

INVESTIGAȚII DE CODIFICAREA SI TRANSMITEREA MESAJULUI CU FOLOSIREA METODEI OOPSK

Veronica DOBROVOLSCHI^{1,2}

¹Departamentul Fizica, Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

²Facultatea de Medicina, Catedra de fiziologie a omului și biofizica, Universitatea de Stat de Medicina și Farmacie „Nicolae Testemitanu”, Chisinau, Republica Moldova

Autorul corespondent: Dobrovolschi Veronica, veronica.dobrovolschi@fiz.utm.md

Rezumat. În această lucrare sunt prezentate rezultatele teoretice privind dinamica laserului semiconductor unimod sub influența feedback-ului optic multiplu. Este arătat că în anumite condiții sistemul evoluează către un comportament haotic apropiat celui bazat pe comunicarea optică. Au fost stabilite condițiile de codificare a mesajului utilizând metoda de criptare conectat/deconectat prin schimbare de fază (OOPSK).

Cuvinte cheie: laser cu semiconductoare, OOPSK, feedback optic, schema bloc.

Introducere

În ultimii ani au fost raportate investigații referitor la diferite configurații (scheme) pentru transmisia haotică de date [1-3]. Din punct de vedere al aplicabilității, comunicațiile bazate pe haos au devenit o opțiune de îmbunătățire a confidențialității și securității în transmiterea datelor, mai ales după recenta demonstrație pe rețelele metropolitane de fibră optică din Atena [4]. Una dintre cele mai atractive scheme din punct de vedere al securității este metoda de criptare conectat/deconectat prin schimbare de fază - on/off phase shift keying (OOPSK) [5] unde codificarea se realizează prin modularea ușoară a fazei feedback-ului optic al emițătorului. Baza fizică pentru OOPSK este că comportamentul de sincronizare al receptorului acționează ca un detector sensibil pentru variațiile fazei de feedback a transmițătorului: schimbările discrete adecvate fac ca dinamica receptorului să sară între stările sincronizate și desincronizate. Lucrarea este organizată după modul următor: în secțiunea 2, prezentăm configurația laserului și ecuațiile, în secțiunea 3, rezumăm modelul teoretic, discutăm variația parametrilor și influența asupra generării impulsurilor, rezultatele simulate numeric sunt prezentate în această secțiune și concluziile sunt prezentate în secțiunea 4.

Structura laserului și ecuațiile.

În Figura 1 este prezentată un model al instalației investigate, care este format dintr-un laser semiconductor cuplat la mai multe cavități. În acest model se ține cont doar de reflexia unică în fiecare cavitate.

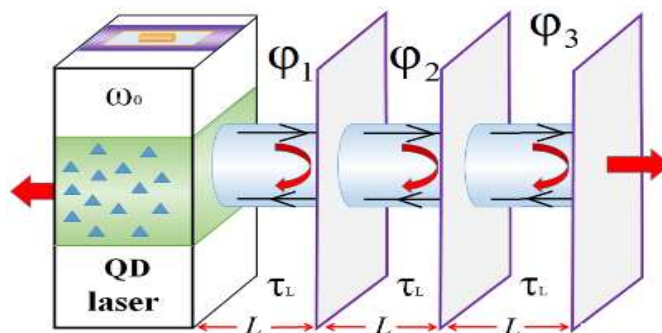


Figura 1. Schema bloc a unui sistem utilizat pentru sincronizarea haotică, codificarea și transmiterea mesajului cu folosirea laserelor semiconductoare. R_1 , R_2 și R_3 sînt respectiv coeficienții de reflexie a fațetelor. Lungimile cavităților externe sunt de 1 cm. ω_0 este frecvența proprie a laserului

Dinamica sistemului este analizată în limitele modelului extins Lang-Kobayashi [6] pentru amplitudinea complexă a câmpului E și densitatea purtătorilor de sarcină N .

$$\frac{dE_{t,r}}{dt} = (1+i\alpha) \left[\frac{g(N_{t,r} - N_0)}{1+s|E_{t,r}|^2} - \frac{1}{\tau_{ph}} \right] \frac{E_{t,r}}{2} + \gamma_1 e^{i\varphi_1} E_{t,r}(t-\tau_1) + \gamma_2 e^{i\varphi_2} E_{t,r}(t-\tau_2) + \gamma_3 e^{i\varphi_3} E_{t,r}(t-\tau_3) + k_r E_t \quad (1)$$

$$\frac{dN_{t,r}}{dt} = \frac{I_{t,r}}{e} - \frac{1}{\tau_e} N_{t,r} - \frac{g(N_{t,r} - N_0)}{1+s|E_{t,r}|^2} |E_{t,r}|^2. \quad (2)$$

Indicele t și r se referă la emițătorul și respectiv receptorul laserului. Termenul E_t din ecuația (1) este pentru laserul emițător și descrie cuplarea într-o singură direcție a laserelor. Parametrul $\kappa_r = \sqrt{1-R}\eta_{ext}/(\tau_c\sqrt{R})$ ne descrie intensitatea câmpului injectat în laserul secundar unde R este coeficientul reflexiei fațetei laserului secundar ($R = 30\%$), τ_c este timpul de circulație al câmpului în laser avind valoarea de 10 ps, η_{ext} include pierderile cu excepția celor introduse de fațetele laserului ($\eta_{ext} = 0.5$) ce rezulta în parametrul de cuplaj $\kappa = 75 \text{ ns}^{-1}$. τ_1, τ_2, τ_3 sunt timpi de intirziere. γ_1, γ_2 și γ_3 sânt respectiv intensitatea feedback-ului care sunt dirijate de coeficientii de reflexie ai oglinzilor. φ_1, φ_2 și φ_3 sânt fazele acumulate în cavități care în cazul absenței pierderilor pot lua valori între 0 și 2π . Alți parametri au următoarele valori: factorul Henry $\alpha = 5$; coeficientul amplificării diferențiale $g = 3.55 \cdot 10^{-8} \text{ ps}^{-1}$, $s = 4 \cdot 10^{-7}$ este coeficientul de saturație a amplificării. $\tau_{ph} = 3 \text{ ps}$ este timpul de viață al fotonilor, $\tau_e = 1.85 \text{ ps}$ timpul purtătorilor de sarcină și $N_0 = 1.1 \cdot 10^8$ este numărul de purtători la transparență.

Acești parametri, care sunt considerați identici pentru ambele lasere, a emițătorului și receptorului, sunt utilizați pentru rezultatele calculate în formulele de mai sus. Curentul de injecție este fixat la ($I = 25 \text{ mA}$ ($I_{th} = 10.5 \text{ mA}$)).

Rezultatele calculului numeric. Discuții.

În ceea ce urmează vom raporta rezultate numerice având la bază ecuațiile (1) și (2). În Figura 2 este ilustrată evoluția în timp (partea stângă) și spectrul de putere (partea dreaptă) a laserului semiconductor sub influența feedback-ului multiplu în regim haotic.

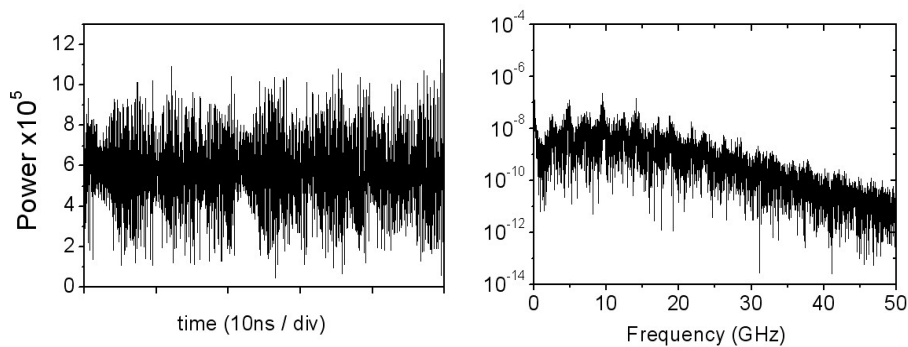


Figura 2. Evoluția în timp a puterii emergente (partea stângă) și spectrul optic de putere (partea dreaptă) a laserului semiconductor sub influența feedback multiplu pentru parametrii: $\gamma_1 = 10 \text{ ns}^{-1}$,

$$\gamma_2 = 10 \text{ ns}^{-1}, \gamma_3 = 20 \text{ ns}^{-1}, \varphi_1 = -\pi/2, \varphi_2 = -\pi/2, \varphi_3 = \pi.$$

Se poate observa că feedbackul multiplu face ca comportamentul laserului să fie mai complex în comparație cu cel raportat în laser convențional cu o singură oglindă plasată la fațeta laserului din spate. Acest fapt este confirmat și de calculele timpului de autocorelație. Aceste calcule conduc la valorile $T_c^{DCF} \approx 0.035 \text{ ns}$.

În continuare considerăm influența neidentității dintre valorile fazei φ_{3m} pentru laserul principal al emițătorului și cel secundar φ_{3s} al receptorului asupra valorii coeficientului de corelație reciprocă. Figura 3 expune valorile acestui coeficient în planul $(\varphi_{3m} - \varphi_{3s})$ pentru intensitățile reacției inverse $\gamma_1 = 15ns^{-1}$, $\gamma_2 = 10ns^{-1}$, $\gamma_3 = 15ns^{-1}$ și coeficientul de cuplaj $\kappa_r = 75ns^{-1}$. Ceilalți parametri sânt păstrați identici atât pentru laserul principal, cât și pentru cel secundar. Observăm că regiunea valorilor mari ale coeficientului de corelație corespunde valorilor egale ale fazelor, adică $\varphi_{3m} = \varphi_{3s}$. Coeficientul de corelație degradează când fazele diferă una de alta.

Punctele A și B în Fig.3 corespund punctelor de operare care le vom considera ulterior pentru codarea și decodarea mesajului în metoda OOPSK. Punctul A este ales astfel ca coeficientul de corelație să fie maxim, iar punctul B, corespunde stării cu coeficientul de corelație mic.

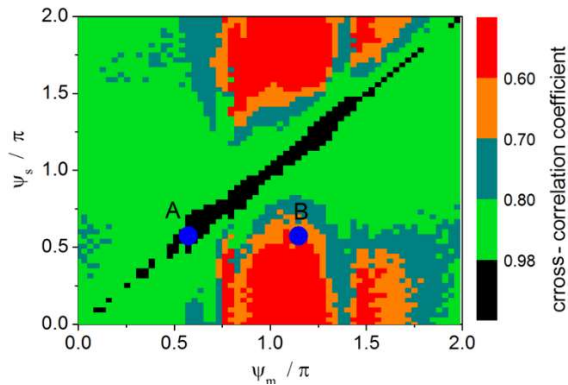


Figura 3. Descrierea este in text

În metoda OOPSK mesajul este codificat variind faza reacției inverse a laserului principal fără a introduce schimbări esențiale în evoluția în timp a puterii emergente și în spectrul de putere sau optic. În cazul acesta laserul secundar, faza căruia este menținută constantă, acționează ca detector al calității sincronizării. Când fazele reacției inverse ale emițătorului și receptorului coincid, coeficientul de corelație dintre puterile emergente ale ambelor sisteme este mare, iar când fazele au valori diferite, el devine mici. Figura 4 descrie procesul de criptare OOPSK a mesajului 0,25 Gbit/s. În panelul de sus este afișat mesajul ce trebuie codat.

Figura 4.b arată procesul de codificare al unui mesaj digital de 0.25 Gb/s prin metoda OOPSK. Figura 4.a expune mesajul ce trebuie codat. Figura 4.b prezintă eroarea de sincronizare când faza receptorului variază de la 0.75 rad (bitul “0”) la 0 (bitul “1”), adică de la punctul A spre punctul B din Figura 3. Figura 4.c demonstrează că mesajul poate fi cu succes recuperat după un proces standard de filtrare.

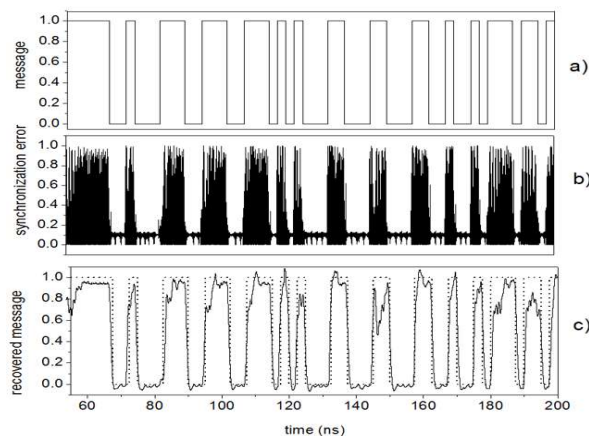


Figura 4. Metoda de codificare si decodare a unui mesaj digital de 0.25 Gb/s.

- a) Mesajul care trebuie codificat;
- b) mesajul decodat ce este reprezentat de eroarea sincronizării;
- c) mesajul decodat si recuperat dupa procesul de filtrare

Concluzii

În această lucrare am studiat dinamica laserelor semiconductoare sub influența mai multor feedback-uri optice. Rezultatele prezentate în această lucrare arată că, două astfel de sisteme laser în anumite condiții pot fi sincronizate când ele operează în regim haotic în configurația emițător-receptor. Analizând schema bloc a unui sistem utilizat pentru sincronizarea haotică, codificarea și transmiterea mesajului cu folosirea laserelor semiconductoare am obținut rezultate care sunt descrise în figura 4. În metoda OOPSK descrisă în această lucrare, mesajul este codificat variind faza reacției inverse a laserului principal fără a se introduce schimbări esențiale în evoluția în timp a puterii emergente și în spectrul de putere sau optic. În cazul acesta laserul secundar, faza căruia este menținută constantă, acționează ca detector al calității sincronizării. Când fazele reacției inverse ale emițătorului și receptorului coincid coeficientul de corelație dintre puterile emergente ale ambelor sisteme este mare, iar când fazele au valori diferite, el devine mic. În cele din urmă, metoda de criptare OOPSK poate fi aplicată cu succes la o rată de sute de Mbit/s.

Mulțumiri. Această lucrare a fost susținută financiar de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltarea Moldovei în cadrul proiectului 20.80009.5007.08 „Studiul structurilor optoelectronice și a dispozitivelor termoelectrice cu eficiență înaltă”.

Referințe

1. Donati, S., Mirasso, C.R.; See feature section on optical chaos and applications to cryptography, *IEEE, J. Quantum Electron.* 38 (9) 2002.
2. Larger, L., Goedgebeuer, J.-P. Special number on “Cryptography using Optical chaos” *Comptes Rendus de l’Academie des Sciences-Dossier de Physique* N. 5, 2004.
3. Sanchez-Diaz A., Mirasso C.R., Colet P. and Garcia-Fernandez P. *IEEE J. Quantum Electron.*, 35, (1999) 292.
4. Argyris, A., Syvridis, D., Larger, L., Annovazzi-Lodi, V., et al; *Nature* 438, p.343, 2005.
5. Tronciu V. Z., Ermakov, I. V., Colet, P. and Mirasso, C. R., “Chaotic dynamics of a semiconductor laser with double cavity feedback: Applications to phase shift keying modulation” *Opt. Commun.* 281(18), p. 4747–4752, 2008.
6. Lang, R., and Kobayashi, K. “External Optical Feedback Effects on Semiconductor Injection Laser Properties,” *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 16, No. 3, 1980, pp. 347-355.
[doi:10.1109/JQE.1980.1070479](https://doi.org/10.1109/JQE.1980.1070479).