



Findings

Based on practical experience in the operation of ship's electrical systems, let's give examples of the specific use of the above devices. In particular, the energy meters EEM-MA600 (Phoenix Contact) were installed in online data acquisition system (DAQ Vector) to control parameters of all generator plants on board of motor vessel (bulk carrier, 2016 year build (Japan), deadweight 82000mt). Chosen due to higher supply voltage (no need to install additional transformer), high level of electrical isolation and high accuracy class of measurements. The multi-instrument MIC (DEIF) used in power control board of Ballast Water Treatment System (TechCross) to control output energy loads from all electrolyzing units on board of motor vessels (bulk carriers, 2016 year build (China), deadweight 82000mt). Chosen due to RS485 interface that supports data exchange with a control system. The network analyzer M2M (ABB) commonly used in different kind of control boards of vessel machineries such as auxiliary composite boilers, steering gears, fuel and oil purifiers, etc. Due to smaller installation size and alarm outputs.

It should be noted that despite the successful introduction of digital integrated electrical metering devices, analog devices still do not lose their relevance. In particular, for local reading data that do not require further transmission of data to the remote control network, replacing all devices with digital analogues is not necessary.

References

- [1] User manual for energy meter for single, two and three-phase networks UM EN EEM-MA600, published by PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG Flachmarktstraße 8, 32825 Bloomberg Deutschland. www.phoenixcontact.com
- [2] Assembly and use instructions for network analyzer M2M (2CSG299883R4052), published by ABB SACE A division of ABB S.p.A. Vialledell'Industria 18, 20010 Vittuone (MI). www.abb.com
- [3] Installation instructions and reference handbook for multi-instrument MIC (4189320009H), published by DEIF A/S, Frisenborgvej 33, DK-7800 Skive, Denmark. The serial interface manual, the data sheet and the free utility software. www.deif.com

УДК 658.5

СТАН РОЗВИТКУ ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ DFB ЛАЗЕРІВ

Похлєбіна Н.О.¹, Мазур О.В.², Kovalchuk D.³

Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

ORCID: ¹ <https://orcid.org/0000-0002-9789-608X>, ² <https://orcid.org/0000-0001-7104-9010>,

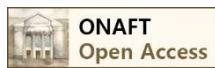
³ <https://orcid.org/0000-0003-0549-5244>

E-mail: ¹ pohlebina.odessa@gmail.com, ² mazur.a.v.ua@gmail.com, ³ radiolomaster@gmail.com

Copyright © 2020 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i2.1807>

Анотація. Робота присвячена дослідженню напівпровідникових лазерів, їх функціонуванню, формалізації процесу як об'єкту керування. Розглянуті системи автоматичного керування напівпровідниковими лазерними діодами з розподіленим зворотнім зв'язком, зокрема одночастотні DFB- (англ. Distributed feedback laser «з розподіленим зворотнім зв'язком») лазерні діоди, які використовуються, як в якості високостабільних джерел оптичного сигналу у системах передачі даних так і джерел випромінювання із змінною довжиною хвилі випромінювання. Приведені основні відомості про лазерні діоди, їх характеристики та класифікація за фізичним станом. Розглянуті питання використання DFB-лазерів в якості джерела когерентного електромагнітного випромінювання зі змінною довжиною хвилі випромінювання. Представлена структурна схема типового напівпровідникового лазерного DFB-модуля, з взаємозв'язками між його основними компонентами. Проведена параметризація процесу формування лазерного випромінювання до рівня параметричної схеми. Представлена параметрична схема процесу як об'єкту керування та структурна схема моделі процесу. Проведено аналіз структурної організації існуючих систем автоматичного



керування. Розглянуті принципи побудови існуючих систем автоматичного керування, які використовуються для формування когерентного електромагнітного випромінювання в системах передачі даних за технологією оптичного мультиплексування CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) та DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Виявлено основні недоліки та розглянуті можливі рішення для удосконалення структури і функцій систем автоматичного керування процесом. Представлені структурні схеми перспективних систем автоматичного керування побудованих за принципами інваріантності та автономності.

Abstract. The work is sanctified to research of semiconductor lasers, their functioning, formalization of the process as an object of control. The systems of automatic control are considered by semiconductor laser diodes with distributed feedback are considered, in particular single-frequency DFB (Distributed feedback laser) laser diodes, which are used both as highly stable sources of optical signal in data transmission systems and radiation sources with variable wavelengths. The basic information about laser diodes, their characteristics and classification by physical condition is given. The issues of using DFB lasers as a source of coherent electromagnetic radiation with a variable wavelength of radiation are considered. The block diagram of a typical semiconductor laser DFB module is presented, with interrelations between its main components. The parameterization of the process of laser radiation formation to the level of the parametric circuit is carried out. The parametric scheme of the process as a control object and the block diagram of the process model are presented. The analysis of the structural organization of the existing automatic control systems is carried out. The principles of construction of existing automatic control systems, which are used for the formation of coherent electromagnetic radiation in data transmission systems by optical multiplexing technology CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) and DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) are considered. The main shortcomings are identified and possible solutions for improving the structure and functions of automatic process control systems are considered. Structural schemes of perspective automatic control systems built on the principles of invariance and autonomy are presented.

Ключові слова: лазерний DFB-модуль, напівпровідникові лазери, системи автоматичного керування.

Keywords: laser DFB-module, semiconductor lasers, automatic control systems.

Вступ

Різні типи лазерів, створені до теперішнього часу, мають широкий спектр фізичних і робочих характеристик. Якщо лазери класифікують за фізичним станом активної середовища, то їх називають твердо тільними, рідинними або газовими лазерами. До особливого типу відносять такі, в яких активне середовище складається з вільних електронів, що рухаються з релятивістськими швидкостями через просторово-періодичне магнітне поле (лазери на вільних електронах). Якщо лазери класифікують по довжині хвилі генерується випромінювання, то говорять про лазерах інфрачервоного (ІК), видимого, ультрафіолетового (УФ) або рентгенівського діапазонів. Відповідні довжини хвиль змінюються в межах від «1 мм (від області міліметрових хвиль) до» 1 нм (до верхньої межі жорсткого рентгенівського випромінювання). Розкид довжин хвиль може досягати, таким чином, 10⁶ (нагадаємо, що видимий діапазон відповідає менш ніж двохкратній зміні довжин хвиль - приблизно від 400 до 700 нм). Потужності випромінювання на виході лазерів перебивають ще більш широкий діапазон величин. У безперервних лазерів типові потужності становлять від декількох мВт - в лазерах, що використовуються як джерела оптичних сигналів, до декількох МВт («5 МВт до теперішнього часу) - в лазерах, необхідних для деяких військових застосувань (наприклад, в якості зброї спрямованої енергії). У імпульсних лазерів пікова потужність може бути набагато вище, ніж у безперервних, досягаючи таких гігантських величин, як тисячі ТВт (10¹⁵Вт)! Крім того, тривалість імпульсу лазерного випромінювання може змінюватися в широких межах - від декількох мс, типових для так званого режиму вільної генерації (без якого б то не було елементу для модуляції добротності або синхронізації мод), до порядку 10 фс (1 фс = 10⁻¹⁵), що типowo для деяких лазерів з синхронізацією мод. Сильно можуть змінюватися і геометричні розміри лазерів. У термінах довжини резонатора, наприклад, ця довжина може бути малою, ~ 1 мкм, - для найбільш коротких лазерів, і величезною, порядку декількох кілометрів, - для найбільш протяжних (лазерів для проведення геодезичних досліджень).

Широта діапазону фізичних або робочих характеристик лазерів є як перевагою, так і недоліком. Якщо говорити про застосування лазерів, то широкий спектр їх параметрів забезпечує величезний потенціал можливого використання в різних областях фундаментальних і прикладних досліджень[1].

В статті розглянуті напівпровідникові лазери як об'єкти керування, зокрема одно частотні лазерні діоди, що представляють собою модифікацію плоского резонатора Фабрі-Перо, до якого додана періодична просторова модуляційна структура налаштована на відповідну довжину хвилі. В DFB лазері (англ. Distributed feedback laser «лазер з розподіленим зворотним зв'язком»), вона поєднана з активною областю, а в DBR лазері (англ. Distributed Bragg Reflector Laser лазер з розподіленим бреггівськими відбивачем), вона винесена за межі активної області.

Напівпровідникові DFB-лазери з розподіленим зворотнім зв'язком на відміну від лазерів з інтерферометром Фабрі-Перо працюють в одночастотному режимі генерації. Їх зручно використовувати в якості джерела із зміною частотою випромінювання, оскільки вони мають помітну температурну залежність частоти (довжини хвилі) генерації. Коефіцієнт температурної залежності довжини хвилі випромінювання типового DFB-лазера становить 0.1 нм / оС. Виходячи з того, що діапазон робочих температур деяких лазерів досягає 100 – 120 оС можлива зміна довжини хвилі може досягати 10 нм.



Для збільшення діапазону перебудови використовуються повністю моноблочні інтегровані конструкції, що містять ґрати з декількох DFB-лазерів, об'єднаних в один блок. Так, блок з восьми паралельно розташованих DFB-лазерів і об'єднаних багатомодовим хвильовим об'єднувачем дозволяє забезпечити діапазон перебудови частоти до 60 нм.

DFB-лазери зазвичай використовуються для формування оптичних сигналів за технологією оптичного мультиплексування DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) при цьому ширина полоси випромінювання такого лазера може складати менше 1 нм і вимоги до стабільності довжини хвилі випромінювання такого лазера можуть бути менш ніж ± 1 нм. При використанні для аналітичних задач для таких систем, окрім жорстких вимог до довжини хвилі випромінювання додаються ще досить жорсткі вимоги по формуванню випромінювання заданої потужності. Таким чином проблема створення систем керування лазерним модулем з підвищеною динамічною точністю досить актуальна.

1. Схема лазерного DFB-модуля, метайого функціонування, змістовний опис

Метою функціонування лазерного модуля є генерація когерентного електромагнітного випромінювання з заданими спектральними характеристиками: центральною довжиною хвилі спектра випромінювання, шириною цього спектра та його потужністю.

В DFB-лазері, як і в будь-якому лазері напівпровідникового типу генерація випромінювання незмінно супроводжується небажаними теплоутворюючими процесами. Значна частина електричної енергії яка підводиться до лазера перетворюється в теплову енергію, що призводить до підвищення температури випромінювача, зміни довжини хвилі випромінювання та зменшення вихідної потужності лазера, тобто його ККД. Ця теплова енергія повинна відводитись у навколишнє середовище. Через погану теплопровідність напівпровідників для лазерних діодів потужністю понад 5 мВт пасивного відводу тепла недостатньо і для їх охолодження та підтримки температури на заданому рівні в складі лазерного модуля зазвичай використовуються термоелектричні перетворювачі на елементах Пельтьє (ТЕП), що відводять або підводять тепловий потік до лазерного діода в залежності від напрямку і величини струму, що протікає крізь ТЕП.

Основними параметрами ТЕП є робочий струм і напруга, а також холодопродуктивність яка вимірюється при стандартній різниці температур між його холодною та гарячою поверхнями 25°C . В такому режимі холодопродуктивність ТЕП складає, 55-60% споживаної електричної потужності.

Лазерний модуль зазвичай розташовується в металокерамічному герметичному корпусі, який забезпечує відвід тепла в навколишнє середовище. Окрім лазерного діода в ньому звичай розташовані наступні елементи модуля:

- контрольний фотодіод, який забезпечує вимірювання інтенсивності випромінювання лазерного діода;
- терморезистор, який дозволяє контролювати температуру лазерного діода;
- термоелектричний перетворювач на ефекті Пельтьє (ТЕП), який є виконавчим елементом схеми термостабілізації лазерного діода;
- теплопровід, який забезпечує відвід теплового потоку від лазерного діода.

Схема технічної структури лазерного модуля представлена на рисунку 1.

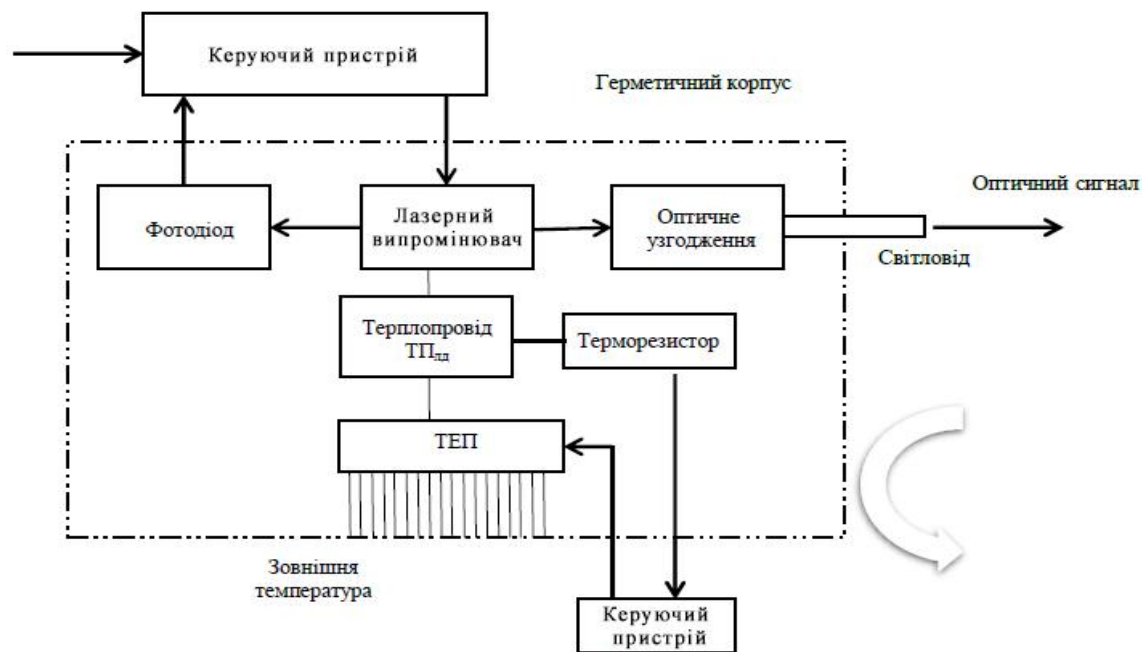


Рис. 1 – Схема технічної структури лазерного модуля



Потужність випромінювання лазерного діода пропорційна струму який протікає крізь нього (струму накачки). При струмі накачки нижче порогового лазерний діод працює в режимі світлодіода випромінюючи некогерентне випромінювання з напівшириною спектру 20-25 нм, при струмі вище порогового діод переходить в режим генерації когерентного випромінювання, ширина спектру якого значно вужча і зазвичай становить одиниці нанометрів або навітьдесяті долі нанометрів. Потужність випромінювання прямо пропорційна струму крізь лазерний діод(струму накачки лазера). Положення центральної довжини хвилі спектру випромінювання напівпровідникового лазерного діода має сильну залежність від його температури та струму накачки. Залежність потужності $P_{\text{вип}}$ і довжини хвилі λ випромінювання DFB-лазера від температури і струму накачки приведена на рисунку 2 [7].

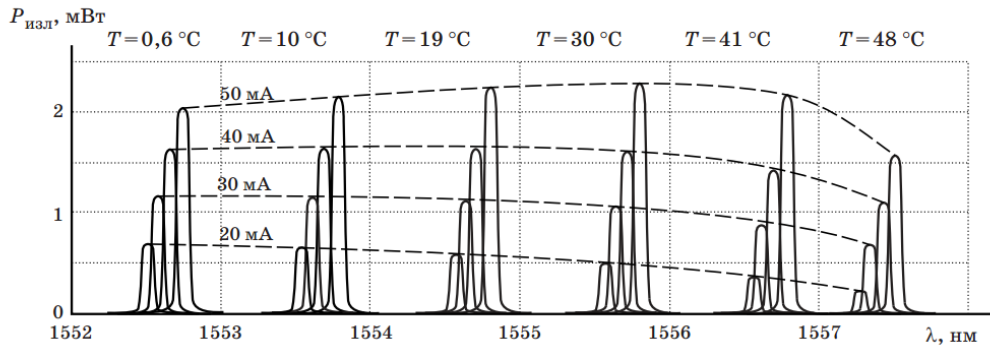


Рис. 2 – Залежність потужності $P_{\text{вип}}$ і довжини хвилі λ випромінювання DFB-лазера від температури T і струму накачки I

2. Формалізація ТП до рівня параметричної схеми

Проведемо параметризацію схеми. Результати параметризації наведені на рисунку 3.

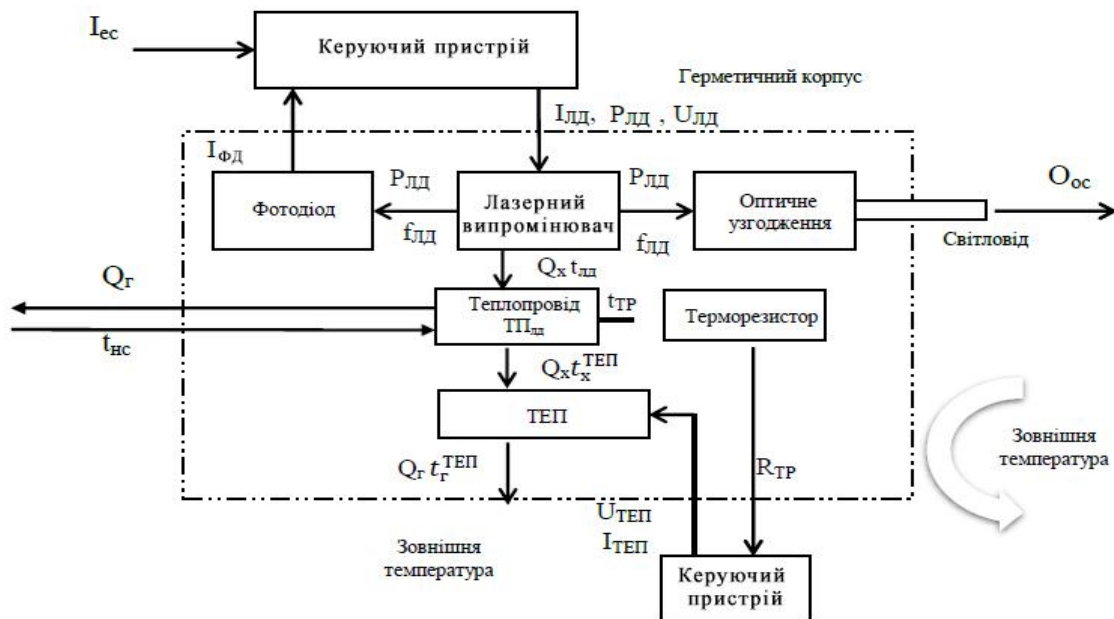


Рис. 3 – Параметризована схема технічної структури

Позначення на параметризованій схемі: $I_{\text{ес}}$ – електричний сигнал, $t_{\text{х}}^{\text{ТЕП}}$ – температура холодної поверхні ТЕП, $t_{\text{г}}^{\text{ТЕП}}$ – температура гарячої поверхні ТЕП, $I_{\text{лд}}$ – струм лазерного діода, $I_{\text{теп}}$ – струм термоелектричного перетворювача, $R_{\text{ТР}}$ – опір терморезистора, $t_{\text{нс}}$ – температура навколишнього середовища, $f_{\text{лд}}$ – довжина хвилі лазерного випромінювання, $P_{\text{лд}}$ – потужність випромінювання лазера, $Q_{\text{х}}$ – холодний потік ТЕП (холодопродуктивність), $Q_{\text{г}}$ – гарячий потік ТЕП, $O_{\text{ос}}$ – оптичний сигнал.

3. Формалізація процесу як об'єкту керування, його структурна схема, опис змінних та характеру їх причинно-наслідкових зв'язків

Параметрична схема процесу формування лазерного випромінювання як об'єкту керування (ОК) представлена на рисунку 4.

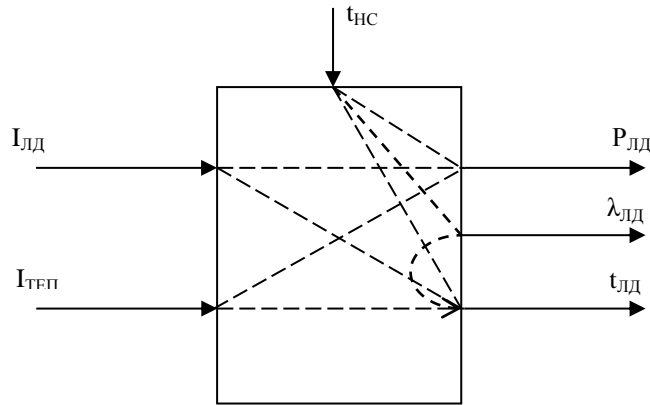


Рис. 4 – Параметрична схема лазерного випромінювача як об'єкту керування

В якості регульованих змінних процесу виступають потужність випромінювання R_{LD} та центральна довжина хвилі спектру випромінювання. Керування потужністю випромінювання ЛД здійснюється зміною рівня струму накачки I_{LD} . Керування довжиною хвилі випромінювання здійснюється за рахунок зміни напряду та рівня струму ТЕП, яка призводить до зміни рівня температури ЛД та, відповідно, до зміни довжини хвилі.

За даними досліджень [7] представлених на рисунку 2 в процесі формування лазерного випромінювання простежуються суттєві перехресні взаємозв'язки. Зміна рівня струму накачки призводить не тільки до пропорційної зміни потужності випромінювання, але й досить суттєво впливає на положення центральної довжини хвилі спектра випромінювання. В свою чергу зміна рівня та напряду струму ТЕП досить суттєво впливає на ККД лазерного діода і відповідно на потужність його випромінювання.

Структурна схема ТП формування когерентного електромагнітного випромінювання в лазерному модулі як об'єкту керування представлена на рисунку 5.

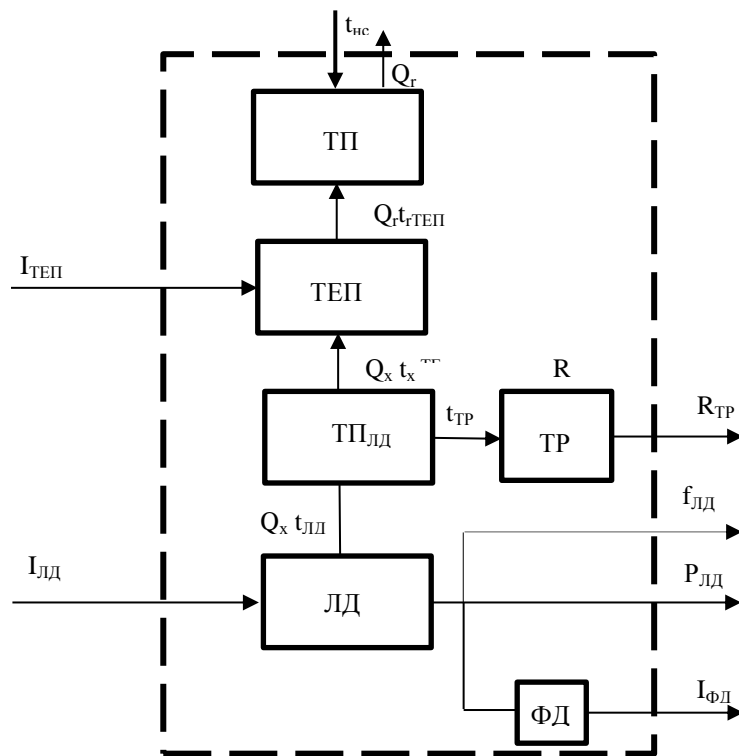


Рис. 5 – Структурна схема моделі

Позначення до схеми: ТП – теплопровід, ТЕП – термоелектричний перетворювач, ТПЛД – теплопровід лазерного діода, ТР – терморезистор, ЛД – лазерний діод, ФД – фотодіод, $I_{ес}$ – електричний сигнал, $t_x^{TEП}$ – температура холодної поверхні ТЕП, $t_r^{TEП}$ – температура гарячої поверхні ТЕП, I_{LD} – струм лазерного діода, $I_{теп}$ – струм термоелектричного



перетворювача, $R_{тр}$ – опір терморезистора, $t_{нс}$ – температура навколишнього середовища, $f_{лд}$ – довжина хвилі лазерного випромінювання, $P_{лд}$ – потужність випромінювання лазера, Q_x – холодний потік ТЕП (холодопродуктивність), Q_r – гарячий потік ТЕП, $O_{ос}$ – оптичний сигнал.

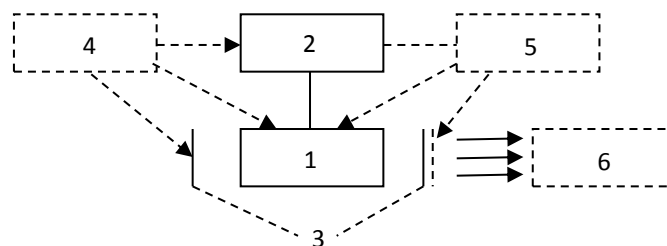
4. Переліки існуючих системоутворюючих та робочих функцій САК

При практичному використанні лазерів зазвичай потрібні додаткові пристрої і системи, що забезпечують працездатність лазера або використовуються для управління випромінюванням. До них можна віднести:

- систему охолодження елементів лазера;
- систему модуляції випромінювання;
- зовнішню оптичну систему;
- пристрої для контролю параметрів випромінювання;
- пристрої для керування променем;
- пристрої для селекції типів коливань.

У кожному конкретному випадку присутність тих чи інших перерахованих елементів не є обов'язковим. Як відомо, температура активної речовини грає важливу роль в досягненні інверсії. У деяких активних речовинах інверсію можна отримати лише при їх значному охолодженні. Система охолодження призначена для забезпечення потрібної температури активної речовини або інших елементів лазера.

Пристрої для контролю параметрів представляють собою різні вимірювачі параметрів випромінювання та пристрої підтримки параметрів випромінювання відповідно до заданих вимог (рівень потужності, стабільність частот) [2]. На рисунку 6 [2] приведена загальна структурна схема лазерної системи, наякої суцільними лініями зображені основні елементи лазера, а пунктирними – приклади систем, які можуть застосовуватися в залежності від конкретного призначення приладу. Стрілками вказані деякі можливі зв'язки між елементами структурної схеми.

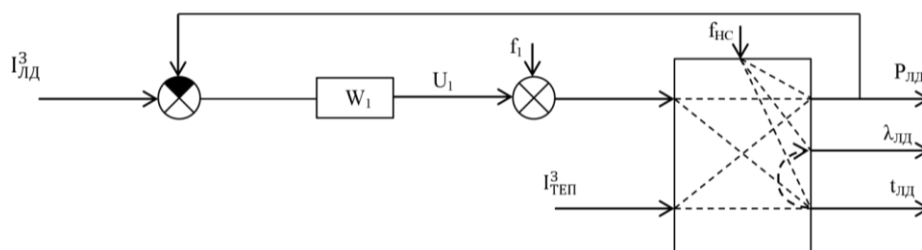


Основні системи: 1 – активне середовище; 2 – система накачування; 3 – оптичний резонатор.

Допоміжні системи: 4 – система охолодження; 5 – система модуляції; 6 – система формування або управління профілем випромінювання лазера

Рис. 6 – Структурна схема лазера

В залежності від вимог для керування ЛД можуть використовуватись системи різного ступеня складності. Так для керування лазерними випромінювачами при формуванні оптичних сигналів за технологією оптичного мультиплексування CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) застосовується система управління тільки потужністю випромінювання, а керування довжиною хвилі відсутнє. Це пов'язано із шириною полоси каналу передачі даних, яка складає 20 нм, що дозволяє здійснювати передачу даних по 20 каналам без використання систем стабілізації довжини хвилі в передавальних пристроях та з використанням недорогих широкосмужових фільтрів при прийомі сигналів. Структурна схема такої системи керування представлена на рисунку 7.



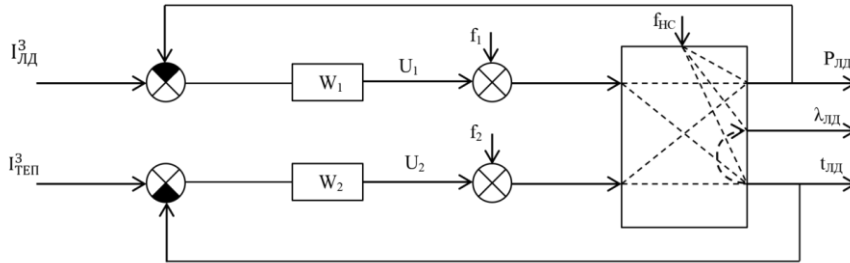
W_1 – регулятор, U_1 – керуючий сигнал, f_1 – не контрольовані збурення

Рис. 7 – Структурна схема САК формування оптичних сигналів за технологією оптичного мультиплексування CWDM

Для керування лазерними випромінювачами при формуванні оптичних сигналів за технологією оптичного мультиплексування DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) застосовуються системи керування як



потужністю так і довжиною хвилі випромінювання при цьому стабілізація та пере налаштування довжини хвилі випромінювання скісно за рахунок керування температурою ЛД без безпосереднього вимірювання довжини хвилі. Необхідність керування довжиною хвилі випромінювання пов'язана з більш жорсткими вимогами до ширини та положення центральної довжини хвилі спектру випромінювання по стандарту DWDM. Структурна схема представлена на рис. 8.



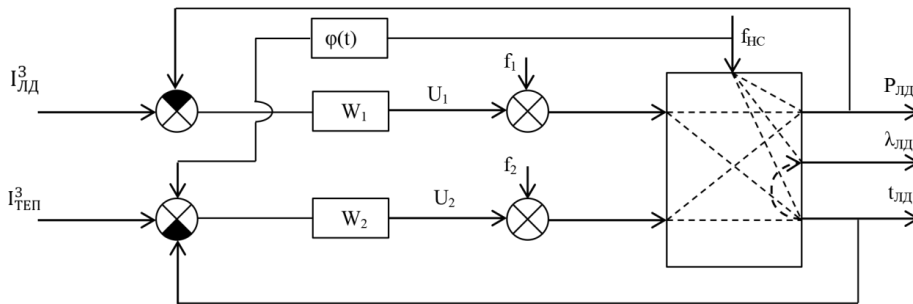
W_1, W_2 – регулятор, U_1, U_2 – керуючий сигнал, f_1, f_2 – не контрольовані збурення

Рис. 8 – Базова структура САК

5. Обґрунтування функціональної та структурної організації перспективної САК.

Виходячи з того, що в об'єкті керування існують значні взаємні перехресні впливи між контурами керування потужністю та довжиною хвилі випромінювання, а також спостерігається досить суттєвий вплив температури навколишнього середовища на контур стабілізації довжини хвилі випромінювання удосконалення системи керування можливе при її побудові на принципах інваріантності та автономності.

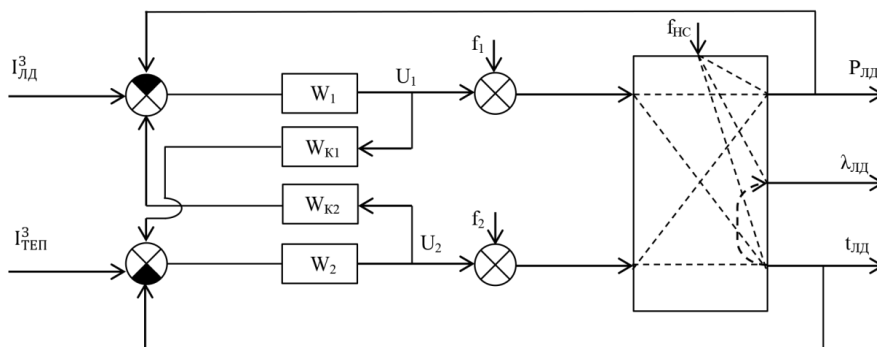
На рисунку 9 представлена структурна інваріантної САК до збурень по температурі навколишнього середовища. Інваріантність досягається за рахунок введення корегувального зв'язку $\varphi(t)$ в контур стабілізації температури ЛД.



W_1, W_2 – регулятор, U_1, U_2 – керуючий сигнал, f_1, f_2 – не контрольовані збурення, $\varphi(t)$ – блок компенсації збурення

Рис. 9 – Структурна схема інваріантної САК

На рисунку 10 представлена структурна схема автономної САК. Автономність контурів САК досягається за рахунок введення між регуляторних корегувальних зв'язків.



W_1, W_2 – регулятор, U_1, U_2 – керуючий сигнал, f_1, f_2 – не контрольовані збурення, W_{K1}, W_{K2} – корегуючі ланки

Рис. 10 – Структурна схема автономної САК



Висновки: Подальше поліпшення якості керування параметрами випромінювання лазерних діодів можливе за рахунок вдосконалення системи керування шляхом розробки алгоритмів управління які забезпечать автономність контурів регулювання потужності та довжини хвилі випромінювання а також інваріантності їх від параметрів навколишнього середовища. Для виконання цієї задачі потрібно: дослідити процес формування когерентного електромагнітного випромінювання, як об'єкту керування, особливу увагу при цьому слід приділити дослідженню динамічних властивостей; призвести ідентифікацію з метою ідентифікації основних каналів перетворення; побудувати імітаційну модель процесу, перевірити її на адекватність та провести синтез вдосконаленої системи керування побудованої на принципах автономності, інваріантності та каскадності.

Список використаних джерел

- [1] Звелто О. З. 43 Принципы лазеров / Пер. под науч. ред. Т. А. Шамонова. 4-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 720 с: ил.
- [2] Митрофанов А. С. Основные принципы работы лазеров. Учебное пособие по курсу "Лазерная физика, техника и технология". – СПб: СПбГИТМО(ТУ), 1999. – 74 с.
- [3] Коэф Й., Фишер М., Легге М., Сейферт Й., Вернер Р. Лазеры с распределенными брэгговскими решетками на квантовых ямах, точках и с квантовыми каскадами.
- [4] Жмудь В. А. Системы автоматического управления. Прецизионное управление лазерным излучением, 2018.
- [5] Дураев В.П. Источники оптического излучения. – В кн.: Волоконно-оптическая техника: История, достижения, перспективы: Сб. статей под ред. Дмитриева С.А., Слепова Н.Н. – М.: Изд. Connect, 2000.
- [6] Дураев В.П. Полупроводниковые лазеры с волоконной брэгговской решеткой и узким спектром генерации на длинах волн 1530-1560 нм. – Квантовая электроника, 2001.
- [7] Ветров А. А., Данилов Д. А., Есипов С. С., Комиссаров С. С., Сергушичев А. Н. Сравнение температурных и электрических методов управления длиной волны излучения полупроводниковых лазеров. – 2009.

References

- [1] O. Zvelto, *43 Principles of lasers*. SPb, Izdatelstvo «Lan», 2008. 720 p.
- [2] A. S. Mitrofanov, *Basic principles of laser operation*. Textbook for the course "Laser Physics, Engineering and Technology". SPb, 1999, 74 p.
- [3] J. Coeff, M. Fischer, M. Legge, J. Seifert, R. Werner, *Lasers with distributed Bragg gratings on quantum wells, points and with quantum cascades*.
- [4] V. A. Zmud, "Automatic control systems. Precision control of laser radiation," 2018.
- [5] V. P. Duraev, "Sources of optical radiation," in *Fiber-optic technology: History, achievements, prospects*, Moscow, Connect, 2000.
- [6] V. P. Duraev, "Semiconductor lasers with a Bragg lattice fiber and a narrow lasing spectrum at wavelengths of 1530–1560 nm," *Quantum Electronics*, 2001.
- [7] A. A. Vetrov *et al.* "Comparison of temperature and electrical methods for controlling the wavelength of radiation of semiconductor lasers," 2009.

УДК 004.91:004.056.55.347.135.224

АНАЛІЗ КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕЛІ КРИПТОСИСТЕМИ ДЛЯ ЗАХИСТУ КОНФІДЕНЦІЙНИХ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРІ

Борцова Ю. В.¹, Плотніков В. М.²

^{1,2} Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна
ORCID: ¹ <http://orcid.org/0000-0001-6712-8357>, ² <http://orcid.org/0000-0001-9000-2568>
E-mail: ¹ bortsova.07@gmail.com

Copyright © 2020 by author and the journal "Automation of technological and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i2.1808>