

УДК 530.182:53.087.45

Курський Ю.С.¹, Гнатенко О.С.², Гнібеда А.О.³

¹ проф. каф. ФОЕТ Харківського національного університету
радіоелектроніки

² зав.каф. ФОЕТ Харківського національного університету радіоелектроніки

³ асп. каф. ФОЕТ Харківського національного університету радіоелектроніки

ІНТЕРВАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ХАОТИЧНИХ РЕЖИМІВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ЗОНДУВАННЯ ПРОСТРУ

У галузі детектування об'єктів у просторі важливим завданням є дослідження параметрів як відбитого, так і зондувального лазерного випромінювання. Це завдання є критичним для розвитку та вдосконалення технологій, які використовуються для виявлення та аналізу оптичних

пристроїв. Лазерні оптоелектронні системи застосовуються для сканування навколишнього середовища з метою ідентифікації відбивних поверхонь.

В роботі пропонується нова модель для вивчення параметрів і динаміки лазерного випромінювання, яке розглядається як нелінійна динамічна система. Модель дозволяє здійснювати вимірювання фізичних величин за допомогою нелінійних метрологічних методів, таких як аналіз фрактальної вимірності та інші топологічні інструменти. Модель ґрунтується на припущенні, що виміряні величини можуть бути представлені інтервальними значеннями, що дозволяє здійснити перехід від стаціонарної до випадкової динаміки.

Модель включає експериментальну схему, яка окреслює різні етапи та процедури для оцінки результатів вимірювань. Ключовою особливістю цієї моделі є її системний підхід, що дозволяє ефективно досліджувати як стаціонарні, так і хаотичні режими динаміки лазерного випромінювання. Цей підхід дозволяє вимірювати інтервали параметрів у різних режимах, оцінювати їх стабільність і передбачати часові ряди на основі отриманих даних.

Класифікація динаміки системи виконується за допомогою методів фрактальної вимірності, що дозволяє здійснювати детальний аналіз поведінки лазерного випромінювання. Модель може бути застосована як для забезпечення стабільності параметрів лазерного випромінювання, так і для керування випадковим випромінюванням. Дослідження фокусується на імпульсному лазері, основними параметрами випромінювання якого є енергія імпульсу, тривалість імпульсу, частота повторення імпульсів, стабільність значень та спектральні характеристики.

Експериментальна установка, показана на рис. 1 [1-2], включає систему введення випромінювання, лазер, розгалужувачі променя, вимірювач енергії імпульсу, спектроаналізатор, блок вимірювання тривалості імпульсу, блок вимірювання частоти повторення імпульсів, а також систему керування, синхронізації та реєстрації даних. Ця установка надає комплексний підхід до вивчення параметрів лазерного випромінювання та дозволяє здійснювати детальний аналіз його характеристик за різних експериментальних умов.

Математичне описання динаміки лазерного випромінювання. У рамках цієї моделі нелінійна динаміка лазерного випромінювання описується за допомогою рівнянь, що враховують зміну параметрів лазерного випромінювання в часі. Математичне моделювання може бути виражене через рівняння:

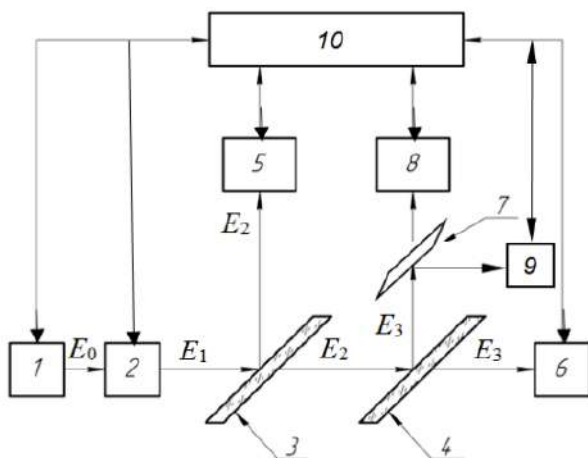
$$\frac{dE(t)}{dt} = -\gamma E(t) + \sigma f(E(t)), \quad (1)$$

де $E(t)$ — це електричне поле лазерного випромінювання в момент часу t , γ — коефіцієнт втрат, σ — коефіцієнт нелінійності, а $f(E(t))$ — нелінійна функція, що описує взаємодію між параметрами поля і змінами його інтенсивності.

Для більш детального опису випадкової динаміки, можна використовувати стохастичні рівняння, що включають випадкові коливання:

$$\frac{dE(t)}{dt} = -\gamma E(t) + \sigma f(E(t)) + \eta(t), \quad (2)$$

де $\eta(t)$ — це випадкова сила, яка описує шум чи випадкові флуктуації в системі, що виникають через різноманітні фізичні фактори, наприклад, через термічний шум чи інші випадкові процеси.



1 — система введення випромінювання; 2 — лазер; 3, 4, 7 — світлоподілюючі пластини; 5 — вимірювач енергії імпульсу; 6 — спектроаналізатор; 8 — блок вимірювання тривалості імпульсу; 9 — блок вимірювання частоти повторення імпульсів; 10 — система керування, синхронізації та реєстрації результатів вимірювань

Рисунок 1

Класифікація динаміки за допомогою фрактальної вимірності. Для класифікації динаміки лазерного випромінювання та вивчення її поведінки використовуються методи фрактальної вимірності, які дозволяють оцінити складність і самоподібність входних сигналів. Фрактальна вимірність D може бути оцінена за допомогою методу коробок (box-counting method):

$$N(\epsilon) \sim \epsilon^{-D}, \quad (3)$$

де $N(\epsilon)$ — кількість коробок розміру ϵ , необхідних для покриття фрактальної кривої, а D — фрактальна вимірність, що характеризує ступінь складності структури динаміки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kurskoy, Y.S., Hnatenko, O.S., Afanasieva, O.V. Precision Synchronization of Chaotic Optical Systems (2021) Journal of Nano- and Electronic Physics, 13 (4), pp. 1-5. DOI: 10.21272/jnep.13(4).04036
2. MacHekhin, Yu. P., Kurskoi, Yu. S. and Gnatenko, A. S., Physical and mathematical foundations of measurements in nonlinear dynamic systems. Telecommunications and Radio Engineering 77(18), 1631-1637 (2018).