

## **Sistemul Laser cu semiconductori - cavitate externa (LSCE)**

### **Atingerea emisiei haotice**

O evoluție haotică a unei serii temporale de măsurători luate asupra unui sistem fizic reprezintă o caracteristică intrinsecă a multor sisteme neliniare. Această tranziție de la ordine la dezordine, de la predictibil la impredictibil apare aproape în mod universal în natură. În sistemele laser, ca și în alte sisteme optice neliniare, haosul apare în mod constant. Chiar și sisteme simple în forma matematică sau în construcție manifestă comportări stranii și complicate, care pot aduce informații importante asupra descrierii naturii determinist haotice, sau a înțelegerii interacției neliniare a sistemelor optice. Dezvoltarea puternică a tehnologiei materialelor semiconductoare a transformat dioda laser într-un dispozitiv uzual, banal aproape, dar care reprezintă în continuare un sistem fizic foarte interesant de analizat și foarte util într-o serie de noi aplicații ingineresti. Dinamica neliniară a acestor dispozitive este studiată în special în condițiile unui feedback optic extern.

Atunci când o parte din energia laser emisă este redirecționată înapoi în cavitatea laser reflectată de pe o suprafață externă, care poate fi o oglindă sau o rețea de difracție, apar o serie de fenomene interesante, unele dintre ele utile, altele nedorite [26]. Instabilitățile sistemelor LSCE, depinzând de valoarea coeficientul de feedback, sunt clasificate în cinci regimuri [27]:

Regimul I: feedback și efecte foarte mici (coeficientul de feedback este 0.01% din amplitudine semnalului). Largimea de banda a laserului devine largă sau îngustă, în funcție de fracția de feedback.

Regimul II: efecte mici, dar nu neglijabile (mai mici decât ~0.1%). Generarea modurilor externe dau posibilitatea manifestării „mode hopping-ului” între moduri interne și externe.

Regimul III: este o regiune îngustă cu un feedback de aproximativ 0.1%. Zgomotul datorat „mode hopping”-ului este atenuat; laserul funcționează având o largime de banda îngustă.

Regimul IV: feedback moderat (în jur de 1%). Oscilațiile de relaxare devin neamortizate, iar largimea de banda laser se mărește mult. Laserii prezintă manifestări

haotice, iar cateodata evolueaza catre oscilatii instabile, intro stare de colaps a coerentei. Nivelul de zgomot se intensifica mult in acest caz.

Regimul V: regim cu feedback mare (mai mult de 10%). Cavitatile interna si externa functioneaza ca o singura cavitate, astfel incat laserul oscileaza monomod, Largimea de banda a laserului este foarte mult ingustata.

### **Comportari specifice ale radiatiei emise de un sistem LSCE**

Evoluția haotică a unui sistem fizic este o caracteristică a multor sisteme neliniare, tranziția de la “ordine” la “dezordine”, de la predictibil la nepredictibil este universal întâlnită. La fel și în sistemele laser. Importanța dezvoltării tehnologiei semiconductorilor a transformat dioda laser într-un obiect cvasi-comun. Foarte interesant ca sistem fizic, si foarte util într-o mare varietate de aplicații ingineresti, dinamica neliniară a acestor dispozitive este studiată în special în montaje cu feedback optic.

Atât teoretic, experimental cât și prin simulări numerice, dinamica sistemelor de tip diodă laser cu cavitate extinsă este deosebit de variată și ca urmare a feedback-ului (intoarcerii) câmpului optic spre cavitatea interioară de rezonanță se obțin o serie întreagă de comportări specifice ale radiației optice emise de diodă în aceste condiții.

Comportarea haotică a laserilor cu semiconductori este influențată de unele proprietăți intrinseci ale sistemului laser. Câștigul larg al mediului activ al diodelor laser, ~5nm, care permite excitarea în cavitatea interioară a unui număr mare de moduri longitudinale și dependența puternică a indicelui de refracție de densitatea de purtători excitați sau de temperatură sunt probabil cei mai importanți.

Când dimensiunea drumului optic al cavității rezonante exterioare este mai mică decât lungimea de coerență a radiației generate sistemul se comporta ca un laser ce are cavitate extinsă, pe când in cazul folosirii unor dimensiuni mai mari se manifestă o serie întreaga de manifestări (traectorii) haotice.

Nivelul feedback-ului optic influențează de asemenea evoluția sistemului laser. Un nivel coborât este eficient in îngustarea liniei de emisie a diodei laser si selecția modurilor . De exemplu dacă o diodă tipic are o lărgime a liniei pentru un mod laser liber de aproximativ 50÷100 MHz, această lărgime se reduce semnificativ la mai puțin de 1 MHz folosind componente optice relativ uzuale în construcția cavității optice extinse.

De asemenea utilizarea cavităților extinse a fost dovedită ca având proprietăți importante în reducerea distorsiunilor emisiei laser modulate sau în detecția micilor deplasări ale peretelui exterior de întoarcere a radiației.

Un nivel ridicat al feedback-ului optic generează lărgirea liniei de emisie de până la 10 GHz. Efectul acestei lărgiri a liniei de emisie este apariția dinamicii haotice, așa numitul colaps al coerenței – trecerea de la o stare de lungime de coerență mare la una redusă și include bifurcații subarmonice, comportare intermitentă și auto pulsarea. În apropierea curentului de deschidere apar așa numitele fluctuații de joasă frecvență.

În sistemele laser, ca și în alte sisteme neliniare, o serie de instabilități diferite se pot transforma într-o dinamică haotică. În funcție de condițiile și structura dinamică a sistemului, creșterea valorii unui anumit parametru de control, de exemplu puterea de pompaj sau alinierea cavității laser, declanșează anumite traiectorii către haos determinist pe care le urmează sistemul fizic. Plecând de la un singur oscilator, atunci când din ce în ce mai mulți oscilatori sunt activați (mai multe moduri libere), se formează o traiectorie de dimensiune din ce în ce mai mare, așa numita cale spre haos Landau-Hopf. După ce sistemul a atins o stare oscilatorie pe două frecvențe de bază, irațională una față de cealaltă, poate fi atinsă o rută Ruelle-Takens spre haos. O altă posibilitate este reprezentată de dublarea perioadei, familiară de la hărțile simple logistice, unde perioada oscilațiilor manifestă o dublare la valori specifice ale parametrului de control. Mai general, s-au găsit și diferite alte tipuri de generare a sub-armonicilor. O altă posibilitate de atingere a dinamicii haotice este aceea rezultată din fenomenele intermitente, unde o anumită mărime fizică rămâne staționară pentru o anumită perioadă de timp, după care apare un puls haotic, care reapare apoi alternant cu stări staționare. De asemenea, pot apărea stări succesive de dinamică haotică și periodică, atunci când un anumit parametru variază.

Toate aceste manifestări haotice, dacă sunt necontrolate, pot produce desigur serioase probleme pentru marea majoritate a aplicațiilor. Dar există de asemenea aplicații importante ale lor ca suprimarea coerenței, împrăștierii înapoi sau a reducerii efectului speckle perturbant în stocarea informației pe discuri optice sau în transmisia codificată a mesajelor folosind sisteme haotice cuplate.

Dintre manifestările haotice ale emisiei sistemelor laser, poate cele mai spectaculoase, sunt acelea legate de cuplarea sistemelor haotice. Demonstrata teoretic și pe circuite electronice și propusă mai apoi în laserii cu corp solid, sincronizarea traiectoriilor haotice este bazată pe un fenomen similar fenomenului de rezonanță a oscilatorilor liniari. Această inedită capacitate a fost utilizată experimental în codarea comunicațiilor folosind laseri cu fibră optică de tip inel și sau laseri cu semiconductori, precum și analizată ca posibilitate teoretică.