

ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИЧНИХ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

© Гринчишин Т. М., Кіт Г. В., 2014

Здійснено детальний аналіз застосування лазерних систем у різних сферах. Проаналізовано функціонування системи лазерного зв'язку та обґрунтовано методику бісигнальної передачі даних в оптичному каналі. Запропоновано структурну схему процесора формування оптичних сигналів та діючу макетну установку бісигнального оптичного ретранслятора.

Ключові слова: лазер, безпроводні системи, оптичний передавач, оптичний канал.

This article provides a detailed analysis of the laser systems in various fields. The system for laser communication is analyzed. The method of bisignal data transfer in the optical channel is justified. A block diagram of the processor forming optical signals is suggested. The operating mock bisignal optical transmitter installation is introduced by the authors in the article.

Key words: laser, wireless systems, optical transmitter, optical channel.

Вступ

Лазер – пристрій для генерування або підсилення монохроматичного світла, створення вузького пучка світла, здатного поширюватися на великі відстані без розсіювання і створювати винятково велику густину потужності випромінювання у разі фокусування (10^{20} Вт/см² для високоенергетичних лазерів). Інша назва лазера – оптичний квантовий генератор. Лазер має три основних компоненти: 1) *активне середовище* (лазерний активний елемент), в якому створюються стан лазерного середовища; 2) *систему накачування* (пристрій для створення інверсії в активному середовищі); 3) *оптичний резонатор* (пристрій, що випромінює у простір напрямлені фотони і формує на виході світловий пучок). Сьогодні вже є численні різноманітні лазери, що відрізняються між собою активними середовищами, потужностями, режимами роботи та іншими характеристиками.

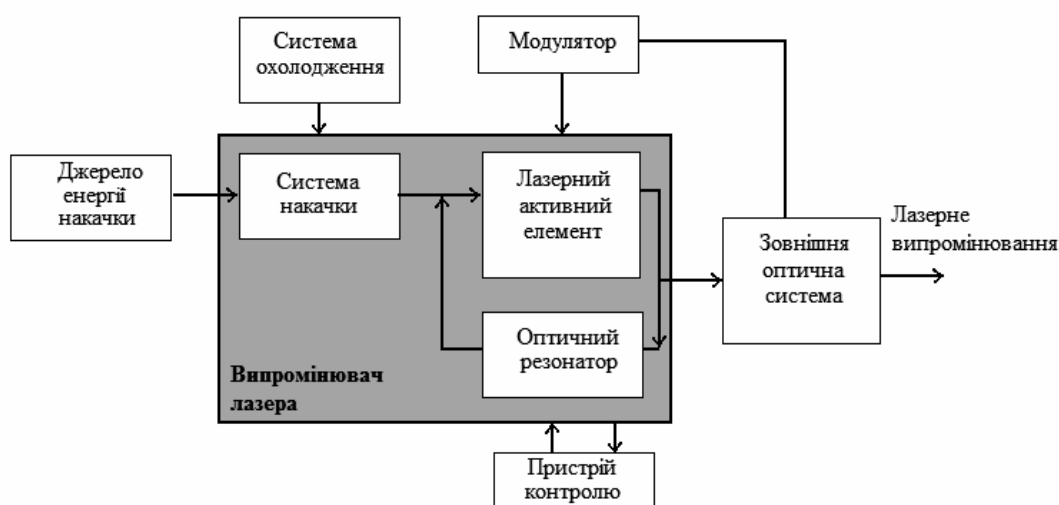


Рис. 1. Структурна схема лазерної системи

Головна причина стрімкого зростання уваги до лазерів криється, насамперед, у виняткових властивостях цих приладів. Унікальні властивості лазерів – монохроматичність, висока когерентність (узгодженість коливань), гостра спрямованість світлового випромінювання.

Актуальність теми

Поява лазерів відразу вплинула і продовжує впливати на різні галузі науки і техніки із застосуванням лазерів для вирішення конкретних наукових і технічних завдань. Дослідження підтвердили можливість значного покращення багатьох оптичних приладів і систем і привели до створення принципово нових пристроїв (підсилювачі яскравості, квантові гігрометри, швидкодійні оптичні схеми тощо). Сформувались нові наукові й технічні напрями – голографія, нелінійна та інтегральна оптика, лазерні технології, лазерна хімія, використання лазерів для керованого термоядерного синтезу та інших задач енергетики.

Висока монохроматичність і когерентність лазерного випромінювання забезпечують успішне застосування лазерів у спектроскопії, ініціюванні хімічних реакцій, у поділі ізотопів, в системах вимірювання лінійних і кутових швидкостей, у всіх додатках, основаних на використанні інтерференції, в системах зв'язку та голографії. Надвисока щільність енергії та потужність лазерних пучків (див. табл. 1), можливість фокусування лазерного випромінювання в точку малих розмірів використовуються в лазерних системах термоядерного синтезу, у різноманітних технологічних процесах: лазерне різання, зварювання, свердління, поверхневе загартовування і розмірна обробка різних деталей. Ці ж властивості й спрямованість лазерного випромінювання забезпечують успішне застосування лазерів у військовій техніці [1].

Таблиця 1

Порівняння характеристик щільності енергії та потужності випромінювання

Джерело енергії	Щільність енергії, Дж/см ³	Щільність потужності, Вт/см ³
Електричний конденсатор	10 ²	–
Електричний розряд	10 ⁴	10 ⁸ –10 ⁹
Хімічна вибухова речовина	10 ⁴	10 ⁹
Потужний електронний пучок струму	10 ⁶	10 ¹³ –10 ¹⁴
Ядерний вибух	10 ¹⁰ –10 ¹¹	10 ¹⁶ –10 ¹⁸
Сфокусований потужний лазерний пучок	10 ¹⁰ –10 ¹²	10 ²⁰ –10 ²²
Анігіляція речовини (щільність 10 г/см ³)	10 ¹⁵	–

Чітка спрямованість лазерного випромінювання та його мала розбіжність застосовуються для розрахунків напрямків (у будівництві, геодезії, картографії), для наведення та показу цілей в локації, зокрема для вимірювання відстаней до штучних супутників Землі; в системах зв'язку через космос та підводного зв'язку. Зі створенням лазерів відбувся колосальний прогрес у розвитку нелінійної оптики, дослідженні та використанні таких явищ, як генерація гармонік, самофокусування світлових пучків, багатофотонне поглинання, різні типи розсіювання світла, викликаного полем лазерного випромінювання. Лазери успішно використовують у медицині: в хірургії (зокрема хірургії ока) і терапії різних захворювань, в біології, де фокусування в точку дає змогу діяти на окремі клітини або навіть на їх частини. Більшість з перерахованих вище областей застосування лазерів (табл. 2) являє собою самостійні й розширені розділи науки чи техніки [2]. Мета статті – проілюструвати величезний вплив на розвиток науково-технічного прогресу та на життя сучасного суспільства появи лазерів.

Застосування лазерів у різних сферах

Медицина	Хірургія (як скальпель для розрізування або руйнування хворих тканин, без пошкодження здорових); терапія (руйнування пухлин або пошкоджень); коагуляція (припікання кровоносних судин для запобігання кровотечі); лазеротерапія (технологія, що полягає в дії цілеспрямованого лазерного потоку на тканину).
Військова справа	Лазерна локація (наземна, бортова, підводна); зв'язок (безпроводне передавання даних); навігаційні системи (системи супутникового позиціонування); лазерна зброя (лазерні приціли та системи ураження).
Виробництво	Голографія (створення віртуальних голографічних зображень за допомогою пучків лазерних променів); лазерні віддалеміри (використовуються в геодезії); лазерні рівні (використання в будівництві); лазерне свердління (використовуються для надтвердих та крихких матеріалів).
Лазерні шоу системи	Різноманітні лазерні світлові шоу з використанням пучків лазерів різної довжини хвилі (кольору); голографічні шоу (з використанням лазерів для побудови 3D зображення в просторі).
Наукова сфера	Хімія (використання лазера як каталізатора); фізика (для проведення різноманітних експериментів); геодезія (для геодезичних досліджень); комп'ютерні науки (для зчитування та запису інформації).
Оптоелектронні пристрої	Камери спостереження (з використанням лазерних сенсорів руху); телевізори (новітні принципи створення зображення пучком трьох лазерів RGB); мікро- та телескопи (використання лазерів для точності фокусування); відеокамери (лазерне фокусування точності); прибори нічного бачення (лазерне фокусування); біноклі (можливість лазерного вимірювання точної відстані).
Системи оптичного зв'язку	Оптоволоконні системи (передавання даних оптичним волокном нових стандартів); безпроводні наземні лазерні системи (безпроводні оптичні ретранслятори та приймачі); безпроводні супутникові системи (безпроводна оптика в супутникових системах).

Мета і завдання дослідження

Найважливіша особливість безпроводного оптичного зв'язку – високий ступінь захищеності каналу від несанкціонованого доступу. Здійснення несанкціонованого перехоплення каналу ускладнене, оскільки для цього необхідна точна спрямованість променя та застосування унікального для кожної моделі методу кодування інформації імпульсами випромінювання. Для виявлення спроб несанкціонованого доступу розроблено заходи, основані на різноманітних принципах: звертання хвильового фронту, аналізу зміни прийнятого сигналу тощо, що ще більше підвищує захищеність каналу зв'язку.

Функціонування системи лазерного зв'язку поділяється на такі процедури:

1. Блок обробки приймає сигнали від різних стандартних пристроїв (телефону, факсу, цифрової АТС, локальної комп'ютерної мережі) і перетворює їх у прийнятну для передавання лазерним модемом форму.
2. Перетворений сигнал передається електронно-оптичним блоком у вигляді інфрачервоного випромінювання.
3. На приймальній стороні прийняте оптичною системою світло потрапляє на фотоприймач, де перетворюється на електричні сигнали.
4. Посилений і оброблений електричний сигнал надходить на блок обробки сигналів, де відновлюється в форму, зручну для оброблення.

Передавання і прийом здійснює кожен з парних модемів одночасно і незалежно. Лазерні модеми встановлюють так, щоб оптичні осі прийомо-передавачів збігалися. Основну складність являє собою юстування напрямку оптичних осей прийомо-передавачів [3, 4]. Кут розсіювання променя передавача в різних моделях оптичних модемів становить від декількох кутових хвилин до $0,5^\circ$, і точність юстування повинна відповідати цим значенням. На рис. 2 наведено зовнішній вигляд оптичного прийомо-передавача типу SkyNet.



Рис. 2. Оптичні ретранслятори SkyNet компанії PAV Data Systems

Оптичний прийомо-передавач найчастіше з'єднується з внутрішнім блоком за допомогою оптичного кабелю. Внутрішній блок вмикається у провідні мережі по різних інтерфейсах – 10/100/1000 Ethernet, V.35, E1/E3, G.703/G.704, OC-12/OC-48 та ін.

Таблиця 3

Основні виробники обладнання відкритих оптичних систем FSO

Фірма	Країна	Основна продукція
НПК «Катарсис»	Росія	БОКС-10М, БОКС-10МПД
Информационно-технологический центр	Росія	ЛАЛ-2М
Astroterra Corporation	США	TerraLink 1000, 2000, 3000
ATSchindler Communications	Канада	Серії: FiRLAN ET3XX; MT3XX; TR5XX;
Cablefree Solutions Ltd.	Великобританія	CableFree 500, 1000, Lite, Cell-Link
Crown-Tech Ltd.	Великобританія–Угорщина	Серії: LaserBit LB-EXXXE10, LB-EXXXE100,
Jolt Ltd.	Ізраїль	Серії: PHL 8XX, 940; UWIN4400, 3XXX, 8XX
LightPointe Communications, Inc.	США–Німеччина	MultiLink 20,155; MonoLink 20,155
LSA Photonics (LSA, Inc.)	США	Magnum 45
PAV Data Systems Ltd.	Великобританія	Серії: SkyCell E1,E2,E3; SkyNet 300, 400, 500, 600,
SilCom Manufacturing Technology, Inc.	Канада	FreespaceLite,FreespaceFibre FreespaceTurbo

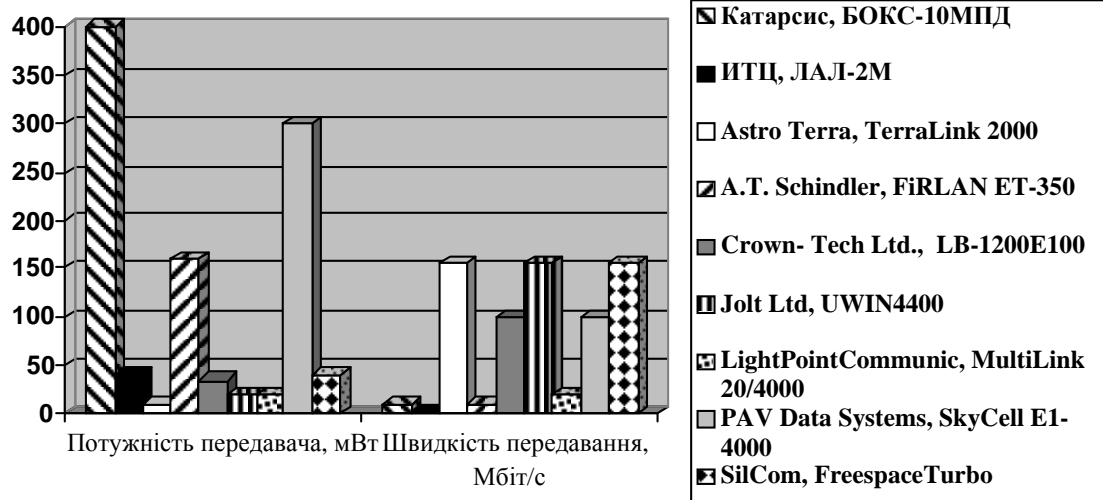


Рис. 3. Порівняльні характеристики потужності передавача та швидкості передавання

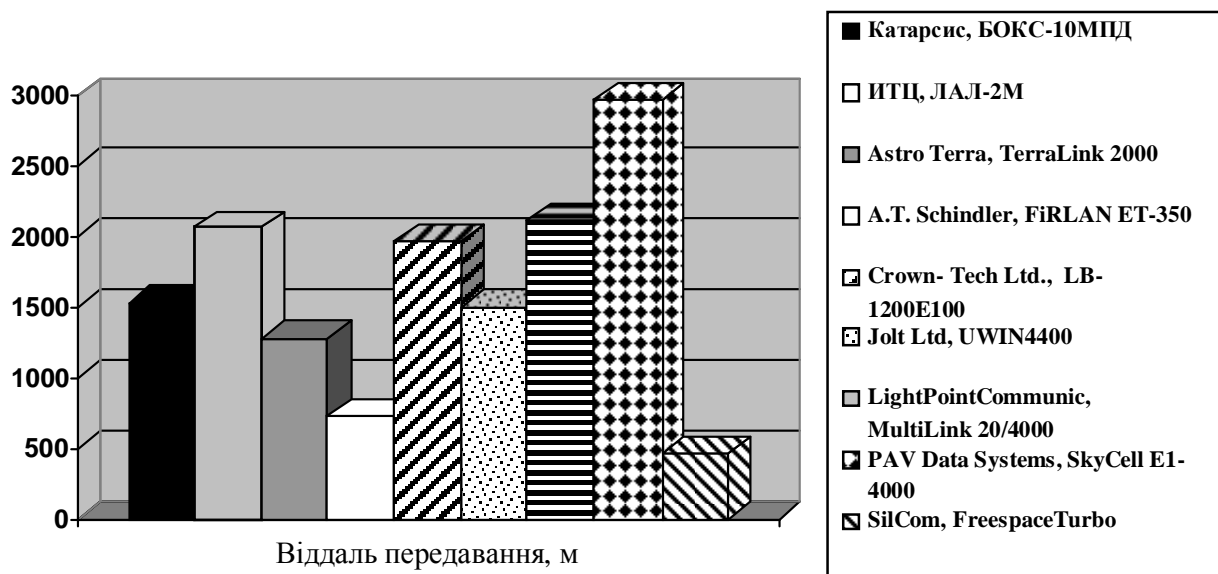


Рис. 4. Порівняльні характеристики максимальної віддалі передавання даних

Виділення проблеми. Постановка задачі

Особливістю біоптичних каналів зв'язку є реалізація диференціальних принципів приймання сигналів. Для реалізації такої оптичної системи передавання даних необхідно враховувати згасання оптичних сигналів у повітряному середовищі, яке має експоненціальний характер (рис. 5).

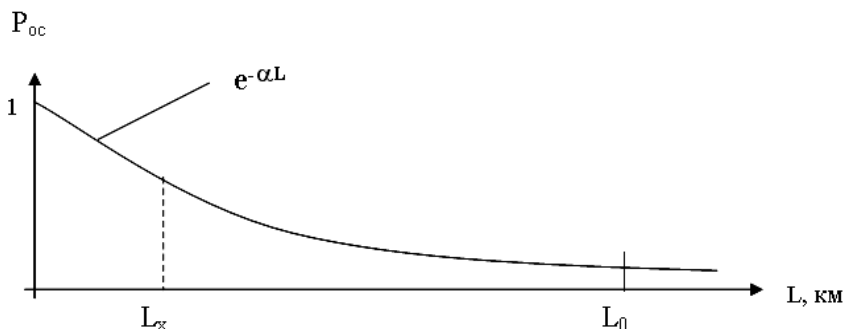


Рис. 5. Характеристика згасання оптичних сигналів у повітряному середовищі: α – коефіцієнт згасання ($0 < \alpha < 1$); L_0 – базова віддаль передачі оптичного сигналу із заданою швидкістю V_0 і заданою завадозахищеністю P_0 в прозорому якісному повітряному середовищі. $L_x = L_0/3$ – базова віддаль передавання оптичного сигналу з параметрами V_0, P_0 в умовах атмосферних завад [2]

Нехай оптичний сигнал передається двома променями з однаковим коефіцієнтом згасання (рис. 6).

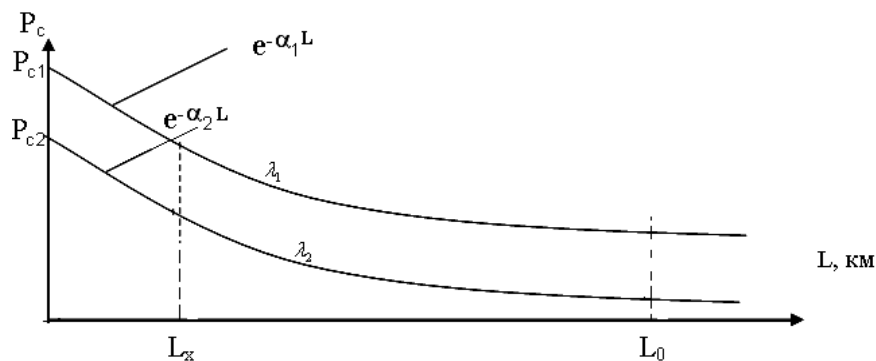


Рис. 6. Характеристика згасання двох оптичних сигналів у повітряному середовищі за однакового коефіцієнта згасання

У цьому випадку, в разі послаблення оптичних сигналів під дією атмосферних завад та збільшенням віддалі передавання даних, два оптичні промені згасають однаково, тому ускладнюються процеси компенсації впливу мультиплікативних завад.

У випадку, коли передавання оптичних даних реалізується за допомогою двох променів з різними довжинами хвиль, один з яких опорний, а інший інформаційний, згасання променів матиме вигляд, як на рис. 7, де показано модель згасання біоптичних сигналів, які формуються двома джерелами світла з різними коефіцієнтами згасання.

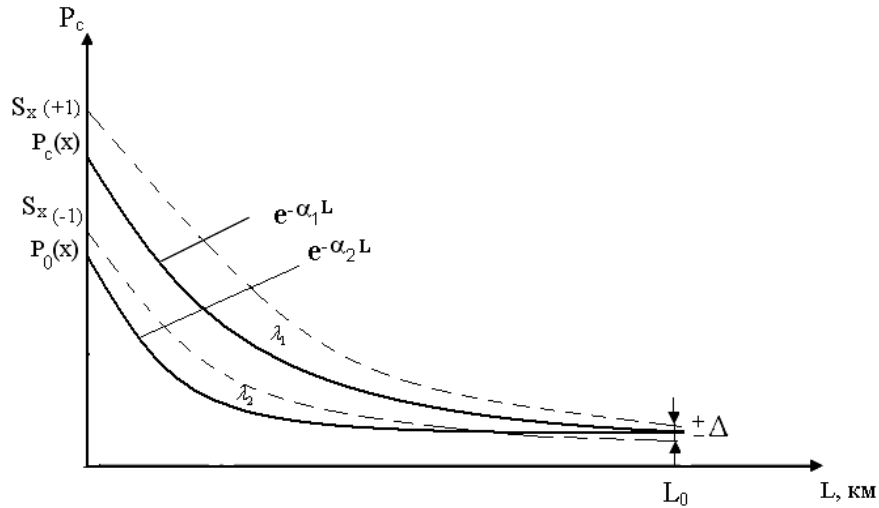


Рис. 7. Характеристики згасання біоптичних сигналів у атмосфері:
 $P_c(x)$ та $P_0(x)$ – потужність передавання інформаційного та опорного сигналу відповідно

Для реалізації бісигнального (одночасного) передавання даних в оптичних лініях зв'язку необхідна паралельна генерація сигналів двома лазерами в різних оптичних діапазонах. Наприклад, в червоному і зеленому спектрі (див. рис. 8).

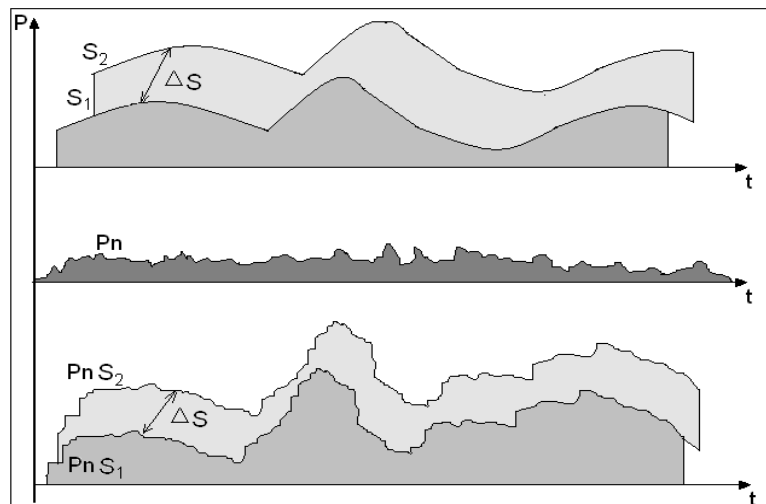


Рис. 8. Представлення бісигналу S_1 та S_2 під впливом мультиплікативних завад:
 P_n – потужність завад; ΔS – стала різниця між сигналами S_1 та S_2 , $\Delta S = const$

Результуючий сигнал можна виразити так: $\Delta S = S_1 \cdot P_n - S_2 \cdot P_n = (S_1 - S_2) \cdot P_n$.

Оскільки величина різниці сигналів під впливом мультиплікативних завад буде завжди сталою (оскільки завади впливають однаковою мірою відразу на два оптичні канали) можна отримувати стабільний результуючий корисний сигнал, фактично без спотворення інформаційних

бітів даних [6, 7]. У результаті можна побудувати диференційний приймач/передавач), структуру якого показано на рис. 9.

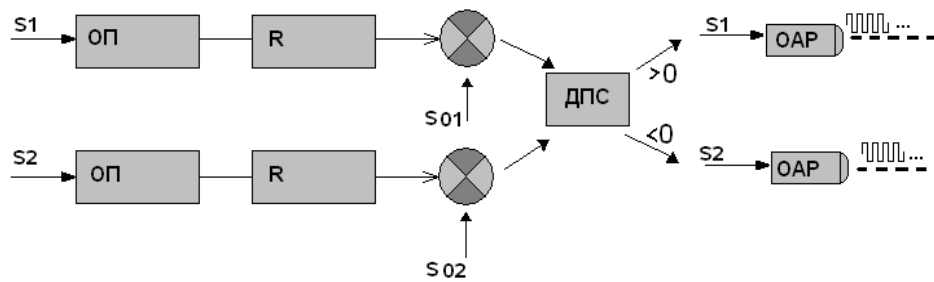


Рис. 9. Структура диференційного приймача/передавача оптичних сигналів на основі диференційно-порогової схеми:

ОП – операційний підсилювач; S_1 – сигнальний код каналу зв'язку;
 R – рандомізатор; S_2 – сигнальний код передавання «1» в каналах зв'язку;
 ⊗ – цифровий корелятор; S_{01} , S_{02} – сигнальні коди бітів Галуа;
 ДПС – диференційно-порогова схема; ОАР – оптичні активні ретранслятори

Дослідження розробки диференційних та бісигнальних методів маніпуляції оптичними сигналами у відкритих каналах зв'язку показують, що можливості оптимізації системних характеристик та підвищення віддалі передавання оптичних сигналів в умовах атмосферних завад можуть бути ефективно реалізовані на основі бісигнальних ліній зв'язку, з використанням сучасних методів цифрової обробки сигналів на основі підвищення енергії сигнального вікна. Експоненціальна характеристика затухання оптичних сигналів у атмосфері дає змогу істотно підвищити максимальну віддаль передавання за незначного покращення відношення сигнал/шум на виході приймачів [5–7]. Диференційний приймач може бути реалізований у вигляді спецпроцесора формування та цифрової обробки оптичного сигналу (рис. 10).

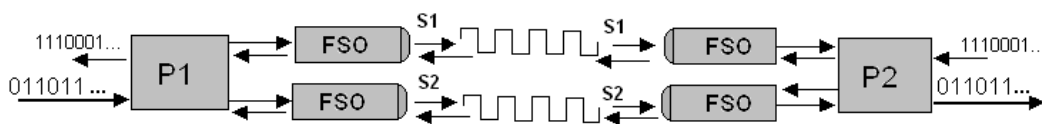


Рис. 10. Структурна схема двостороннього оптичного каналу зв'язку на основі процесорів формування бісигнальних оптичних сигналів:

P1, P2 – процесори формування оптичних сигналів; FSO – оптичні активні ретранслятори

Дослідна установка пристрою розроблена згідно зі структурною схемою, що показана на рис. 11.



Рис. 11. Структурна схема дослідної установки для передавання оптичних даних:

1 – інтерфейс між оптичними ретрансляторами та цифровою АТС;
 2 – оптичне бісигнальне подання даних; 3 – дані телеметрії та управління дослідження [8]

Аналіз отриманих наукових результатів

Запропонована структурна схема дослідної установки уможлиблює дослідження бісигнальних відкритих оптичних каналів зв'язку за впливу різних атмосферних факторів у лабораторних умовах. Зовнішній вигляд діючої лабораторної установки подано на рис. 12.

Зона передавання оптичних бісигналів ізольована від навколишнього середовища завдяки особливості побудови установки, яка забезпечує квазіадіабатний процес (ефект термоса), так, що дає змогу змінювати прозорість та температуру внутрішнього середовища установки. Управління та імітація таких атмосферних явищ, як туман та сніг, реалізовується контролером дослідної установки та генераторами туману і снігу. Інтенсивність та тип атмосферного явища регулюють програмним способом на контролері. Контролер установки також виконує збір даних телеметрії: температура, тиск, прозорість, рівень освітленості.

Формування, передавання та приймання даних здійснюються бісигнальними оптичними активними ретрансляторами (ОАР) (рис. 13) [9].

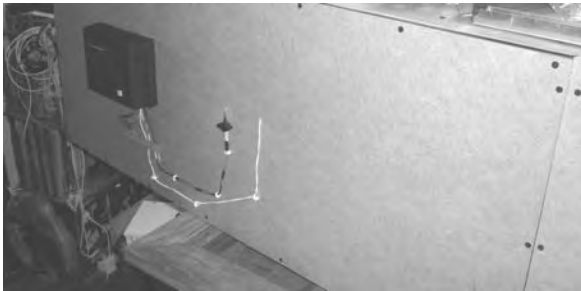


Рис. 12. Експериментальна установка

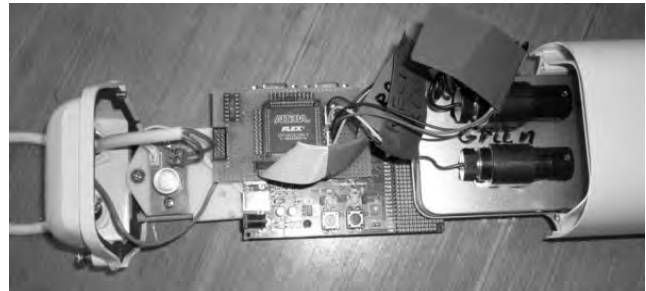


Рис. 13. Діюча макетна установка бісигнального ОАР

Розроблена структура приймача оптичних сигналів з можливістю приймання сигналів на основі різних видів маніпуляції дозволяє реалізувати передавання оптичного сигналу з використанням сигнального кодування, що, своєю чергою, значно збільшує відстань передавання оптичних даних.

Тестова схема пристрою працює згідно з послідовністю блоків (рис. 14).

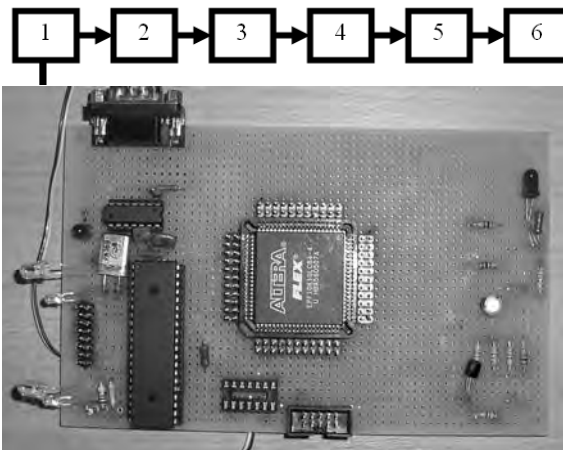


Рис. 14. Структурна та експериментальна схема тестового пристрою

1. Модуль інтерфейсу RS-485 забезпечує обмін даними між ОАР та цифровою АТС.
2. Спецпроцесор формування бісигналів S1 і S2 – здійснює підготовку до передавання даних.
3. Формувач оптичних сигналів – реалізує безпосереднє передавання оптичних бісигналів.
4. Приймач оптичних сигналів – здійснює фільтрацію та приймання оптичних даних.
5. Мікроконтролер – реалізує управління середовищем установки, вимірювання рівня сигналу та перевірку потоку даних на наявність помилок.
6. Модуль інтерфейсу RS-485 – передавання даних до цифрової АТС приймача

Алгоритм роботи тестового пристрою показано на рис. 15.

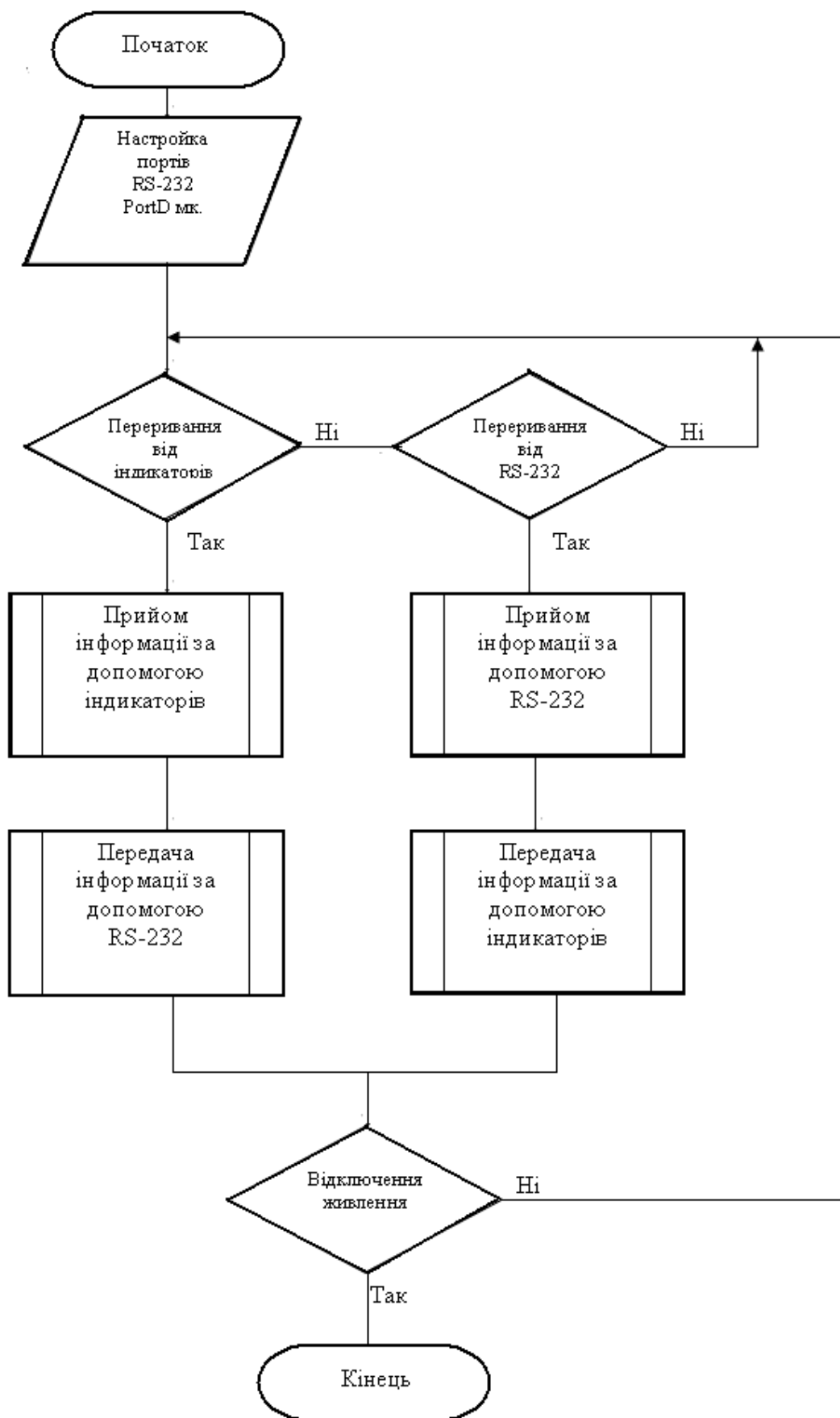


Рис. 15. Блок-схема роботи тестового пристрою передавання біоптичних даних

Після вмикання живлення пристрій налаштовує порти зв'язку. Послідовний RS-485 встановлюється на швидкість 115 кбіт/с. Стабілізується високий рівень сигналу та встановлюється один стоповий біт. У порті спецпроцесора, реалізованого на ПЛІС FLEX10K ALTERA, молодші чотири біти встановлюються як вхід, старші – на вихід. Після налаштування обидва пристрої очікують переривань. Якщо перший пристрій отримав дані від RS-485, прийняті дані передаються на індикатори. Отримавши підтвердження про передавання першого біта даних, передаються наступні біти. Біти передаються у двох спектрах «1» – червоний спектр, «0» – зелений спектр. Після закінчення передавання пристрої переходять у стан очікування переривань.

Висновки і перспективи подальших наукових розвідок

Здійснено детальний аналіз застосування лазерних систем у різних сферах. Проаналізовано функціонування системи лазерного зв'язку та обґрунтовано методику бісигнального передавання даних в оптичному каналі. Запропонована структура спецпроцесорів формування та оброблення цифрових оптичних сигналів, на основі диференційного приймача/передавача. Реалізація цієї структури в оптичних каналах значно підвищує ефективність передавання даних та зменшує вплив завад у каналі зв'язку. Розв'язання такої задачі дає змогу застосовувати на рівні оптичних сигналів диференціальні приймачі, що значно підвищує швидкість та дальність передачі інформації за допустимих ймовірностей помилок у комп'ютерних системах.

1. Федоров Б. Ф. *Лазерні прилади та системи літальних апаратів* // *Машинобудування*, 2008.
2. *Лазери в авіації* / під ред. Сидорина В. М.. – Воєніздат, 2002.
3. Котельников В. А. *Теория потенциальной помехоустойчивости*. – М.: Госэнергоиздат, 2006. – 156 с.
4. Гринчишин Т., Николайчук Я. *Моделювання процесорів формування та цифрового оброблення сигналів в комп'ютерних системах з відкритими оптичними каналами* // *Компютинг: міжнар. наук. журнал* Т. 11, Вип. 2, 2012. – С. 145–155.
5. Grynchyshyn T. M. *Methods of digital processing of optical signals based on the randomization procedure: materials of 8-th science conference CADSM 2005*. – Lviv. Slavske, 2005. – P. 140–143.
6. Grynchyshyn T. M. *Methods of manipulation of signals in optical channels of communication* // *Materials of science conference TCSET'2004 Lviv*. – Slavske, 2004. – P. 363–366.
7. Гринчишин Т. М., Николайчук Я. М. *Розробка диференціальних та бісигнальних методів маніпуляції оптичних сигналів в відкритих лініях зв'язку* // *Вісник Технологічного університету Поділля 2*"2004. – Хмельницький, 2004. – Т. 1, Ч. 3. – С. 121–124.
8. Николайчук Я. М. *Теорія джерел інформації*. – Тернопіль: ТНЕУ, 2008. – 536 с.
9. Гринчишин Т. М. *Розробка бісигнального методу передавання даних з захистом від мультиплікативних завад у відкритому оптичному каналі* // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, 2012. – № 1 (23). – С. 145–151.