

Varianta de dispozitiv experimental de tip LSCE

Configuratie de cuplare LSCE

Plecand de la schemele tipice de obtinere a emisiei laser in conditii de feedback optic (in prezenta cavitatii externe) precizate in raportul anterior (tip Littrow si Littman), s-a conceput schema tehnica a unui montaj LSCE. Avand in vedere experienta grupului de lucru s-a decis utilizarea unei configuratii a cuplajului SL-CE de tip Littrow, datorita versatilitatii ei in utilizarea elementelor optice de control a feedbackului (FB) optic: retea de difractie sau oglinda. In Figura 4.1 este prezentata configuratia de tip Littrow.

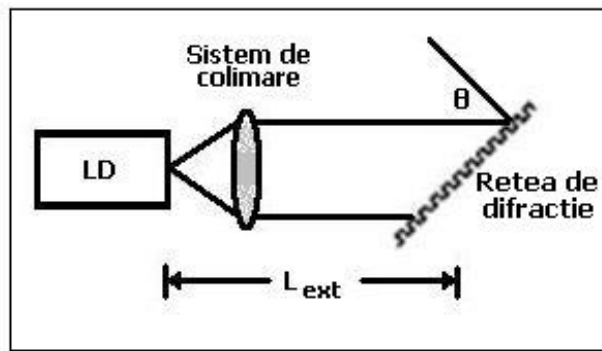


Figura 4.1. Schema configuratiei de tip Littrow.

Utilizarea rețelei de difracție are avantajul reducerii numărului de moduri longitudinale de oscilație ale mediului activ. Primul ordin de difracție furnizează feedbackul optic pentru dioda laser. Dezavantajul îl reprezintă faptul că dacă se utilizează ordinul zero ca sursă pentru sistemul de detecție, ajustarea unghiului rețelei duce la dezinerea fasciculului față de acesta. Avantajul utilizării oglinzilor îl reprezintă nivelul de energie care se poate stabili în cavitate la aceleași parametri, raportat la o cavitate cu rețea. Aceasta permite folosirea în cavitatea externă a elementelor optice de cuplare a radiației în afara (divizor de fascicul sau oglinda cu transmisie parțială) ei pe direcții fixe. Dezavantajul oglinzilor îl reprezintă numărul de moduri longitudinale care pot oscila în cavitate și care, în acest caz, nu mai este limitat decât de caracteristicile intrinseci ale mediului activ laser.

Schema tehnica a montajului experimental LSCE

Schema tehnica. La proiectarea dispozitivului experimental de obtinere a emisiei laser haotice s-a avut in vedere specificitatea celor trei module ale sistemului LSCE, modulul de control al emisiei laser, modulul cavitatii externe, precum si modulul de detectie si investigare. Pentru intelegerea principiului de functionare a unui sistem LSCE s-a conceput schita tehnica a montajului experimental ca in Figura 4.2.

Masa antivibrationala. Realizarea unui montaj experimental LSCE cu emisie haotica necesita o aliniere cu precizii de ordinul micro-metrilor, corespunzator dimensiunilor mediului activ laser, asupra caruia actioneaza feedbackul optic. Din aceasta cauza stabilitatea mecanica a montajului este critica si se realizeaza printr-o izolare cat mai buna fata de cele mai comune surse de vibratie din mediul inconjurator (instrumentarea echipamentelor de laborator, vibratiile pasilor, aparatele din laborator, lift, pompe, vibratiile preluate de cladire din traficul exterior). Isolarea antivibrationala presupune ca sistemul experimental sa fie mentinut in permanenta intr-o pozitie initiala, proiectata, si trebuie sa fie in permanenta activa. Ca urmare montajele experimentale se plaseaza pe mese optice sau mese antivibrationala cu sisteme antivibrationala active sau pasive. Isolarea activa, presupune ca orice vibratii transmise de mediul inconjurator sau actiuni asupra mesei, acestea sunt absorbite printr-un sistem gen perna de aer mentinuta de un compresor. Pentru izolarea pasiva se utilizeaza un sistem de atenuatori tip sandvis format din placa de plumb, placa de lemn si strat de nisip, plasat pe fiecare picior al mesei.

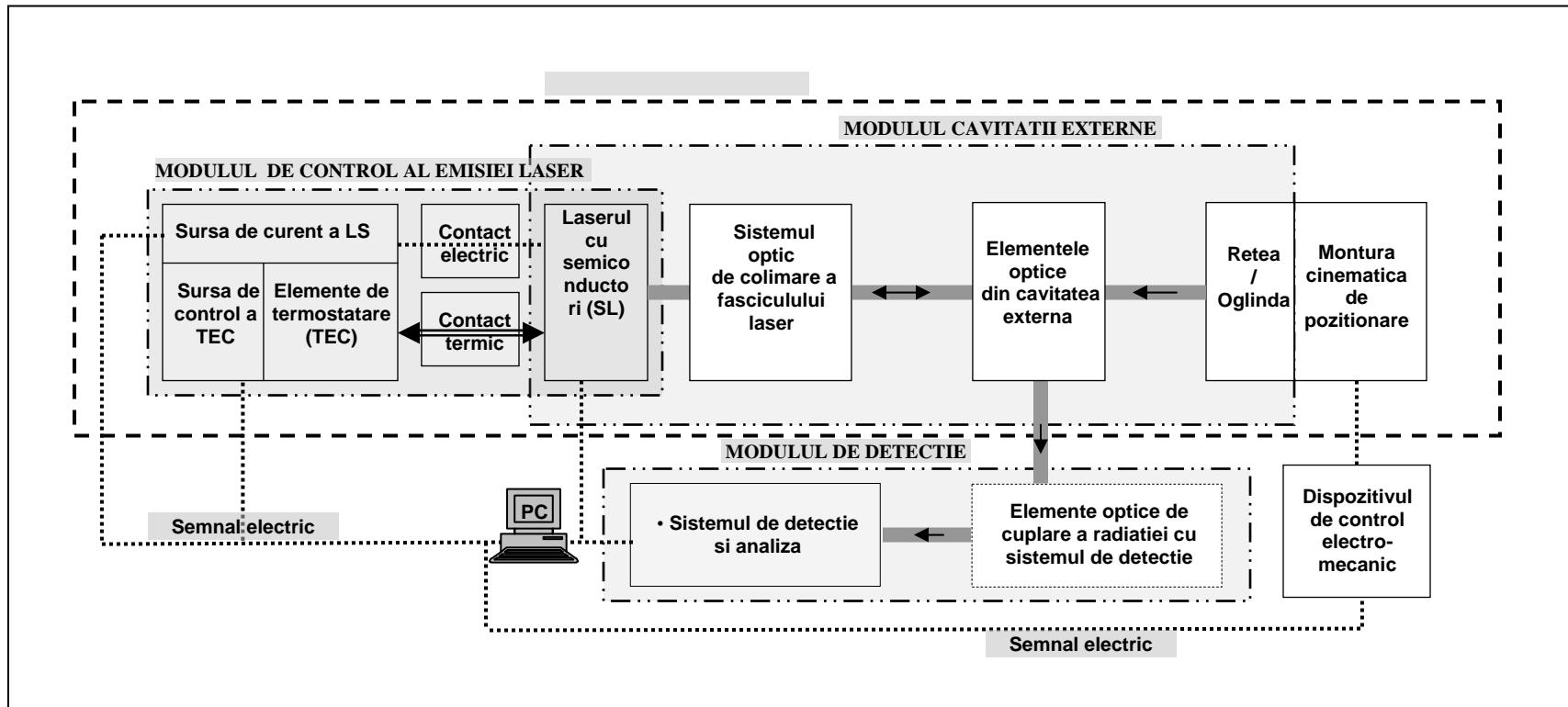


Figura 4.3. Schema tehnica de principiu a unui montaj experimental LSCE de punere in evidenta si control a dinamicii haotice a emisiei laser.

Modulul de control al emisiei laser. Acesta este format din sursa de radiatie, in cazul acesta laserul cu semiconductor (LS), elementele de termostatare (sistem de racire termoelectric sau TEC – termoelectric cooler,) a LS, sursele de alimentare ale LS si TEC, si montura in care este termostatata si alimentata dioda laser.

Sursele de radiatie, laseri cu semiconductori sau diode laser, pot fi cu emisie in vizibil sau IR, si de obicei de putere mica si medie, pana la zeci de mW. Laserii cu semiconductori comerciali uzuali sunt cu jonctiune tip p-n, si au dimensiunile chipului laser de $300\mu\text{m} \times 100\mu\text{m} \times 400\mu\text{m}$, iar cele ale mediului activ de ordinul $\sim 0.05\mu\text{m} \times 0.15\mu\text{m}$. Datorita dimensiunilor mediului activ divergentele usuale ale fasciculului laser emis sunt de ordinul $\theta_{//}=10\text{grd}$ si $\theta_{\perp}=25\text{grd}$.

Elementele de termostatare trebuie sa asigure racirea sau incalzirea cat mai precisa si de durata a mediului activ laser (a chipului laser in care este incorporat mediul activ) fata de o valoare aleasa. De obicei, aceste elemente sunt de tip Peltie si sunt comandate de o sursa de tensiune monitorizeaza temperatura prin intermediul unui termocuplu localizat cat mai aproape de capul de emisie laser. Prin intermediul acesteia se aplica o tensiune cu o polarizare in functie de actiunea pe care trebuie sa o realizeze elementul: incalzire sau racire, fata de o valoare locala monitorizata prin intermediul termocuplului. Elementele trebuie sa aiba o putere suficient de mare pentru a compensa caldura disipata de dioda laser. De asemenea, termocuplul trebuie positionat cat mai aproape de dioda laser pentru a putea ca latentia dintre momentul afisarii valorii temperaturii si cea atinsa de chipul laser sa fie cat mai mica.

Sursa de alimentare a diodei laser trebuie sa asigure domenii de lucru specifici LS utilizati, curent 0-200mA si tensiune 0 – 10 V - ajustabile, cu o stabilitate ridicata ($< 50\text{ppm}$) pe o perioada suficient de mare de timp (ore si zeci de ore). Rezolutia in curent sa fie de ordinul $\sim 1\text{mA}$, iar zgomotul electric $< 5\mu\text{A}$.

Sursa de control a elementului TEC trebuie sa acopere o plaja de temperaturi cat mai mare ($-20^{\circ}\text{C} - + 50^{\circ}\text{C}$) cu rezolutie de $\sim 0.1^{\circ}\text{C}$ si stabilitate pe termen lung de 0.05°C . Puterea suportata de sursa sa fie egala sau mai mare decat cea a elementelor de termostatare.

Montura de fixare a diodei trebuie sa asigure o izolare termica fata de mediul ambiant si tot odata sa permita colimarea utila a fasciculului laser emis de LS. De asemenea, montura trebuie sa faciliteze conectarea la circuitele de alimentare a LS pentru monitorizare in timp real a parametrilor de functionare, dar si pentru aplicarea semnalelor de modulare electrica,

ca metoda de control a emisiei laser, la valori ce depasesc valorile asigurate de sursa de alimentare ($< 1\text{MHz}$). Materialul din care este realizata montura trebuie fie bun conductor termic pentru a compensa diferenta de temperatura dintre elementele de termostatare si aceasta.

Modulul cavitatii externe. Acesta este format din elementele care compun cavitatarea externa. In primul rand trebuie precizat ca aceasta este formata intre elementul optic care furnizeaza feedbackul optic (retea sau oglinda) si suprafata cea mai indepartata a rezonatorului optic (suprafata care impreuna cu suprafata de extractie formeaza cavitatarea laser). Un element important al cavitatii il reprezinta sistemul de colimare care trebuie sa aiba distanta focala si apertura numerica (NA) astfel incat sa preia intreaga radiatie emisa de dioda laser realizand o colimare corespunzatoare. Domeniul optic de lucru al sistemului optic de colimare trebuie sa corespunda cu lungimea de unda a radiatiei, iar pentru imbunatatirea transmisiei este recomandata utilizarea elementelor cu depunere antireflex. Elementele optice care asigura feedbackul optic trebuie plasate in monturi cinematice care sa permita ajustarea pozitiei lor astfel incat sa se realizeze o aliniere optima a intregului montaj LSCE. Montura cinematica poate fi controlata automata (prin intermediul PC-ului), semi-automata (PC si manual) si manuala, insa acuratetea si reproductibilitatea masuratorilor scazand in aceasta ordine. Alinierea se realizeaza atat in stadiul de pregatire a montajului experimental cat si pe parcursul masuratorilor, atunci cand se doreste studierea dependentei dinamicii haotice de taria alinierii sau lungimea cavitatii. De asemenea, prin rotirea retelei de difractie, se pot selecta diferite moduri longitudinale de oscilatie in cavitatarea externa, si prin aceasta se poate determina o alta dependenta a dinamicii haotice fata de un parametru de functionare. Montura cinematica va trebui sa corespunda unor criterii asa cum a fost enuntate in paragraful 3. Reteaua de difractie sau oglinda trebuie sa aiba domenii optice de lucru corespunzatoare, de asemenea, lungimii de unda a radiatiei emise. Elementele optice din cavitatarea laser (filtre neutre, divizoare de fasciul, etaloane, polarizoare, izolatori electro-optici, modulatori electro-optici, etc.) sunt menite pentru asigura ori taria/controlul feedbackului optic, ori fixarea modurilor de oscilatie in cavitatarea externa, ori cuplarea radiatiei laser cu sistemul de detectie, ori pentru unidirectionalitate fasciculului laser sau controlul dinamicii haotice prin modulare electro-optica (EO).

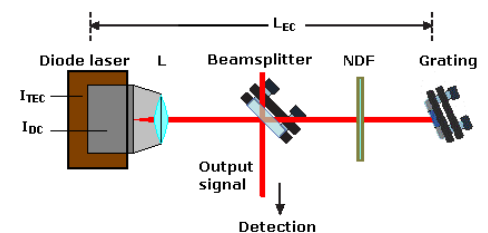
Toate elementele si componentele optice precum si monturile si alte dispozitive ale montajului trebuie plasate in suporturi care sa permita si sa asigure o buna rigiditate mecanica,

stabila in timp, in conditiile de lucru in laborator (temperatura si umiditate optime). Acestea montaje trebuie realizate si positionate astfel incat sa fie cat mai putin necesara instrumentarea lor dealungul realizarii de masuratori. Montarea dispozitivelor si monturilor este de preferat sa se faca direct pe masa antivibrationala pentru a reduce posibilitatile de creare de noi surse de vibratii.

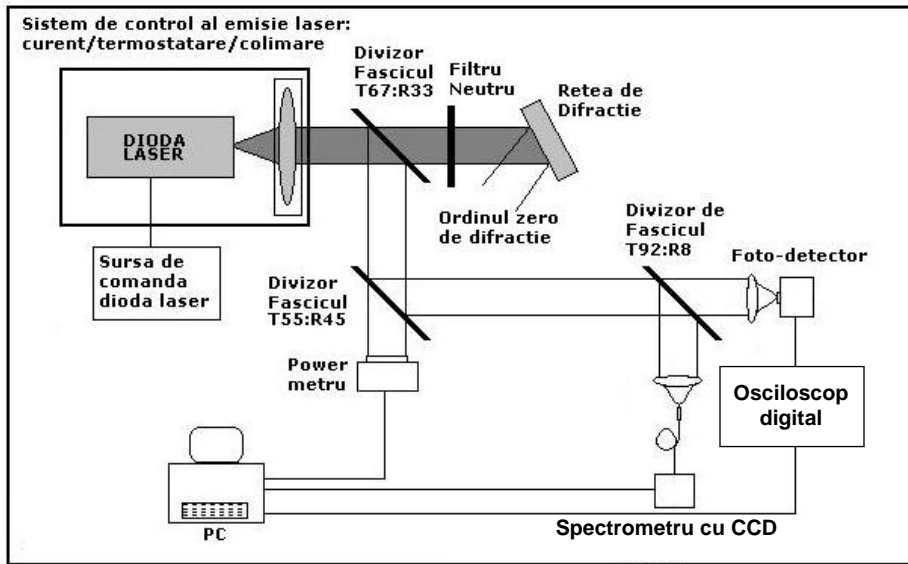
Modulul de detectie. Acesta este reprezentat de totalitatea componentelor optice si a aparatelor de masura care preiau radiatia provenita din cavitatea externa si o utilizeaza pentru monitorizarea functionarii sistemului LSCE. De obicei, elementele optice sunt reprezentate de divizoare de fascicul, atenuatori optici (filtre optice) sau izolatori electro-optici, care pregatesc fasciculul laser pentru aparatele de detectie optica. Datele furnizate de aceste aparate sunt prelucrate si analizate in concordanta cu datele prelucrate/inregistrate de sistemul computerizat (PC) de comanda a surselor si dispozitivelor automate care alcatuiesc sistemul LSCE. Senzorii si detectorii optici (power metre, fotodetectori, monocromatoare, lambdametre, fotomultiplicatori), precum si sistemele de analiza a semnalelor (osciloscopae digitale, analizoare spectrale) trebuie sa aiba timpi de lucru caracteristici perioadelor temporale care insotesc dinamica haotica si anume de ordinul nano-secundelor pana la pico-secunda, si frecvente asociate de ordinul GHz.

Descrierea variantei de montaj experimental realizata

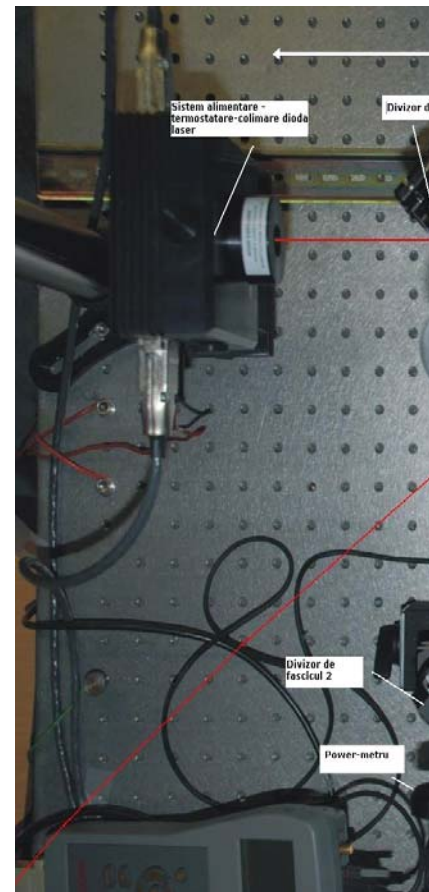
La realizarea variantei de montaj experimental LSCE s-a avut in vedere in primul rand schema tehnica descrisa anterior (paragraful 4.1.) si in al doilea rand resursele materiale, dotarile si expertiza de care grupul de lucru al proiectului dispunea pana la desfasurarea etapei curente. Ca urmare a acestor conditionari s-a realizat un montaj experimental LSCE a carui schema de principiu este prezentata in Figura 4.3. Obținerea de date calitative si cantitative experimentale ale proceselor de emisie haotică a diodelor laser a fost condiționata de controlul riguros al parametrilor sistemului si de aliniere a cavitatii externe. Montajul experimental dezvoltat pentru punerea in evidenta a emisiei laser haotice permite controlul emisiei laser prin ajustarea temperaturii de termostatare a mediului activ, valorii curentului de injectie (alimentare a diodei) si unghiului retelei de difractie (alinierea cavitatii externe). Reglajul lungimii cavității externe, ca si cel al coeficientului de feedback (cantitatea de radiatie reinjectata la nivelul jonctiunii laser), asigură de asemenea posibilitatea controlarii dinamicii haotice. O parte



din radiatia din cavitate (cuplata prin divizorul de fascicul) este analizată cu ajutorul sistemului de detectie.



a)



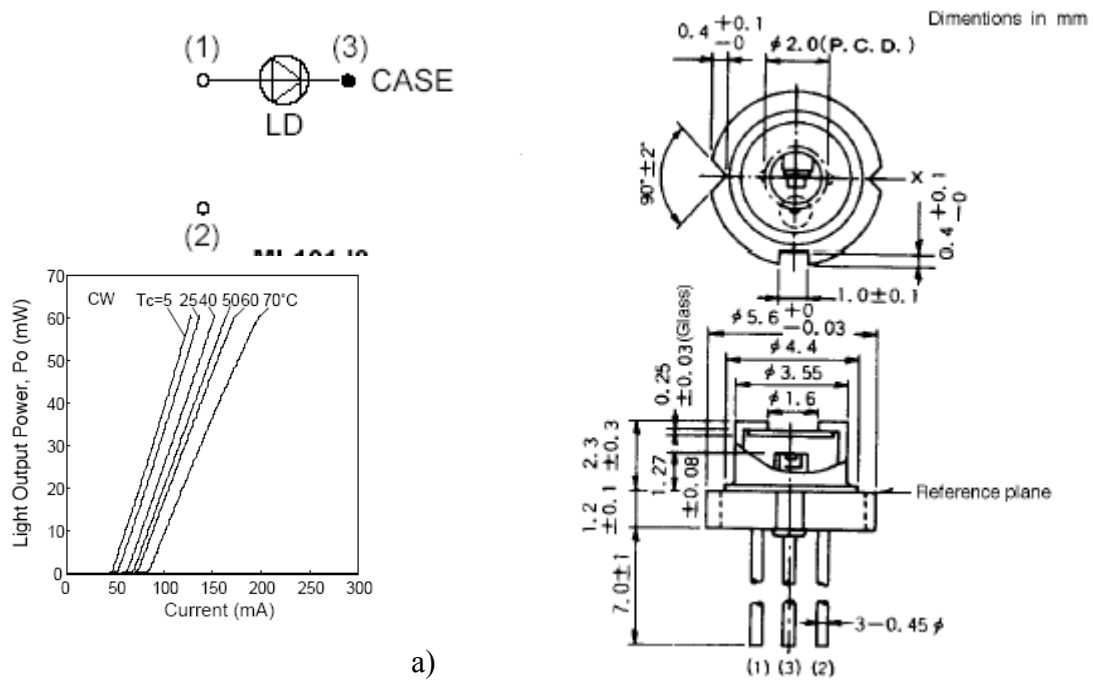
b)

Figura 4.3. Montaj experimental LSCE. a) Schema generala de principiu a montajului experimental de control si analiza; schema cavitatii externe de lungime L_{EC} ; b) Montaj experimental - imagine foto.

Intregul montaj experimental este plasat pe o masa antivibrationala Thorlabs (model PTS503) dotata cu un sistem pneumatic care oferă o bună stabilitate mecanică și care reduce vibrațiile externe. Modulele componente ale sistemului LSCE dispun de suporturi și monturi care permit alinierea precisă (cu rezoluții de ordinul micro-metrilor) pe direcțiile de ajustare. Aceste realizări tehnice conforme cu cerințele prezentate în cazul schemei tipice a unui sistem LSCE asigură măsurătorilor experimentale de punerea în evidență și controlul a manifestărilor haotice, atât precizie cât și o bună reproductibilitate.

În continuare este descris montajul experimental realizat pe baza schemei tehnice descrise anterior.

Modulul de control al emisieii laser. Din punct de vedere al caracteristicilor, aparatura și componentele utilizate sunt de mare precizie. Pentru obținerea emisieii laser s-au utilizat diode laser tip ML101J8 (Thorlabs), cu 3 pini, cu emisie transversal monomoda la $\lambda = 663 \text{ nm}$ și putere nominală de 40mW, pentru un curent optim de 109mA ($I_{\text{prag}}=54\text{mA}$) la temperatura de $T=24^\circ\text{C}$. Structura internă a diodei și principalele caracteristici sunt prezentate în Figura 4.4.



a)

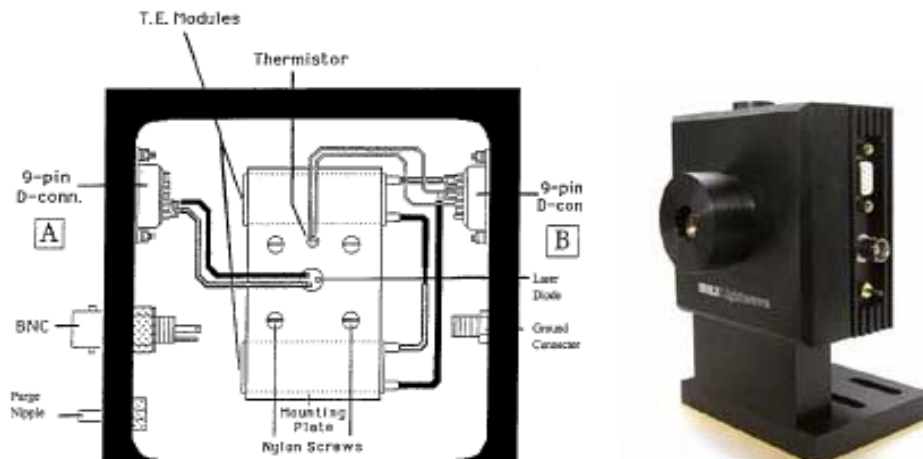
ELECTRICAL/OPTICAL CHARACTERISTICS (T_c=25°C)

| Symbol | Parameter | Test conditions | Min. | Typ. | Max | Unit |
|----------------------|---------------------------------------|--------------------------|------|------|-----|-------|
| I _{th} | Threshold current | CW | - | 55 | - | mA |
| I _{op} | Operating current | CW, P _o =50mW | - | 130 | - | mA |
| V _{op} | Operating voltage | CW, P _o =50mW | - | 2.7 | 3.0 | V |
| η | Slope efficiency | CW, P _o =50mW | - | 0.65 | - | mW/mA |
| λ_p | Peak wavelength | CW, P _o =50mW | 655 | 660 | 666 | nm |
| θ_{\parallel} | Beam divergence angle (parallel) | CW, P _o =50mW | - | 9 | - | deg. |
| θ_{\perp} | Beam divergence angle (perpendicular) | CW, P _o =50mW | - | 22 | - | deg. |

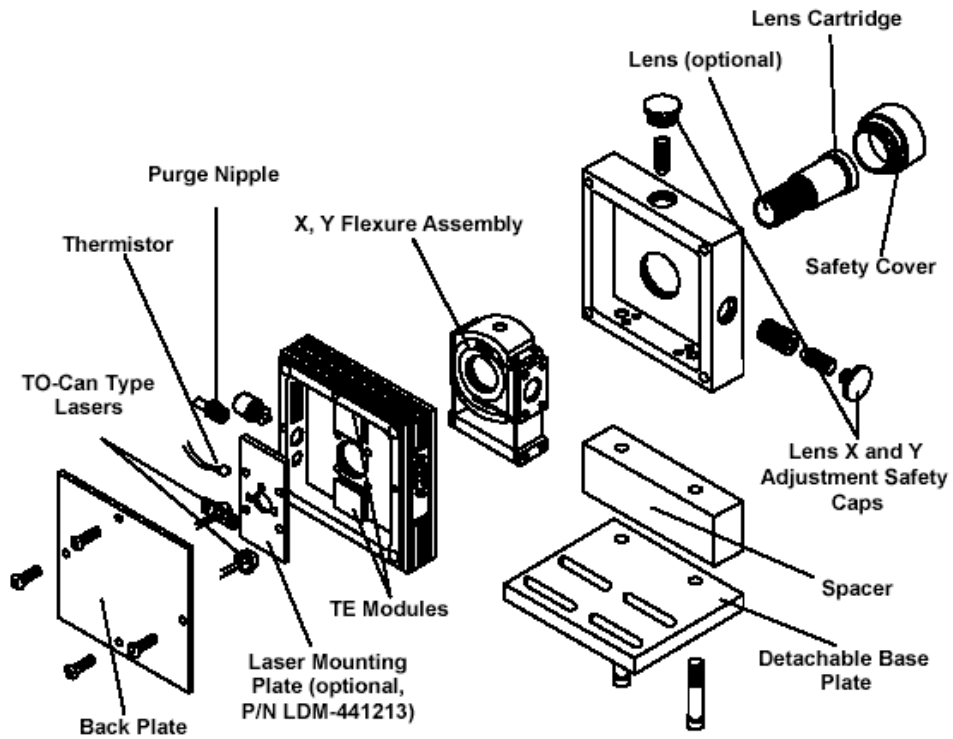
b)

Figura 4.4. Dioda laser utilizata. a) Structura interna a diodei; b) principalele caracteristici electrice si optice.

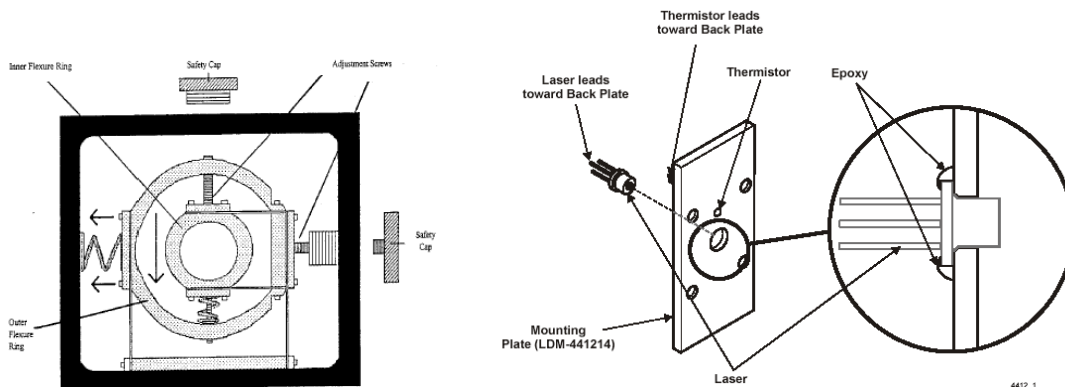
Pentru dioda laser, la alegerea monturii, s-a optat pentru o varianta tip LDM-4412 (Lightwave), care pe langa alimentarea si termostatarea diodei laser (montura permite instalarea a doua elemente Peltie cu puterea de 14.2 W), aceasta dispune si de un sistem incorporat pentru colimarea fasciculului laser cu optica corespunzatoare lungimii de unda emise de dioda. Alinierea sistemului de colimare se poate realiza pe directii XY cu pana la $\pm 3\text{mm}$, iar pe directia Z cu pana la 10mm (Figura 4.5).



a) diagrama si imaginea monturii diodei



b) vedere in ansamblu a monturii



c) montura sistemului de colimare (stanga) si schema de fixare locala a diodei (dreapta).

Figura 4.5. Imaginea si schita detaliata a monturilor de alimentare, termostatare si colimare a diodei laser.

Alegerea acestei monturi a fost determinata si de modul compact de realizare, prin care s-au incorporat toate dispozitivlr de control ale emisiei laser, astfel incat sa asigure o buna stabilitate mecanica, cat si termica prin izolarea, practic, a diodei de mediul inconjurator. Montura este prevazuta, de asemenea, cu un conector electric suplimentar care permite accesul la circuitele de alimentare ale diodei laser, precum si de un orificiu special prin care se poate asigura o atmosfera controlata in incinta monturii. Fixarea diodei laser se face astfel incat sa existe o cat mai mare suprafata de contact intre carcasa acesteia si suportul de fixare pentru un cat mai bun transfer termic. Pozitionarea in montajul experimental a monturii diodei (fixarea pe masa optica) s-a realizat prin intermediul unei tije din otel masiv prevazuta cu sistem de amortizare a vibratiilor tip DP14/M Dinamically Damped Post (Thorlabs).

Sursa de alimentare a LS aleasa este tip LDC-3724B (Lightwave) care incorporeaza si sursa de control termic. Parametrii principali de functionare sunt, in curent, o rezolutie de 0.1 mA, acuratete de $\pm 0.05\%$ si stabilitate < 20 ppm; in temperatura, o rezolutie de 0.1 °C, acuratete de $\pm 0.2^\circ\text{C}$, iar stabilitatea pe termen lung $< 0.01^\circ\text{C}$.

Modulul cavitatii externe. Sistemul optic de colimare, care este incorpoarat in montura de fixare a diodei este format din lentrile asferice cu depuneri antireflex pentru domeniul de emisie a LS. Distanta focala a sistemului de lentile este de 5.0mm, iar apertura numerica (NA) de 0.50. Elementul optic de asigurare a feedbackului optic este in acest caz o retea de difractie holografica cu 600linii/mm . Aceasta este plasat intr-o montura cinematica cu actionare manuala, ca cea descrisa in Figura 3.3., cu rezolutii pentru pozitionarea pe axele XYZ de ordinul micro-metrilor, si de ordinul a 3° la miscarile ortogonale.

In cavitate au fost adaugate un filtru neutru continuu variabil (cu un factor de cuplaj intre 0% si ~98%) pentru controlul coeficientului de feedback, si un divizor de fascicul, avand raportul intre transmisie si reflexie de 67:33, pentru cuplarea radiatiei din cavitate cu sistemul de detectie.

Lungimea cavitatii aleasa in cazul acestei variante a montajului experimental a fost de 30 cm, cu posibilitate de ajustare.

Modulul de detectie. Alte componente optice utilizate in afara cavitatii externe pentru cuplarea radiatiei cu aparatele de masura si analiza au fost divizoarele de fascicul si filtrele neutre (atenuatori optici).

Analiza semnalelor optice / electrice a implicat sisteme de mare sensibilitate si viteza mare de raspuns, amplificatoare de banda largă si zgomot redus. Analiza semnalului optic se referă la partea de intensitate luminoasă, prin analiza comportării haotice a puterii instantanee a radiației laser emise.

Aparatele utilizate in modulul de detectie si analiza a luminii emise de laserul cu semiconductori sunt: un powermetru tip PM120 (Thorlabs) cu o rezolutie in putere de 0.1 nW pe domeniul optic 400-1100nm; un spectrometru tip HR4000 (OceanOptics) cu o rezolutie optica de 0.75nm pe domeniul spectral 250-1100nm; un fotodetector cu amplificator tip ET-2030A (Laser2000) sensibil in domeniul 300-1000nm cu timp de raspuns mai mic de 0.5 ns si zgomot redus; si sistemele de analiză-memorare a semnalului electric inregistrat, doua osciloscopae digitale, unul cu număr mare de puncte memorate tip DPO7254 (Tektronics) cu banda de 2,5 GHz si rata de samplare 40GS/s, si celalalt tip TDS 724A (Tektroniks) cu largime de banda de 500MHz si 20 GS/s. Analiza spectrului de emisie al LS s-a realizat, de asemenea, si cu un sistem spectrograf-camera ICCD (SpectraPro 750 - Acton Research +Princeton Instruments) cu o rezolutie optica de 0.02nm.

Intreg sistemul de detectie permite stocarea digitala a informatiei.

Etalonarea sistemului de alimentare si termostatare a LS

Obținerea de date calitative si cantitative experimentale ale proceselor de emisie haotică a diodelor laser este condiționată de un control riguros al parametrilor sistemului. Din aceasta cauza, trebuie verificata in primul rând stabilitatile sistemelor de control al emisiei laser – alimentarea diodei și termostatare acesteia.

Intro configuratie in care s-a utilizat dioda laser in absenta cavitatii externe s-a caracterizat emisia laser, determinandu-se caracteristicile principale de functionare ale diodei.

Folosind apartura de control descrisă mai sus s-a verificat functionarea in timp a acestora pentru diferite regimuri de functionare, obtinandu-se o stabilitate in curent de ± 0.01 mA și in temperatura ± 0.2 °C. S-a determinat largimea de banda (FWHM) a liniei de emisie

a diodei laser ca fiind 0.04 nm la o lungimea de unda de $\lambda=663,17\text{nm}$ la un curent mediu de alimentare, 61mA si temperatura de 24°C (Figura 4.6).

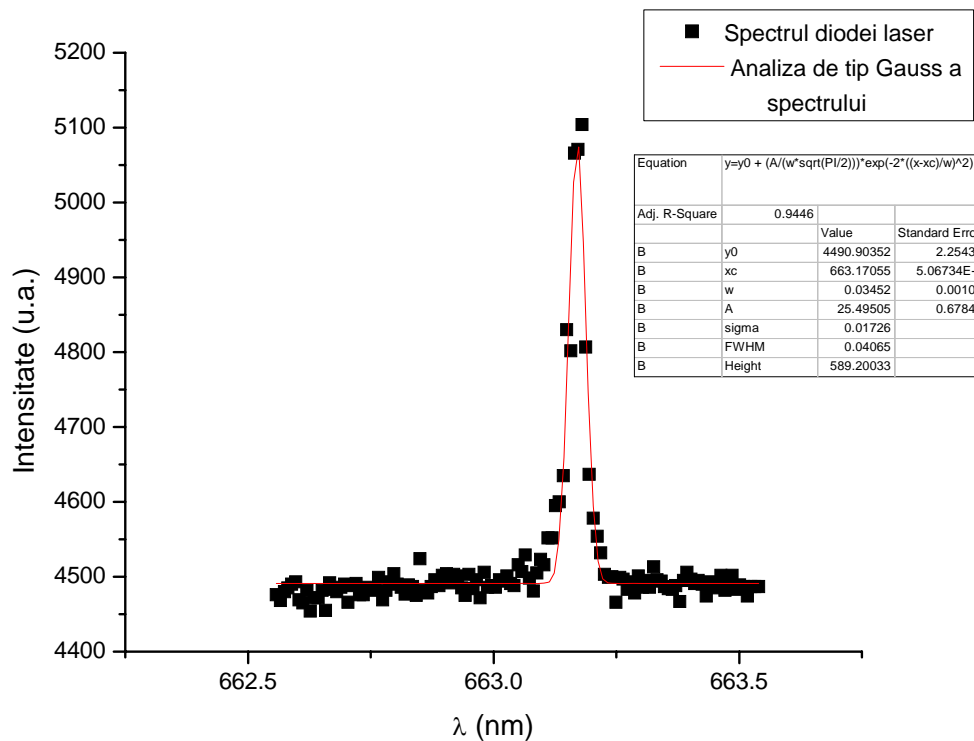


Figura 4.6. Spectrul de emisie al diodei ML101J8 (Thorlabs)

In continuare s-a determinat curentul de prag al emisieii laser inregistrandu-se caracteristicile de putere ale diodei functie de curentul de injectie pentru diferite temperaturi de termostatare, observandu-se ca pragul de emisie laser se deplaseaza cu pana la 5 mA in functie de temperatura de termostatare ajustata intre doua valori, minima si maxima.

In Figura 4.7. sunt reprezentate caracteristicile de putere P-I ale diodei laser obtinute pentru diferite temperaturi de termostatare.

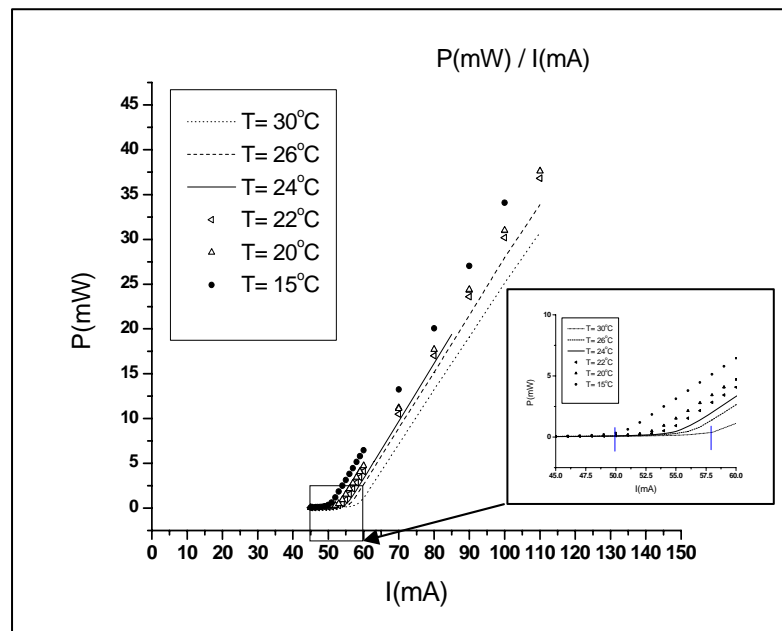


Figura 4.7. Caracteristicile P-I ale laserului cu semiconductori pentru diferite temperature de termostatare setate.

S-au obtinut valori ale curentului de prag intre 51mA si 55mA pentru temperaturii de termostatare setate intre 15°C si 30°C . Aceste valori ale pragului de emisie laser vor fi luate in considerare, ulterior, ca valori de referinta la obtinerea emisiei haotice a sistemului LSCE de tip fluctuatii de joasa frecventa (LFF – low frequency fluctuation). Comportarea haotica de tip LFF a unui sistem LSCE se manifesta la

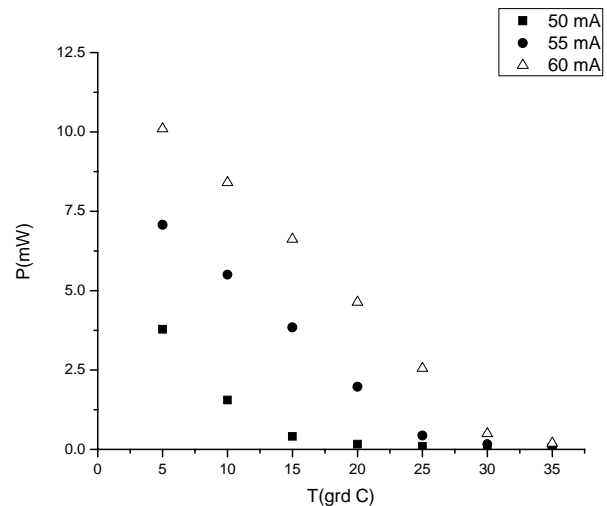


Figura 4.8. Depentenda puterii de temperature.

curenti de injectie situati in jurul curentului de prag laser, si pentru coeficienti de feedback mici si moderati. Este de notat ca valoarea curentului de prag laser creste odata cu cresterea temperaturii de termostatare a diodei laser. In acest caz temperatura de termostatare joaca un rol important in functionarea diodelor laser. Aceasta inseamna ca odata cu cresterea temperaturii de termostatare puterea radiatiei scade pentru acelasi curent de injectie (Figura

4.8). Se observa o variatie a puterii de ordinul a 10mW odata cu varierea temperaturii de termostatare cu 15°C. Rata de scadere a puterii laser in acest caz este de 0.35mW / 1 °C.

De asemenea, ajustarea temperaturii de termostatare are ca efect acordarea pe lungimea de unda a radiatiei emise de dioda laser. In cazul LS cu emisie monomod longitudinala, acordarea liniara pe lungimea de unda este posibila pe cativa nm, respectiv 6nm, prin ajustarea temperaturii de termostatare cu 30°C (Figura 4.9.).

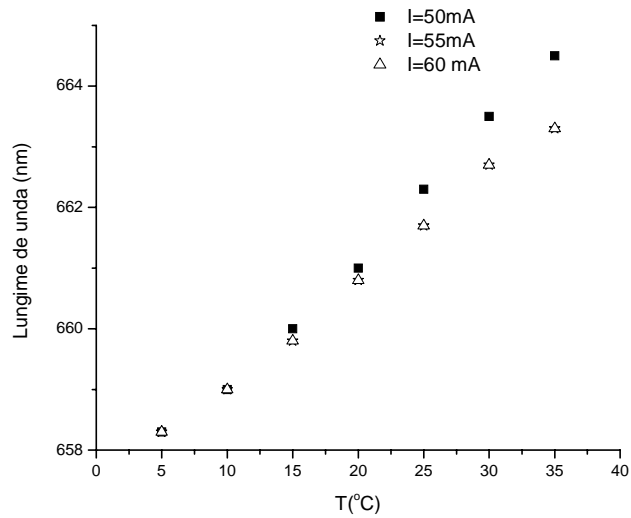


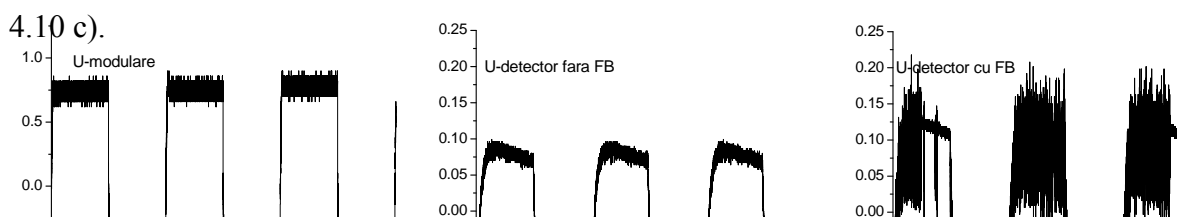
Figura 4.9. Acordarea lungimii de unda

Emisie laser caracterizata de o comportare haotica de tipul fluctuatiilor de joasa frecventa

Deoarece detectorul optic folosit are o banda de trecere ce pleaca de la 75kHz, si urmarirea pe detector a calitatii alinierii necesita un semnal peste aceasta frecventa, s-a utilizat (doar in etapa de aliniere si optimizare a montajului) modularea suplimentara a curentului de alimentare a diodei laser.

S-a realizat alinierea montajului in absenta cavitatii exterioare, apoi caviatarea exterioara a fost cuplata urmarindu-se intarea sistemului intr-o stare de oscilatie caracterizata de o stare haotica inalta. Acesta stare haotica corespunde unei amplificari a nivelului de “zgomot” detectat, de fapt intarea diodei laser intr-o stare de emisie caracterizata de o modulatie neliniara a puterii emise.

Datele privind modularea electrica si raspunsul detectorului optic sunt prezentate in Figurile 4.10. Aceste reprezentari corespund functionarii diodei laser la un curent putin peste pragul emisieii laser. Se vede cum semnalul optic detectat urmareste semnalul de modulare, Figura 4.10 a), atat in lipsa cavitatii externe, Figura 4.10 b), cat si in prezenta acesteia, Figura



a) b) c)
Figura 4.10. Formele semnalelor de modulare pe sursa de alimentare si pe detectorul optic pentru un curent mediu de alimentare, putin peste curentul de prag, 55mA.

Se observa o marire evidenta a nivelului modulatiei semnalului detectat atunci cand caviatea exterioara este cuplata. Spre deosebire de cazul in care emisia laserului este libera, si cand forma semnalului inregistrat provine de la zgomotul electronic de detectie, in cazul cuplarii cavitatii externe, amplificarea nivelului de “zgomot” detectat, indica prezenta unui semnal cu o componenta haotica. Deformarea semnalului se datoreaza in mare masura regimului de lucru la curenti de injectie la limita emisiei de tip laser.

In Figura 4.11 sunt prezentate aceleasi grafice, dar la un curent de alimentare mediu de $1.18 \cdot I_{\text{prag}}$.

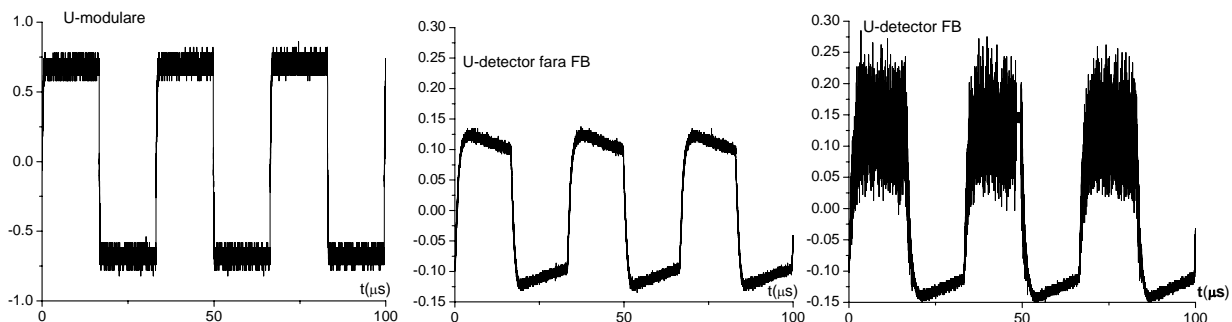


Figura 4.11. Tensiunea de modulare si tensiunea pe detectorul optic pentru un current mediu de alimentare de 64 mA

In acest caz se observa amplificarea semnalului optic detectat la cuplarea cavitatii extinse (figura 4.11 c), inasa, fara a avea loc si o amplificarea suplimentara a nivelului de „zgomot” detectat. Daca in cazul curentului la prag (Figura 4.10 c), semnalul haotic reprezenta 77% ($\Delta U_{\text{haos}}/U_{\text{detectat}} = 0.175/0.225$) din amplitudinea semnalului optic detectat, in cazul curentului mediu de functionare (figura 4.11 c) acesta reprezinta 66% din amplitudinea semnalului detectat.

In Figura 4.12 sunt prezentate seriile temporale a doua tipuri de semnale: periodic sinusoidal si haotic, precum si spectrele de putere asociate ca rezultat al analizei de tip Fourier a seriilor temporale.

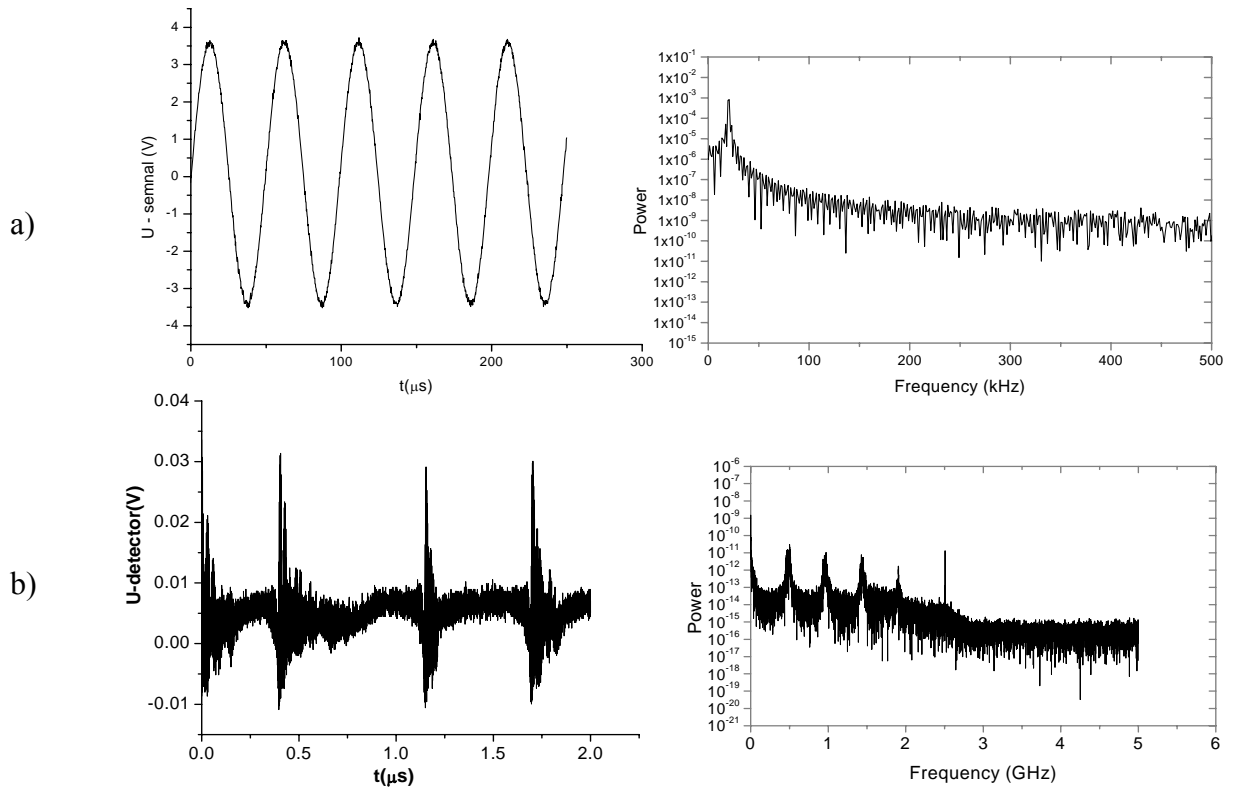


Figura 4.12. Comparatie intre spectrele de putere asociate diferitelor tipuri de serii temporale: a) sinusoidal; b) haotic.

Figura 4.12.b prezinta un semnal sinusoidal. Variatiile semnalului sunt rezultatul unor fluctuatii sistematice si periodice peste si sub o valoare medie. In spectrul de putere, variatiile de acest fel sunt concentrate la frecventa corespunzatoare perioadei oscilatiei asociate, respectiv 20 KHz.

Figura 4.12.c prezinta un semnal haotic, unde spectrul de putere prezinta componente (frecvente) la valori de ordinul zecilor de MHz, in general pana la 100 MHz, pentru fluctuatiile de joasa frecventa (LFF), si valori de ordinul GHz-lor pentru oscilatiile corespunzatoare modurilor cavitatii externe si armonicilor acestora. In acest caz, prima frecventa este in jur de 15 MHz, iar a doua la 0.5 GHz corespunzatoare oscilatiilor cavitatii externe. Urmatoarele 3 frecvente sunt armonici ai frecventei de la 0.5GHz, avand valori multipli intregi ai acesteia. Spectrul puterii optice (calculat) prezinta o structura caracterizata printr-o serie de linii discrete, caracteristice unei stari haotice de tip LFF.

Oscilatiile de tip LFF se disting prin trenuri periodice (fluctuatii de joasa frecventa – LFF) [8] ce se succed la intervale de sute de ns în interiorul carora se observa oscilatii rapide de ordinul ps . Fiecare tren de oscilatii este urmat de o cădere accentuată în putere, după care emisia se restabilește la nivelul inițial (Figura 4.13.)

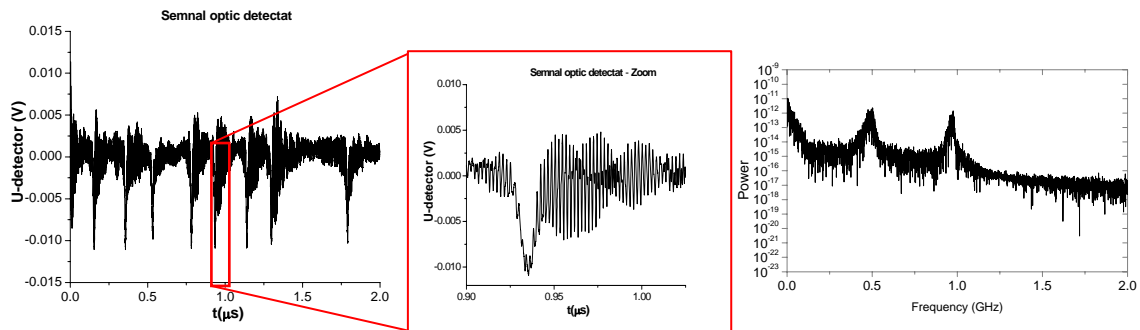


Figura 4.13. Oscilatii de tip LFF. Seria temporală a semnalului și spectrul puterii.

În Figura 4.14 se distinge trecerea sistemului laser de la un regim haotic la altul, caracterizată prin oscilații cu amplitudini diferite. Acest lucru este datorat și faptului că s-a alimentat dioda laser sub pragul laser, iar fluctuațiile haotice au basculat dioda laser între modul de emisie sub și peste prag. Temperatura de termostatare a joncțiunii este în acest caz de 21°C.

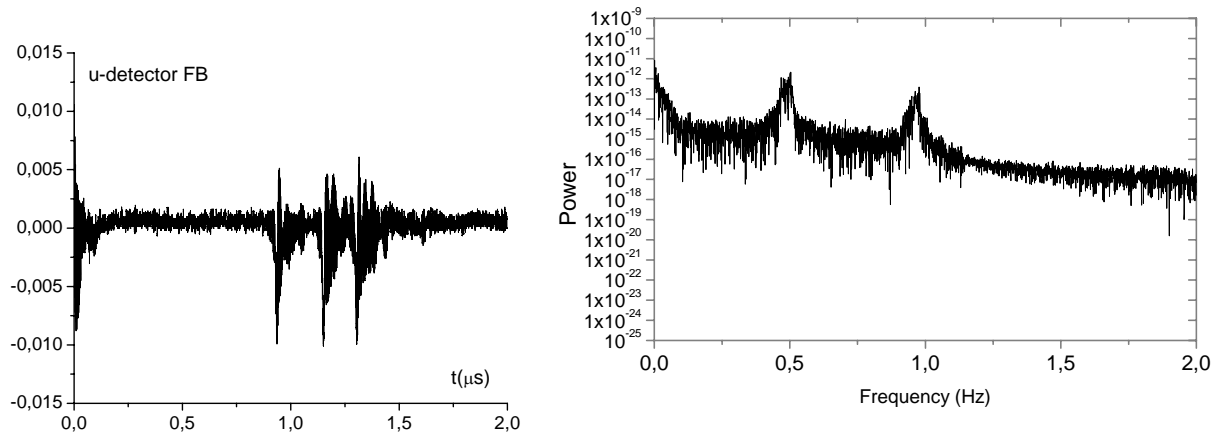


Figura 4.14. Dinamica neliniară cu comutare între 2 regimuri diferite emisie, stabilă și haotică.

Controlul dinamicii emisie haotice

În mod normal mediul activ laser se află într-o stare dinamică de echilibru unde procese ca rata de emisie stimulată și recombinare a purtătorilor de sarcină în mediul activ al joncțiunii semiconductorului sunt staționare, iar emisia este stabilă în timp (“CW laser”). În cazul în care se aplica un feedback optic ce provine de la o oglindă sau o rețea de difracție, funcționarea laserului prezintă o dinamică mult mai complexă ce depinde de nivelul de radiație injectată înapoi în mediul activ laser precum și de lungimea cavității extinse.

Prin ajustarea coeficientului de feedback optic sau a temperaturii de termostatare se poate exercita un control asupra dinamicii neliniare în sensul modificării frecvențelor de oscilație.

Control prin ajustarea feedbackului optic. Controlul prin intermediul feedbackului optic presupune controlarea intensității radiației întoarsă la nivelul joncțiunii semiconductorului. O ajustare a valorii puterii radiației reinjectate la nivelul mediului activ conduce la modificarea valorii frecvențelor asociate modurilor de oscilație din cavitatea

externa. In cazul montajului experimental dezvoltat, controlul coeficientului de feedback se realizeaza prin intermediul filtrului neutru continuu variabil introdus in cavitatea externa.

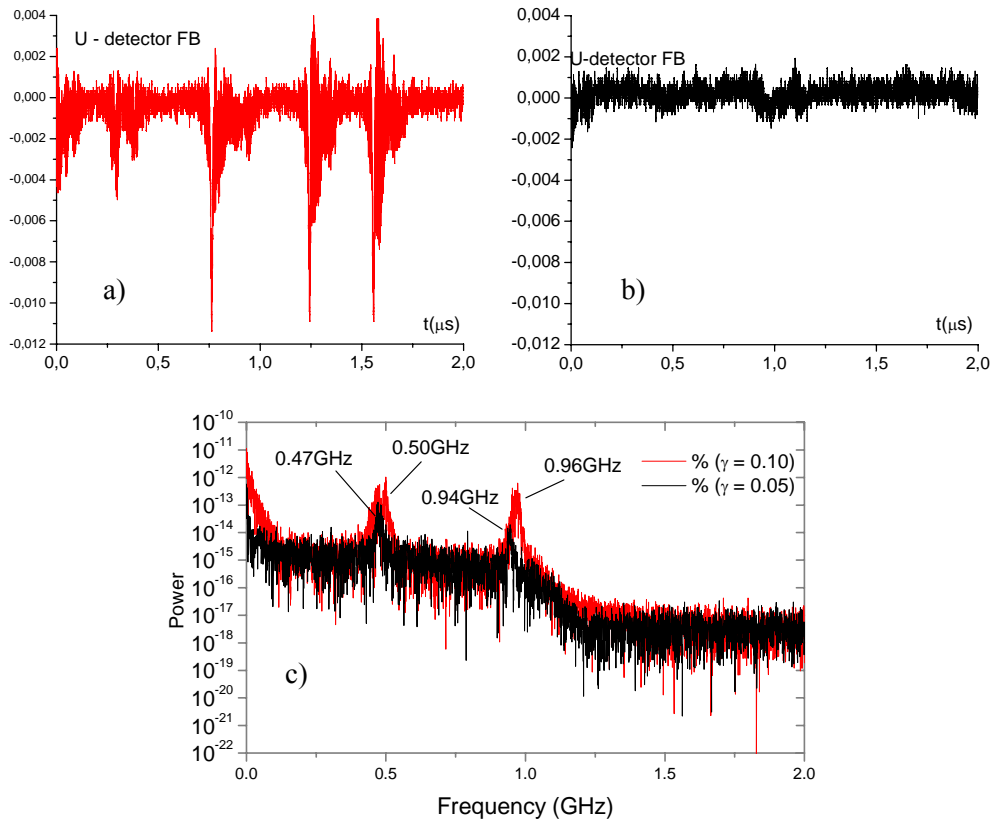


Figura 4.15. Dinamica neliniară la doua valori ale coeficientului feedbackului optic

Daca in cazul Figurii 4.15.a coeficientul de feedback reprezinta 10% din valoarea radiatiei incidenta pe retea, in Figura 4.15.b, acesta reprezinta 5%, jumătate fata de primul caz, fapt care conduce la modificarea dinamicii haotice prin deplasarea frecventelor de oscilatie din spectrul puterii.

Control prin ajustarea temperaturii de termostatare. Acest tip de control este asociat cu o modificari a lungimii cavitatii externe a sistemului LSCE, dar nu datorat deplasarii elementului ce asigura feedbackul optic. Ajustarea temperaturii actioneaza asupra dimensiunii mediului activ, deci si a cavitatii externe in ansamblu, sub forma unei deplasari de ordin nano-, micro-metric ce produce schimbări în dinamica laserului. Aceasta actiune este demonstrat de oscilațiile sistemului prezentate în figurile 4.16.a, cu $T=20^{\circ}\text{C}$, si 4.16.b, $T=25^{\circ}\text{C}$. Diferența de temperatură de 5 grade Celsius poate produce deplasări microscopice

ale lungimii mediului activ laser ca urmare a dilatării termice a acestuia, care conduce la modificarea dinamicii haotice (Figura 4.16.c).

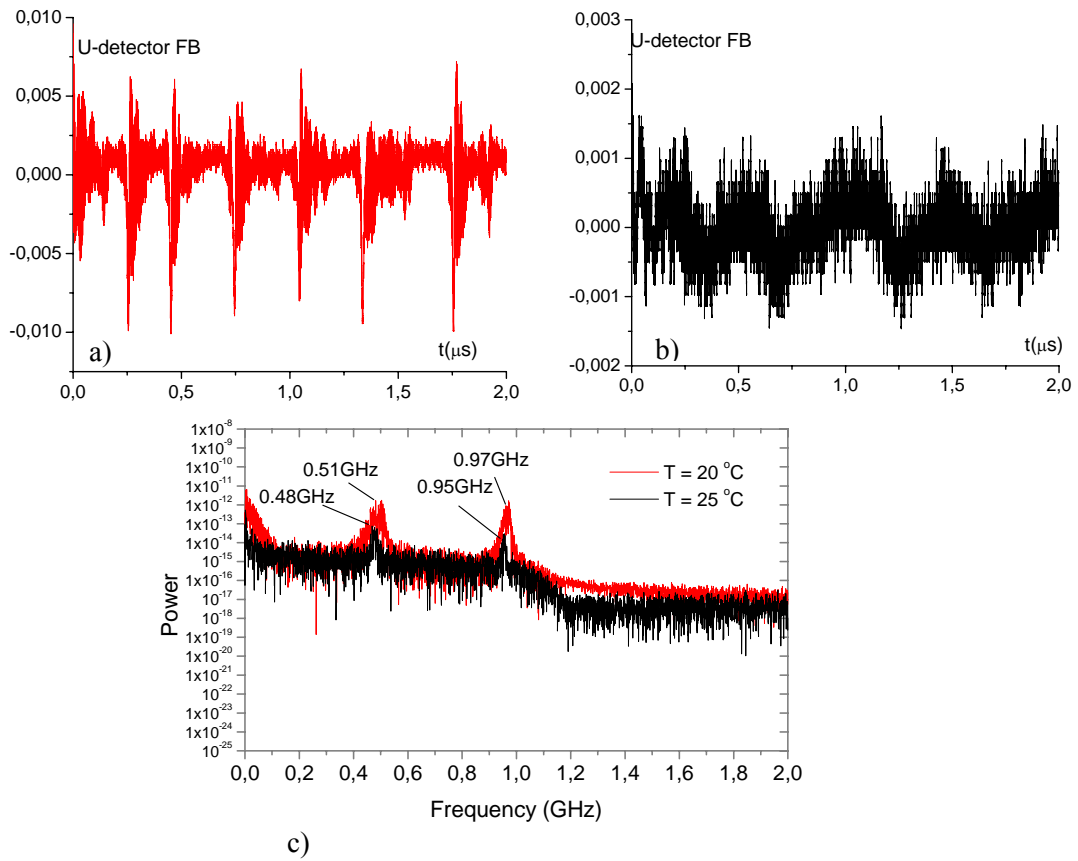


Figura 4.16. Dinamica neliniară la doua temperaturi de termostatare