

COMUNICAREA OPTICĂ BAZATĂ PE HAOS CU AJUTORUL LASERELOR CU PUNCTE CUANTICE

OLOINIC TATIANA, RUSU SPIRIDON, TRONCIU VASILE
Universitatea Tehnică a Moldovei

Introducere. Laserul este un dispozitiv care emite lumină coerentă și are aplicații largi în diferite domenii precum computere personale, internet, comunicarea optică, imprimante laser, sisteme display, etc. Laserele semiconductoare (LS) sunt sisteme nelineare. De aceea, în ultimii ani, dinamica lor a devenit obiect de studiu atât din punct de vedere teoretic, cât și experimental. Este bine cunoscut faptul că în aplicațiile tipice ale LS este inevitabilă prezența unui feedback optic (FO) [1]. Acesta poate fi realizat de oglinzile rezonatorului laserului sau de reflexia de la alte componente optice ale sistemului. După cum se știe, chiar și valorile mici ale FO produs de la o oglinda plană conduc la destabilizarea sistemului și la apariția instabilităților. Astfel, FO poate influența considerabil comportamentul dinamic al laserului semiconductor. Prezența oscilațiilor periodice sau haotice este un fapt bine cunoscut în laserele semiconductoare cu feedback optic. Comportamentul haotic poate fi atât util, în cazul sistemelor de comunicații bazate pe haos (CBH) cât și nedorit, în alte aplicații de înscriere a datelor. Din punct de vedere aplicativ, comunicarea în baza haosului a devenit atractivă deoarece permite îmbunătățirea securității în sistemele optice de transmitere a datelor.

Interesul pentru acest domeniu a crescut considerabil după demonstrarea practică a comunicării optice bazate pe haos în rețeaua de fibre optice a Atenei [2]. În sistemele optice de comunicare bazate pe haos sunt folosite lasere semiconductoare cu diferite tipuri de FO, complet optice [3-5] sau

electro-optice [6-8]. De obicei, pentru generarea haosului, timpul de întârziere trebuie să fie mai mare de câteva sute de picosecunde [9-10].

În această lucrare sunt prezentate rezultatele referitoare la CBH cu utilizarea laserelor semiconductoare cu puncte cuantice și feedback optic, precum și evoluția acestor sisteme. În acest scop a fost studiată dependența puterii emergente, a laserului semiconductor cu puncte cuantice de timp și de densitatea purtătorilor de sarcină. Dinamica laserelor este descrisă cu ajutorul diagramei bifurcațiilor reprezentată de puterea emergentă în funcție de intensitatea feedback-ului optic. În afară de aceste rezultate este redat și fenomenul de sincronizare a două sisteme în comportament haotic.

Schema laserului și ecuațiile

Figura 1 arată structura laserului DFB sub influența feedback-ului optic provenit din cavități exterioare, distribuite egal în direcție longitudinală. Dinamica laserului prezentat în Figura 1 poate fi cercetată cu ajutorul sistemului de ecuații Lang – Kobayashi [11] pentru amplitudinea complexă a câmpului electric E , probabilitatea de ocupare în punctul cuantic ρ și concentrația purtătorilor de sarcină N . Vom considera aproximarea unei singure bucle și neglijăm reflecțiile multiple în interiorul cavităților.

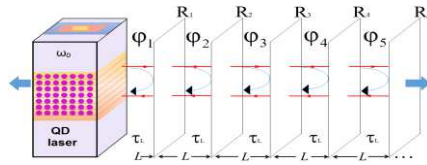


Figura 1. Schema laserului semiconductor cu puncte cuantice și feedback optic ce provine de la cavități multiple

$$\frac{dE}{d\tau} = \frac{1}{2}(1 + i\alpha) \left[-\gamma_{np} + g(2\rho - 1) \right] E + \sum_{n=1}^5 \gamma_n \exp \left(-i \sum_{k=1}^n \varphi_k \right) E(\tau - n\tau_L), \quad (1)$$

$$\frac{d\rho}{d\tau} = -\gamma_{ns} \rho - (2\rho - 1) |E|^2 + (CN^2 + BN)(1 - \rho), \quad (2)$$

$$\frac{dN}{d\tau} = J - N - 2 \left[(CN^2 + BN)(1 - \rho) \right], \quad (3)$$

unde α este factorul Henry, γ_n și φ_n sunt mărimi fizice care descriu intensitatea și faza feedback-ului, respectiv. J este curentul adimensional de pompaj.

Rezultate și discuții Pentru a examina dinamica laserului semiconductor cu feedback de la cavitățile exterioare cu multiple secțiuni prezentat în Figura 1, vom utiliza ecuațiile (1) – (3). Este cunoscut că pentru valori mici ale intensității feedback-ului optic puterea emergentă prezintă unde continue (UC) sau pulsații care nu pot fi aplicate în sistemul CBH. Comportamentul

haotic apare ca rezultat al creșterii intensității feedback-ului exterior. În Figura 2 este reprezentată evoluția în timp a puterii emergente, portretul de fază în planul parametrilor ($P - N$) și spectrul de putere a laserului semiconductor sub influența feedback-ului optic în diferite regimuri.

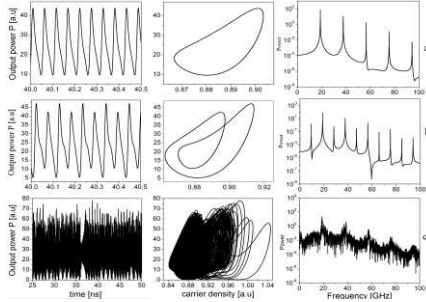


Figura 2. Puterea emergentă în funcție de timp (stânga), portretul de fază (centru) și spectrul de putere (dreapta) a laserului semiconductor sub influența feedback-ului optic de la cavități multiple pentru a) $\square = 10 \text{ ns}^{-1}$ – oscilații periodice, $\square\square = 15 \text{ ns}^{-1}$ – dublare de perioadă, $\square = 20 \text{ ns}^{-1}$ – haos.

În figura 2, a) este descris comportamentul periodic al sistemului pentru $\gamma=10 \text{ ns}^{-1}$. Observăm că portretul de fază este un ciclu limită oval, iar pentru spectrul de putere avem o frecvență dominantă. În continuare, estemărită intensitatea feedback-ului optic $\gamma= 15 \text{ ns}^{-1}$. Astfel observăm în figura 2, b) o dublare de perioadă iar pentru portretul de fază o deformare a ciclului limită. Figura 2, c) reprezintă comportamentul sistemului pentru $\gamma=20 \text{ ns}^{-1}$ care devine mult mai complicat: în sistem apare haos, iar portretul de fază constituie un atractor straniu. Astfel ajungem la concluzia că din cauza influenței unui feedback multiplu, laserele semiconductoare au un comportament haotic adecvat pentru CBH. Figura 3 prezintă dinamica laserului cu puncte cuantice exprimată prin diagrame ale bifurcațiilor. Noi am ales la început să analizăm puterea emergentă în funcție de intensitatea FO (vezi fig.3, a)). Dacă valoarea intensității feedback-ului este egală cu zero atunci sistemul generează unde continue (UC). Când intensitatea feedback-ului are valoare de 7 ns^{-1} apare bifurcația Hopf (H), care separă undele continue de oscilațiile periodice P. După acesta urmează o regiune haotică în intervalul $10.5 - 19 \text{ ns}^{-1}$. Comportamentul haotic este urmat iarăși de un regim de UC și de oscilații periodice. În final apare un al doilea regim haotic urmat de UC. Figura 3(b) ilustrează diagrama bifurcațiilor în funcție de faza ϕ . În acest caz parametrul γ este fixat la valoarea $\gamma = 20 \text{ ns}^{-1}$. Observăm și în acest caz existența regimului haotic pentru un spectru larg de valori ai parametrului ϕ .

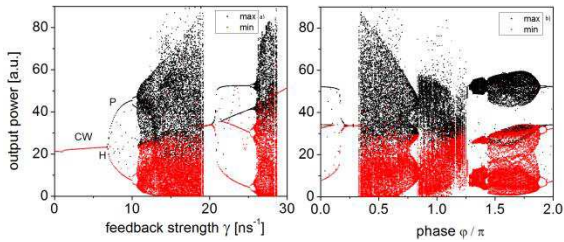


Figura 3. Diagrama bifurcațiilor.

În continuare vom analiza proprietățile de sincronizare a două lasere: unul principal și altul secundar cuplate în direcție longitudinală. Pentru aceasta estimăm coeficientul de corelare încrucișată C [12]. În Figura 4 este prezentată diagrama de sincronizare în cazul, când intensitatea feedback-ului este $\gamma = 15 \text{ ns}^{-1}$ și parametrul de cuplare k are diferite valori.

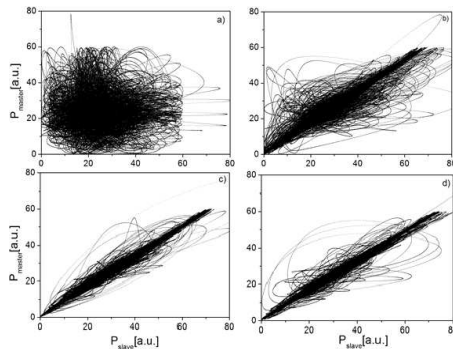


Figura 4. Diagrama de sincronizare pentru diferite valori ale parametrului de cuplare a) $k = 0 \text{ ns}^{-1}$ b) $k = 50 \text{ ns}^{-1}$, c) $k = 75 \text{ ns}^{-1}$ d) $k = 90 \text{ ns}^{-1}$.

Menționăm că atât pentru laserul principal, cât și pentru cel secundar se i-au aceleași valori ale parametrilor. Când parametrul de cuplare k este egal cu zero, precum este arătat în figura 4, a), traiectoriile laserelor principal și secundar demonstrează absența unei corelări între puterile emergente. Pentru parametrul de cuplare $k = 50 \text{ ns}^{-1}$, diagrama prezintă un proces de sincronizare (vezi Fig. 4, b)), iar pentru $k = 70 \text{ ns}^{-1}$, după cum se vede în Fig. 4, c), sincronizarea se îmbunătățește. Creșterea ulterioară a parametrului de cuplare $k = 90 \text{ ns}^{-1}$ conduce la sincronizare cu un coeficient de corelare apropiat de unitate.

Concluzii. În această lucrare a fost cercetată dinamica laserelor semiconductoare cu puncte cuantice sub influența feedback-ului optic provenit de la cavități multiple. Pentru aceasta au fost utilizate ecuațiile Lang – Kobayashi. Prezența mai multor secțiuni are ca rezultat o complexitate mai mare a oscilațiilor sistemului. Un avantaj al sistemului propus în comparație cu cel al feedback-ului optic convențional, este faptul că comportamentul haotic are loc pentru valori mici ale lungimilor cavităților, ceea ce face ca dispozitivul să fie mai compact. Pe de altă parte, în anumite condiții, două astfel de sisteme laser pot fi sincronizate atunci când operează în configurație emitor - receptor haotic. Autorii aduc mulțumiri suportului financiar din cadrul proiectelor STCU -5993 și 34/Ș.

Referințe bibliografice:

1. Krauskopf, B., Lenstra, D. (Eds.): Fundamental Issues of Nonlinear Laser Dynamics. AIP Conference Proceedings. 548 (2000)
2. Argyris, A., et al, Chaos based communications at high bit rates using commercial fibre-optic links. Nature 438, 343-346 (2005)
3. Mirasso, C. R., Colet, P., Garcia-Fernandez, P.: Synchronization of Chaotic Semiconductor Lasers. Application to Encoded Communications, IEEE Photon. Technol. Lett. 8, 299-301 (1996)
4. Annovazzi-Lodi, V., Donati, S., Scire, A.: Synchronization of chaotic injected-laser systems and its application to optical cryptography. IEEE J. Quantum Electron., 32, 953-959 (1996)
5. Sivaprakasam, S., Shore, K. A.: Demonstration of optical synchronization of chaotic external-cavity laser diodes. Opt. Lett., 24, 466-468 (1999)
6. Fischer, I., Liu, Y., Davis, P.: Synchronization of chaotic semiconductor laser dynamics on subnanosecond timescales and its potential for chaos communication. Phys. Rev. A, 62, 011801(1) (2000)
7. Bogris, A., et al, Performance characterization of a closed-loop chaotic communications system including fiber transmission in dispersion shifted filters. IEEE J. Quantum Electron., 40, 1326-1336 (2004)
8. Tang, S., Liu, J. M. Message encoding-decoding at 2.5 Gbits/s through synchronization of chaotic pulsing semiconductor lasers. Opt. Lett., 26, 596-598 (2001)
9. Tronciu, V. Z., et al, Chaos generation and synchronization using an integrated source with an airgap. IEEE J. Quantum Electron., 46, 1840 - 1846 (2010)
10. Tronciu, V. Z., Mirasso, C., Colet, P.: Chaos-based communications using semiconductor lasers subject to feedback from an integrated double cavity. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 41.155401 (2008)
11. Lang, R., Kobayashi, K.: External optical feedback effects on semiconductor injection laser properties. IEEE J. Quantum Electron., 347 - 355 (1980)