imaginile obținute de camerele montate în sistem.



Fig. 4.24 - Schema etajelor de comandă a controlul spațial al fascicolului laser prin BTL



Fig. 4.25 – Imaginile de control pentru oglinzile M1, M2, M3 și M4. Imagini similare au fost prezentate în [21] fig. 9

5. Aplicații ale soluțiilor dezvoltate, în scanarea laser.

În cadrul scolii doctorale am dezvoltat o metodă originală de măsurare a intervalelor de timp între impulsurile optice. Aplicația imediată este în implementarea unui scaner laser cu aplicații in industria auto [16] [17], aplicație impusă și de un contract de cercetare cu societatea Optoelectronica 2001 SA pentru realizarea unui asemenea echipament și este continuarea unui contract european de cercetări al acestei companii, respectiv "Enhanced Road Safety by integrating Egnos-Galileo data with on-board Control system - ERSEC".

În urma analizelor efectuate specificațiile necesare ale scanerului sunt: distanta de scanare: 0,3 m...50 m; Frecventa de scanare: 50 Hz; Deschidere de scanare: 180°; Rezoluție 1 cm și Incrementul de unghi: 0,5°. Implementarea acestora implică caracteristicile etajelor electronice necesare, respectiv: Alimentare de la acumulator auto 12V (11V-15V); dioda laser OSRAM SPL LL90_3 (50W în impuls); cronometru cu rezoluția 66 ps (corespunzător rezoluției de măsură de 1cm); comunicare USB sau CAN; motor conectat mecanic cu oglinda de deflexie si codificator unghiular de poziție; microcalculator; sincronizare cu un scaner extern și surse de alimentare locale (5 V etc). Schema optică optimă determinată este prezentată în figurile 5.1 și 5.2. S-a utilizat schema de comandă dezvoltată în cadrul determinării defazajelor din laserul CETAL-PW dar în loc de Sincrolaser sistemul comandă un motor de curent continuu și pulsurile de sincronizare sunt generate de decodorul rotativ HED5540 cuplat pe axul motorului.





Fig. 5.1 Schema funcțională pentru scanarea laser, vedere laterală

Fig. 5.2 Schema funcțională pentru scanarea laser, vedere de sus

Schema bloc a sistemului este afișată în figura 5.3 și rezultatele obținute în fig. 5.4.



Fig. 5.3 - Schema bloc pentru scanerul laser.



Fig. 5.4 – Rezultatele scanării unei încăperi, pentru fiecare prag în parte.

6. Concluzii

În cadrul acestei tezei de doctorat am dezvoltat, proiectat și implementat un sistem de comandă și control al laserilor ultraintenși și a fost integrat în cadrul laserului CETAL-PW. Cu acesta s-au efectuat experimentele complexe de interacție laser-țintă utilizând sistemele de comandă și control dezvoltate în această teză, astfel:

- Controlul laserului privind funcționarea puls cu puls și în regim de rafală pentru regimul de 45 TW și frecvența de 10 Hz a permis efectuarea de experimente de lărgire temporală a pulsurilor laser prin folii subțiri. Rezultatele au fost publicate în [42].
- Controlul laserului privind funcționarea puls cu puls pentru regimul de PW a permis experimente complexe privind interacția pulsului laser cu ținte solide. Practic s-au efectuat, experimente de accelerare de electroni în ținte solide și s-a utilizat regimul de lucru puls cu puls cu cadența de lucru de 1 puls la 10 min. Rezultatele au fost publicate în [33] și [34].
- Controlul laserului privind funcționarea în regim de rafală în regimul de PW și cu frecvențe de 0,05 Hz a permis efectuarea de experimente privind obținerea de electroni accelerați cu energii de sute de MeV în jet de gaz.

Sistemul de monitorizare temporală, asigură determinarea defazajului dintre pulsurile laser utile și pulsurile laserilor de pompaj. În cadrul implementării în laserul CETAL-PW s-au măsurat întârzierile specifice, în clasa 1 ns -20 ns.

Sistemul de control a poziției fascicolului implementat în laserul CETAL-PW asigură controlul fasciculului prin laser și elimină dezalinierile critice din linia de transport.

Datele de scanare laser obținute utilizând soluția de măsurare a intervalelor de timp prin metoda originală dezvoltată sunt publicate în [16] și [17].

Contribuțiile originale specificate punctual, sunt:

- 1. Am dezvoltat și implementat un nou concept privind măsurările temporale dintre semnalele optice, ce elimină erorile de măsură datorate diferențelor de amplitudine dintre semnale (erori de pantă) și erorile generate de reflexiile multiple ale acestora.
- 2. Am dezvoltat un echipament de control și comandă a laserilor ultraintenși în regim de tragere puls cu puls, continuu și în rafală.
- **3.** Am dezvoltat un sistem original bazat pe controlul poziției pulsurilor laser prin transparența unor perdele specifice pentru controlul spațial al poziției fasciculului laser prin sistemul de transport. Această tehnică protejează oglinzile vulnerabile în cadrul etapelor de reglare premergătoare pulsurilor de laser din clasa super PW.
- 4. Conceptele dezvoltate au fost validate într-un echipament de scanare laser. Rezultatele cercetării sunt direct aplicabile la familiile de laseri superintenși cum ar fi ELI-NP de 2 x 10 PW și pentru noile concepte de laser de 100 PW.

Bibliografie

[1] D. Stricklan, G. Mourou, Compression of amplified chirped optical pulses – Optics Communications, Vol. 56/3, Pag. 219-221, 1985;

[2] "The White Book of ELI Nuclear Physics Bucharest-Magurele, Romania", https://www.eli-np.ro/documents/ ELI-NP-WhiteBook.pdf

[3] Rongtao Su, Pu Zhou, Xiaolin Wang, Yanxing Ma, Xiaojun Xu, "Active coherent beamcombination of two high-power single-frequency nanosecond fiber amplificers" – Optics Letters, Vol. 37, No. 4, 2012;

[4] Arno Klenke, Enrico Seise, Jens Limpert, Andreas Tunnermann, "Basic considerations oncoherent combining of ultrashort laser pulses" – Optics Express, Vol. 19, No.25, 2011;

[5] J A Fülöp, Zs Major, A Henig, S Kruber, R Weingartner, T Clausnitzer, E-B Kley, A Tünnermann, V Pervak, A Apolonski, J Osterhoff, R Hörlein, F Krausz and S Karsch, "Short-pulse optical parametric chirped-pulse amplification for the generation of high-power few-cycle pulses" New Journal of Physics, Volume 9, December 2007

[6] Răzvan Dabu, "Lumina Extremă - Lasere de mare putere", Editura Academiei Române, ISBN 978-973-27-2561-0, 2015;

[7] D. E. Spence, P. N. Kean, and W. Sibbett, "60-fs Pulse Generation from a Self-Mode-Locked Ti:Sapphire Laser" – Optics. Letters. Vol. 16, Pag. 42, 1991;

[8] Thales Laser, 1PW Cetal laser User Manual, 62538166AA-108;

[9] W. Koechner, Solid State Laser Engineering, Capitolul 1, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006

[10] Paul Schiopu, Optoelectronics, Ed. MATRIXROM,2009, ISBN 978-973-755-443-7

[11] Uniblitz VCM-D1 User Manual, https://www.uniblitz.com/products/vcm-d1-shutter-driver/

[12] DS1023 8-Bit Programmable Timing Element, www.maximintegrated.com/en/products/ analog/ clock-generationdistribution/DS1023.html

[13] Michael Lombardi, The Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, Edition: 2nd edition, Chapter: 41 9Time Measurement), Publisher: CRC Press, Editors: John Webster, pp.21, 2014

[14] Mihai Şerbănescu, Alexandru Achim, Paul Șchiopu, Control and synchronization system for CETAL-PW laser - delay measurement, 5th Int.Conf. on

Mathematics and Computers in Sciences and Industry - MCSI 2018, International Symposium - High power lasers applications, August 24- 28 2018, Corfu, Greece

[15] Jerald Graeme, "Photodiode Amplifiers, Op Amp Solutions" – Mc Graw Hill, 1996;

[16] M. Şerbănescu, , Mihaiela Iliescu, Marian Lazar, Calin Ciufudean -Development of 2D, Ultra-Simple, Low-Cost, Optical Range TOF ScanLaser -Latest Trends in Circuits, Systems, Signal Processing and Automatic Control, pag 91-96, ISBN: 978-960-474-374-2

[17] Mihaiela Iliescu, Victor Vladareanu, Mihai Serbanescu, Marian Lazar -Sensor Input Learning for Time-of- Flight Scan Laser, "Journal of Control Engineering and Applied Informatics, vol19, No.2 pp.51-60, 2017

[18] D. MacFarlane, "Laser beam alignment for ultrashort pulses", Review of Scientific Instruments, 62 (8), 1899 - 1903, 1991

[19] M. Anderson, Ward, "All reflective automated beam alignment device for ultrafast lasers", American Association of Physics Teachers, doi:10.1119/1.1737398, 2004

[20] H. Kapteyn and M. Murnane, "Ultrashort light pulses: life in the fast lane", Physics. World 12 (1), 31-35, 1999

[21] M. Şerbănescu, M. Pandelea, A. Achim, M. Iliescu – Command and control system for laser beam position within transmission line at CETAL-PW, UPB Scientific Bulletin, Series A: Applied Mathematics and Physics 80 (3) 21 (2018);

[22] M. O. Cernaianu, B. De Boisdeffre, D. Ursescu, F. Negoita, C. A. Ur, O. Tesileanu, D. Balabanski, T. Ivanoaica, M. Ciubancan, M. Toma, I. Dancus, S. Gales, "Monitoring and control systems for experiments at ELI-NP, Romanian Reports in Physics, Vol. 68, Supplement, P. S349–S443, 2016

[23] Achim Alexandru, Mihai Serbanescu, Aurelian Marcu, Razvan Ungureanu, Gabriel Cojocaru, Constantin Diplasu, Georgiana Giubega and Marian Zamfirescu ,, CETAL-PW LASER BEAM FAR-FIELD INTENSITY PROFILE IMAGE ANALYSIS", TIM2019

[24] Thales Laser – ATLAS LASER User manual 051486

[25] Thales Laser – ISEO User manual 6801098-108

[26] 74ACT14 Datasheet – Hex Inverter with Schmitt Trigger Input, ON Semiconductor

[27] 74ACT132 Datasheet - Quad 2–Input NAND Schmitt Trigger, ON Semiconductor

[28] ACPL-061, Ultra Low Power 10 MBd Digital CMOS Optocoupler, Avago Technologies

[29] ATMEGA8A Datasheet - Complete, www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega8A

Bibliografie

[30] FT232R Datasheet – FTDI Chip, https://www.ftdichip.com/Products /ICs /FT232R.htm

[31] Rasberry PI 4 – Datasheet - Raspberry Pi Foundation

[32] LabView - Graphical programming, https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361R

[33] Groza A, Serbanescu M, Butoi B, Stancu E, Straticiuc M, Burducea I, Balan A, Chirosca A, Mihalcea B, Ganciu M – "Advances in Spectral Distribution Assessment of Laser Accelerated Protons using Multilayer CR-39 Detectors", APPLIED SCIENCES-BASEL 9 (10) 2052 (2019)

[34] Andreea Groza, AlecsandruChirosca, ElenaStancu, BogdanButoi, MihaiSerbanescu, Dragana B. Dreghici and Mihai Ganciu – "Assessment of Angular Spectral Distributions of Laser Accelerated Particles for Simulation of Radiation Dose Map in Target Normal Sheath Acceleration Regime of High Power Laser-Thin Solid Target Interaction—Comparison with Experiments", APPLIED SCIENCES. 2020, 10, 4390; doi:10.3390/app10124390

[35] A. Dubietis et al., "Powerful femtosecond pulse generation by chirped and stretched pulse parametric amplification in BBO crystal", Opt. Commun. 88, 433 (1992)

[36] TDC502 User Manual Version 2.6 MSC Vertriebs GmbH, https://www.mtrplus.com/en/ downloads-2/download-manuals

[37] 74HC14, Hex inverting Schmitt, trigger https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT14.pdf

[38] 74AHC132 Quad 2-input NAND Schmitt trigger, https://assets.nexperia.com/ documents/data-sheet/74AHC_AHCT132.pdf

[39] ELECTRO-OPTIC DEVICE ERX-6, www.eodevices.com/main_erx_6_frameset.htm

[40] AT90CAN32, Microchip CPU, http://www.microchip.com/wwwproducts/en/AT90CAN32

[41] G. Matras, F. Lureau, S. Laux, O. Casagrande, C. Radier, O. Chalus, F. Caradec F., L. Boudjemaa, C. Simon-Boisson, R. Dabu, F. Jipa, L. Neagu, I Dancus., D. Sporea, C. Fenic and C. Grigoriu, "First Operation above Petawatt with Sub-25", Technical Digest (online) (Optical Society of America), paper Tu2C.4, https://doi.org/10.1364/HILAS.2014.HTu2C.4, 2014.

[42] S.Yu. Mironov, J. Wheeler, R. Gonin, G. Cojocaru, R. Ungureanu, R. Banici, M. Serbanescu, R. Dabu, G. Mourou and E.A. Khazanov / 100 J-level pulse compression for peak power enhancement / Quantum Electronics 47 173 (2017)