

СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЧАСТОТИ ДІОДНОГО ЛАЗЕРА

© Парамуд Я.С., Стащак Р.В., 2012

Розглянуто особливості та способи стабілізації частоти діодних лазерів. Визначено основні фактори нестабільності частоти діодних лазерів. Запропоновано використовувати систему стабілізації методом цифрової фіксації частоти зі зсувом. Розроблено програмну та апаратну модель системи. Експериментальні дослідження підтвердили високу ефективність запропонованих засобів.

Ключові слова: система стабілізації, частота, діодний лазер, фазове автопідстроювання частоти, цифровий контролер, зсув частоти.

Considered the basic aspects of diode lasers and the possibility of stabilization of their frequency. Described the main factors of instability frequency diode lasers. Proposed to use the method of digital stabilization system fixation offset. Developed a hardware and software system model. Experimental studies have confirmed the high efficiency of the funds.

Key words: system of stabilization, frequency, diode laser, Phase-Locked Loop (PLL), digital controller, frequency shift.

Вступ

У лазерній техніці за останні десятиліття відзначено суттєвий прогрес. Сьогодні важко уявити такі галузі, як комп'ютерні технології, фізика, хімія, біологія, медицина і обробка матеріалів, без лазерної техніки з різними довжинами хвилі, широким спектром функціональних можливостей, а також з високою потужністю випромінювання. Перспективним напрямом розвитку лазерної техніки є напівпровідникові чи діодні лазери, з великою оптичною потужністю, компактністю конструкції та довгим часом експлуатації [1]. Суттєвими перевагами діодних лазерів є проста технологія виготовлення, невисокі ціни. Проте, поряд з цими перевагами, порівняно з іншими типами лазерів, вони мають і недоліки, такі як високе розсіювання променя (особливо за великих потужностей), чутливість до різних факторів навколишнього середовища (температура, вібрації, шуми тощо), що погіршує вагому характеристику – нестабільність частоти. Це вимагає ґрунтовних досліджень для мінімізації недоліку. Для реалізації цієї задачі актуальні дослідження щодо покращення стабільності частоти діодних лазерів.

Аналіз літературних джерел

У наш час для стабілізації частоти діодних лазерів розроблено декілька методів та алгоритмів [2–4]. Серед найефективніших – стабілізація довжини оптичного резонатора, стабілізація лазера за допомогою модуляції лазерного струму, стабілізація за допомогою з'єднання за частотою та фазою зі стабілізованим газовим лазером. Проте ці методи мають істотний недолік, оскільки не враховують усіх факторів нестабільності. Наприклад, метод стабілізації лазера за допомогою модуляції лазерного струму не враховує того, що струмом можна забезпечити лише порівняно неточну стабілізацію частоти лазера, хоча діапазон регулювання при цьому досить широкий. Метод стабілізації довжини оптичного резонатора основний акцент робить на стабілізації температури. Однак модуляція п'єзоелемента лазера за струмом чи напругою не використовується [2]. Ще однією проблемою є недосконалість конструкції лазера, через яку можлива нестабільність частоти. Наприклад, вібрації, деформації внутрішніх елементів, дифракційної ґратки з п'єзоелементом, елементів допоміжної оптики (дзеркальні лінзи). Наведені фактори дають підстави для висновку щодо неповної ефективності описаних методів, що вимагає їх доопрацювання та покращення. Тому дослідження щодо підвищення ефективності засобів стабілізації частоти діодних лазерів є актуальними.

Постановка задачі

Реалізувати та дослідити засоби ефективної стабілізації частоти діодного лазера.

Виклад основного матеріалу дослідження

Основним напрямом досліджень вибрано пошук універсальних засобів стабілізації частоти діодного лазера із використанням сучасних комп'ютерних технологій та врахуванням особливостей, які не враховано у вищенаведених рішеннях. Вимірювання та дослідження, проведені для визначення факторів нестабільності частоти діодних лазерів, показали, що найбільше впливає температура навколишнього середовища. Тому доцільно передовсім вживати заходів для температурної стабілізації навколишнього середовища лазера. Вимірювання за стабілізованої температури навколишнього середовища показали, що регулювати частоту найдоцільніше напругою п'єзоелемента дифракційної ґратки. Саме ця напруга забезпечує високу точність та достатньо широкий діапазон корекції частоти діодного лазера.

Згідно з принципом роботи діодних лазерів, головним процесом для їх функціонування є вимушена емісія (випромінювання), яка проходить в так званому оптичному резонаторі. Змінюючи довжину цього резонатора, можна змінювати і довжину хвилі лазера, а отже, і частоту. Зовнішні впливи, серед яких найсуттєвішим є температура, змінюють довжину резонатора і тому частота лазера змінюється.

Для стабілізації частоти розроблено систему, яка «фіксує» частоту діодного лазера з певним зсувом щодо частоти опорного лазера. Структурну схему такої системи наведено на рис. 1. Вона складається з двох лазерів: основного та опорного, оптичного розділювача, фотодетектора, який, своєю чергою, під'єднаний до цифрового контролера. До цифрового контролера додатково підключено опорний генератор частоти. Цифровий контролер під'єднаний до інтегратора, вихідний сигнал якого подається до контролера діодного лазера. Саме через нього і здійснюється регулювання частотою лазера (рис. 1). Ця система являє собою замкнену систему комп'ютеризованого керування зі зворотним зв'язком.

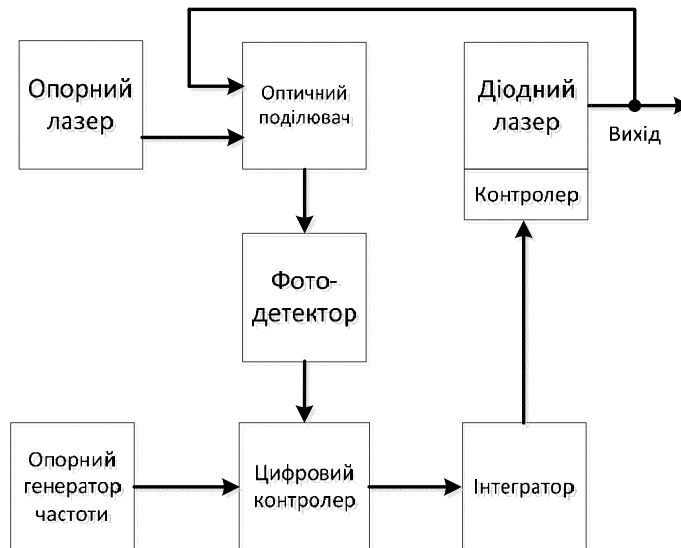


Рис. 1. Структурна схема системи стабілізації частоти діодного лазера

Перед реалізацією проведено моделювання стійкості системи керування з використанням критерію фазового запасу (резерву) стійкості (Phase margin) на основі діаграм Боде, який є частковим випадком критерію Найквіста. Фазовий запас – це відстань до фазового рівня -180° при так званій «частоті перерізу». «Частота перерізу» – це частота, що відповідає рівню 0 дБ амплітудно-частотної характеристики (АЧХ). Відповідно до використаного критерію замкнута система керування буде стійкою, якщо зсув фаз ϕ , що відстає, вихідного сигналу до вхідного

розімкненої системи при АЧХ = 0 дБ не перевищує рівня мінус 180° ($\varphi > -180^\circ$). Що більший запас за фазою, то більший запас стійкості системи керування [3]. Результати моделювання засобами MATLAB (рис. 2) показали, що система керування має достатній запас стійкості. Якщо АЧХ = 0 дБ, фазовий рівень не перевищує мінус 180°. Отже, результати моделювання підтвердили можливість практичної реалізації наведеної системи керування.

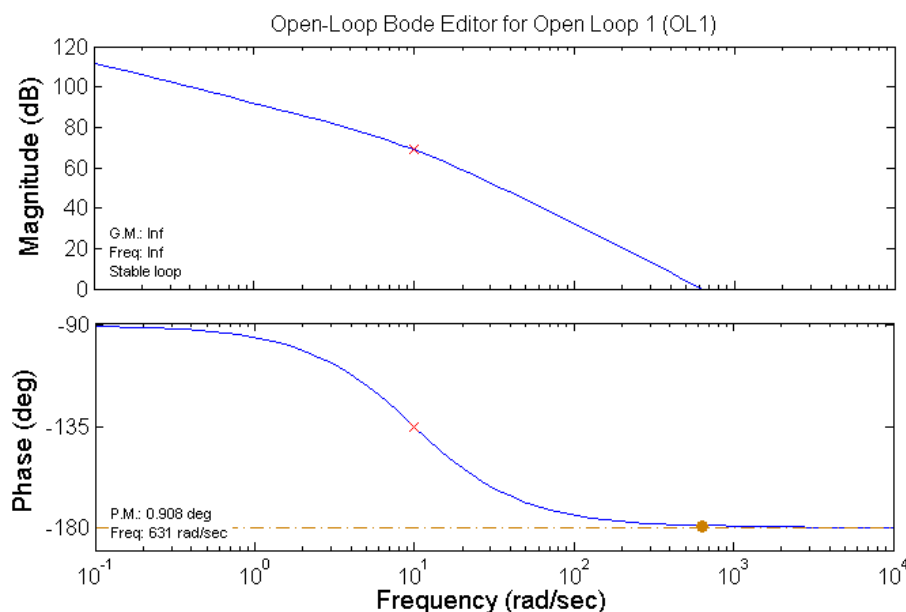


Рис. 2. Результати моделювання стійкості системи стабілізації частоти

Для дослідження запропоновану систему реалізовано так. Застосовано He-Ne лазер фірми SIOS [5] як опорний і діодний (основний) лазер фірми Sacher LYNX TEC100 [6]. Фотодетектор з межею детектування – до 1 ГГц. Цифровий контролер реалізований із використанням комп'ютеризованого підлаштування частоти (Phase-Locked Loop – PLL) фірми Analog Devices ADF4111 [7, 8] з частотним діапазоном до 1.2 ГГц. Робочий діапазон (зсув частоти) для такої системи обмежується робочими параметрами фотодетектора, тобто 1 ГГц. Інтегратор реалізовує узгодження сигналу між цифровим контролером та діодним лазером. Додатково і паралельно з цією системою використовують засоби автоматичної стабілізації температури, що реалізовані за допомогою термостата FP50-HL фірми Julabo.

Стабілізація відбувається так: з двох лазерів виходять промені приблизно однакової частоти (близько 473 ТГц), які за допомогою поляризаційного фільтра та оптичного подільвача випромінювання (beam splitter) накладаються і на вході фотодетектора формується так званий сигнал «биття», який відповідає різниці (зсуву) частоти між опорним та основним лазерами. Із фотодетектора електричний сигнал з частотою, пропорційною до різниці частот лазерів, надходить до цифрового контролера. Насамперед сигнал попадає на один із двох входів фазово-частотного детектора цифрового контролера, а на другий вхід приходить сигнал частоти з опорного генератора. Саме ця опорна частота визначає необхідний чи бажаний зсув частоти, на якому буде фіксуватися частота діодного лазера відносно опорного. В PLL схемі передбачено ряд програмованих подільників частоти, які ділять частоту до допустимих показників. Фазово-частотний детектор формує сигнал помилки, який пропорційний до різниці частот опорного й основного лазерів, оцифровує цей сигнал. Цифровий контролер формує сигнал корекції, що надходить на вхід цифро-аналогового перетворювача, на виході якого отримуємо струмовий електричний сигнал. Для згладжування струмового сигналу регулювання та його перетворення на напругу використовується інтегратор, який фактично є фільтром низьких частот та операційним підсилювачем. Після згладжування та перетворення напруга регулювання подається на порт модуляції п'єзоелемента контролера діодного лазера. Саме через цей порт здійснюється корекція помилки, чи так зване підстроювання частоти діодного лазера до частоти опорного лазера.

Проведено експериментальні дослідження щодо тестування ефективності запропонованої системи стабілізації частоти. Дослідження проведено при зсуві частоти в 250 МГц у таких двох режимах:

1) за умов мінімізації впливу завад; 2) за дії завад.

Результати експериментальних досліджень наведено на рис.3.

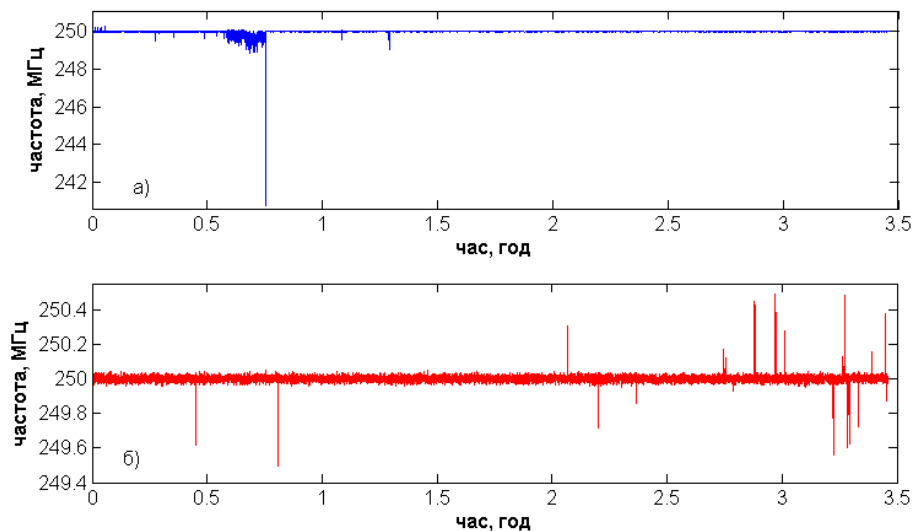


Рис. 3. Результати досліджень системи стабілізації частоти діодного лазера: за умов максимального спокою системи (а) та у разі дії завад (б)

Часова діаграма рис. 3, а відповідає режимові за умов мінімізації впливу завад. Вихідна частота діодного лазера залишалася стабільною впродовж 3,5 год з одним непередбачуваним короткотривалим відхиленням на 9 МГц через 0,75 год після початку випробування. Це відхилення могло бути пов'язане з короткотривалою дією зовнішніх факторів (вітер, шум, вібрація). Часова діаграма рис. 3, б відповідає режимові у разі дії завад. Вихідна частота залишалася стабільною впродовж 3,5 год, проте помітна більша кількість відхилень частоти до 1 МГц.

Середньостатистичними є такі параметри стабільності функціонування системи:

1) за умов мінімізації впливу завад:

- середнє значення частоти – 250,0001 МГц;
- середнє відхилення (похибка) – 0,0197 МГц;
- відносна стабільність частоти діодного лазера – $4,2 \cdot 10^{-11}$;

2) за умов дії завад:

- середнє значення частоти – 249,9849 МГц;
- середнє відхилення (похибка) – 0,1169 МГц;
- відносна стабільність частоти діодного лазера – $2,5 \cdot 10^{-10}$.

Результати експериментальних досліджень підтвердили можливість отримання високих показників стабілізації частоти діодного лазера з використанням запропонованих підходів та рішень.

Висновки

Проаналізовано методи та способи стабілізації частоти діодних лазерів. Для розв'язання задачі стабілізації запропоноване структурне рішення системи із використанням опорного лазера та комп'ютеризованих засобів автопідстроювання частоти. Досліджено, що застосування комп'ютеризованих засобів забезпечує покращення стабілізації частоти діодного лазера. Запропонований підхід перевірено експериментально. Результати експериментальних досліджень показали високу ефективність стабілізації. Запропоновані підходи та рішення можуть знайти промислове застосування у разі додаткових експериментальних досліджень на інших типах діодних лазерів.

1. Florian Wetzel. Die Funktionsweise von Laserdioden und dessen Anwendung (exemplarisch). Facharbeit für den Physik-Leistungskurs, 2003. 2. Dahmani B., Hollberg L., and Drullinger R. Frequency

stabilization of semiconductor lasers by resonant optical feedback. *Optics Letters*, 12(11):876-878, 1987.
3. http://www.rn-wissen.de/index.php/Regelungstechnik#Dimensionierung_mit_dem_Bodediagramm.
4. Schünemann U., Engler H., Grimm R., Weidemüller M., Zielonkowski M. Simple scheme for tunable frequency offset locking of two lasers. *Rev. Sci. Instrum*, 1999. 5. SIOS Messtechnik GmbH, Germany, User Manual Stabilized HeNe Laser SL 03-Series, 2010. 6. Sacher Lasertechnik GmbH, Germany, User Manual LYNXTM Series [Datenblatt]. Maburg: Sacher Lasertechnik GmbH, Germany, 2005. 7. http://www.ictradenet.com/EVAL-ADF411X_EB1 8. Best R.E. *Phase-Locked Loops, Design, Simulation & Applications*. McGraw-Hill, 3rd edition, 1997.

УДК 681.3, 621.3

І.І. Пастернак

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

МОДУЛЬНИЙ ІНТЕРФЕЙС КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

© Пастернак І.І., 2012

Запропоновано варіант взаємодії клієнта з сервером через модульний інтерфейс в глобальній мережі.

Ключові слова: модульний інтерфейс, клієнт, сервер, клієнт-серверна взаємодія.

The variant of the interaction of the client to the server through a modular interface in the global network.

Key words: modular interface, client, server, client-server interaction.

Вступ

Практично всі сервіси мережі Інтернет побудовані на технології клієнт-сервер. Для роботи цієї технології в мережі необхідно:

- 1) фізично приєднати комп'ютер до одного з вузлів мережі Інтернет;
- 2) одержати IP-адресу на постійній або тимчасовій основі;
- 3) встановити та налаштувати апаратне і програмне забезпечення.

Доступ до мережі користувачі отримують через провайдера [1, 2]. ISP (Internet service provider, постачальник послуг Інтернет) – забезпечує персональний доступ у мережу Інтернет, доставку та збереження електронної пошти (e-mail), а також надання інструкцій щодо налаштування системи. Як правило, користувачі навчальних закладів, великих організацій, фірм, підприємств приєднуються до мережі Інтернет через свою локальну мережу. Один з комп'ютерів локальної мережі виконує функції проксісервера (англ. проху – представник, довірена особа), а саме управління локальною мережею та підтримки зв'язку між комп'ютерами користувачів та мережею Інтернет. У технічному плані для приєднання до комп'ютера провайдера потрібні ПК, відповідне програмне забезпечення і модем – пристрій, що перетворює цифрові сигнали від комп'ютера на сигнали для передачі телефонними каналами зв'язку і навпаки. Комп'ютер провайдера може виконувати функції хосту або звертатися до потужніших хостів, щоб отримати доступ до глобальних ресурсів мережі Інтернет, через канал передачі даних з високою пропускну здатністю – магістраль. Крім функцій мережі, хост може виконувати завдання користувача (програми, обчислення). Деякі хости можуть виконувати функції шлюзів. Роль шлюза між мережею Інтернету і локальними мережами відіграє проксісервер. Доступ до Інтернету буває двох видів:

1. On-line – доступ до будь-яких ресурсів мережі в режимі реального часу.
2. Off-line – доступ відбувається лише з метою приймання або передавання даних, а обробка інформації здійснюється на локальному комп'ютері.