

(

УДК 621.373.826

Гнатенко О.С.¹, Чаплигін В.С.².

¹ зав.каф.ФОЕТ Харківського національного університету радіоелектроніки

² асп. каф. ФОЕТ Харківського національного університету радіоелектроніки

ЛАЗЕРИ З КІЛЬЦЕВИМИ ОПТОВОЛОКОННИМИ РЕЗОНАТОРАМИ З МОДУЛЯЦІЙНИМ ЗАМИКАННЯМ

У телекомунікаціях зростає інтерес до розробки стабільних і надійних джерел випромінювання для третього вікна прозорості оптоволоконної передачі (близько 1550 нм), зокрема до лазерів на кільцевих резонаторах з пасивним модуляційним замиканням. Це вікно є критичним для систем щільного поділу довжин хвиль (DWDM), що працюють на основі частотної сітки Міжнародного союзу електрозв'язку (ITU). Оптичні волокна з додаванням ербію (EDFAs), що працюють на довжині хвилі 1550 нм, відіграють важливу роль у розвитку систем оптоволоконного зв'язку, оскільки забезпечують необхідне посилення для довгохвильових передач з мінімальними втратами.

Ці оптоволоконні лазери мають потенціал замінити багато існуючих напівпровідникових лазерів для передачі даних, що використовуються в

системах DWDM, завдяки своїй вищій стабільності, більшій потужності та ефективності. Однак, незважаючи на швидкий розвиток технології лазерів на кільцевих резонаторах, все ще існує потреба в компактних, надійних та економічно ефективних рішеннях, які могли б конкурувати з різноманітними доступними лазерними діодами.

Останні досягнення в технології лазерів на кільцевих оптоволоконних продемонстрували значне покращення їх характеристик, проте вони все ще стикаються з низкою проблем, таких як складність конструкції, висока вартість напівпровідникових насичувальних поглиначів (SSA) та відносно велика тривалість імпульсу (приблизно 200 фемтосекунд (фс)). Зокрема, тривалість імпульсу лазера є критично важливою для застосувань, що вимагають високої частотної стабільності та синхронізації.

Деякі лазери на кільцевих резонаторах, які використовують нелінійне обертання поляризації (NPR) для модуляційного замикання, є більш доступними та досягають коротших тривалостей імпульсу — близько 30 фс. Однак ці лазери все ще стикаються з проблемами, пов'язаними зі стабільністю та послідовністю модуляційного замикання з часом. Стабільність модуляційного замикання є важливою для підтримки постійної тривалості імпульсу та забезпечення того, щоб лазер продовжував працювати в замкнутому режимі протягом тривалого часу.

Для вирішення цих проблем ми пропонуємо схему лазера на кільцевому резонаторі, яка використовує поляризатори на рідких кристалах (РК) для модуляційного замикання, рис.1. Використання поляризаторів на рідких кристалах забезпечує подолання обмежень існуючих технологій. Пристрої на рідких кристалах дають можливість електронного керування поляризацією гнучким і точним способом.

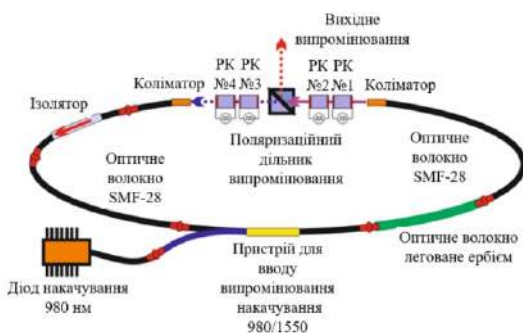


Рисунок 1

NPR ґрунтується на взаємодії між поляризацією електромагнітних хвиль і інтенсивністю випромінювання, де поляризаційний дільник

випромінювання (PBS) виступає як насичувальний поглинач, що стимулює генерацію лазерних імпульсів. Математично процес модуляційного замикання в NPR можна описати такою нелінійною взаємодією:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -\frac{\alpha}{2}(E - \beta P), \quad (1)$$

де E — це електричне поле електромагнітної хвилі, α — коефіцієнт втрат, а β — нелінійний коефіцієнт, що керує взаємодією між поляризацією та інтенсивністю випромінювання. P позначає потужність, а термін βP відображає інтенсивність залежну від обертання поляризації. Цей механізм є ключовим для досягнення пасивного модуляційного замикання.

Для ефективного модуляційного замикання необхідно контролювати поляризацію в нелінійному середовищі. Це можна досягти за допомогою поляризаторів або хвильових пластин, які обертаються для підтримки необхідного стану поляризації. Процес модуляційного замикання можна змодельовати як динамічну систему, в якій обертання поляризації періодично налаштовується для підтримки постійної тривалості імпульсу:

$$\theta = a \tan \left(\frac{E_x}{E_y} \right), \quad (2)$$

де θ — це кут поляризації, а E_x і E_y — компоненти електричного поля по відповідних осях. Точне обертання поляризації є критичним для стабільного модуляційного замикання і підтримки генерації лазерних імпульсів.

Альтернативні рішення та пропозиції. Хоча були запропоновані моторизовані обертачі поляризації як рішення для точного контролю над поляризаційним станом, механічні методи, такі як згинання волокна і п'єзоелектричні актуатори, також використовуються для контролю поляризації. Однак ці методи часто потребують тривалого налаштування та можуть призводити до зсуву характеристик роботи, що впливає на загальну стабільність і ефективність лазерної системи.

Ми пропонуємо використання поляризаторів на рідких кристалах (РК поляризатори) для більш ефективного та точного контролю над режимом NPR модуляційного замикання [1-2]. Електронне керування, яке забезпечують РК поляризатори, дозволяє швидко, точно і надійно налаштовувати поляризаційний стан. Цей механізм керування можна математично представити такою рівнянням:

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{V}{V_0}\right), \quad (3)$$

де P_0 — це початкова поляризація, V — прикладена напруга, а V_0 — порогова напруга для повної поляризації. РК поляризатори відомі своєю низьковольтною керуючою здатністю, швидким часом відгуку і довготривалою стабільною роботою, що може значно покращити загальні характеристики та надійність лазерів на кільцевих оптоволоконних резонаторах.

Інтеграція РК поляризаторів, при цьому вони можуть бути леговані наночастинками, в лазери на кільцевих оптоволоконних резонаторах відкриває перспективний шлях до створення стабільних, компактних та економічно ефективних лазерів з модуляційним замиканням для телекомунікаційних систем. Можливість електронного керування поляризаційними станами в реальному часі забезпечує кращу стабільність і коротші тривалості імпульсів, що дозволяє задовольнити вимоги сучасних DWDM систем. Запропоноване в роботі рішення дає можливість покращити характеристики оптоволоконних лазерів та стати альтернативою більш складним і дорогим технологіям, які використовуються на сьогодні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. S. Gnatenko, Yu. P. Machekhin, Yu. S. Kurskoy, V. P. Obozna Providing mode locking in fiber ring lasers . J. Nano- Electron. Phys. 10 No 2, 02033 (2018). DOI: 10.21272/jnep.10(2).02033.
2. A. S. Gnatenko, Yu. P. Machekhin, Yu. S. Kurskoy, V. P. Obozna, A. V. Vasianovych . Ring fiber lasers for telecommunication systems. Telecommunications and Radio Engineering. - Vol.77, No6. - P. 541-548. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i6.60