



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36415 (13) U
(51) МПК (2006)
G01J 7/00
G01N 21/41

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ПОШИРЕННЯ СВІТЛА В РЕЧОВИНІ

1

(21) u200806402
(22) 14.05.2008
(24) 27.10.2008
(46) 27.10.2008, Бюл.№ 20, 2008 р.
(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA, ГОР-
КУН ВАЛЕНТИНА ВАСИЛІВНА, UA
(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, UA
(57) Пристрій для визначення швидкості поширен-
ня світла в речовині, що містить світлодіод, оптич-
ний вихід якого через першу лінзу зв'язаний із вхо-
дом світлоподільника, один вихід якого оптично
зв'язаний з другою лінзою, інший вихід оптично
зв'язаний через третю лінзу з фотодіодом, до ви-
ходу якого підключений підсилювач напруги, кюве-
ту, заповнену речовиною, що досліджується, на
виході якої розташоване відбиваюче дзеркало,
електронний ключ і мікро-ЕОМ, який **відрізняєть-
ся** тим, що додатково містить оптичний ключ, логі-

2

чну схему АБО, одновібратор, підсилювач потуж-
ності, формувач імпульсів, часо-цифровий
перетворювач і мікроконтролер, входом з'єднаний
з послідовним портом мікро-ЕОМ, а першим логіч-
ним виходом з'єднаний з керуючим входом оптич-
ного ключа, встановленим між другою лінзою та
входом кювети, другий логічний вихід мікрокон-
тролера з'єднаний з керуючим входом електронно-
го ключа, третій логічний вихід мікроконтролера
з'єднаний з одним входом логічної схеми АБО,
інший вхід якої з'єднаний через електронний ключ і
формувач імпульсів з виходом підсилювача напру-
ги, вихід логічної схеми АБО з'єднаний із запуска-
ючим входом одновібратора, вихід якого через
підсилювач потужності з'єднаний з електричним
входом світлодіода, часо-цифровий перетворювач
своїм аналоговим входом підключений до виходу
одновібратора, а цифровим виходом з'єднаний із
цифровим входом мікроконтролера.

Корисна модель відноситься до області оптич-
них вимірювань і може бути використана для ви-
значення швидкості поширення світла в речовині,
а також оцінки заломлюючої здатності рідких, га-
зоподібних і твердих речовин за затримкою світла
в середовищі поширення.

За швидкістю поширення світла в речовині
можна судити про фізико-хімічний склад досліджу-
ваної проби та механічні властивості оптично про-
зорих матеріалів. Найчастіше визначення швидко-
сті поширення світла в речовині ґрунтується на
використанні інтерференційних і фазовимірюваль-
них пристроїв [див. Вафіади В.Г., Попов Ю.В.
Скорость света и ее значение в науке и технике -
Минск: Высшая школа, 1970- С.24-29]. Проте
складність цих пристроїв і необхідність у когерент-
них джерелах світла затрудняє використання цих
систем у виробничих умовах. Крім того, мала про-
сторова когерентність і невисока стабільність ла-
зерних випромінювань є джерелом похибок, особ-
ливо при дистанційних вимірюваннях швидкості
світла або коефіцієнта заломлення досліджувано-
го середовища.

Більш перспективними і надійними є пристрої
з імпульсними джерелами світла локаційного типу,
які використовують затримку світлових імпульсів у
середовищі поширення.

Відомий пристрій для визначення швидкості
поширення світла в речовині [див. Глазор В. Све-
товодная техника: Введение. Пер. с нем. под ред.
И.И. Гроднева.-М.:Энергоиздат, 1985.- С.70-72],
що містить імпульсний генератор, світлодіод, на-
півпрозоре дзеркало, світлоприймач, підсилювач і
осцилограф.

Швидкість поширення світла в об'єкті, що зон-
дується, визначається за часом запізнювання сві-
тлового імпульсу, відбитого від кінця або неоднорі-
дності об'єкта. Однак при малій довжині шляху в
досліджуваному об'єкті або середовищі час запіз-
нювання малий (одиниці наносекунд або менше),
який безпосередньо виміряти особливо осцило-
графом, практично неможливо.

Відомий пристрій для визначення швидкості
поширення світла в речовині [див. Введение в
технику измерений оптико-физических параметров
световодных систем / А.Ф. Котюк, Ю.А. Курчатова,
Ю.П. Майборода и др.; Под ред. Котюка А.Ф. -М.:

(13) U

(11) 36415

(19) UA

Радио и связь, 1987, С.52-54], що містить кварцовий генератор, дільник частоти, модулятор, світлодіод, оптичний розгалужувач, керувану лінію затримки, фотоприймач, блок збігів, схему індикації збігів і електронні ключі.

Завдяки рециркуляції зондуєчих імпульсів у пристрої вимірюється період рециркуляції, який визначається подвоєним значенням затримки світлових імпульсів у досліджуваній речовині. Однак через неминуче розширення відбитих імпульсів важко точно фіксувати збіг падаючих і відбитих імпульсів, що збільшує похибку у визначенні швидкості світла. Крім того, у цьому пристрої момент збігів фіксується оператором по світінню світлодіода в схемі індикації, що значно збільшує час на визначення швидкості світла.

Відомий також пристрій для визначення швидкості поширення світла в речовині [див. Бусурин В.Н., Носов Ю.Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. -М: Энергоиздат, 1990. -С.236-237], що містить світлодіод, оптичний вихід якого через першу лінзу пов'язаний із входом світлоділяника, один вихід якого оптично зв'язаний з другою лінзою інший вихід оптично зв'язаний через третю лінзу з фотодіодом, до виходу якого підключений підсилювач напруги, кювету, заповненою речовиною, що досліджується, на виході якої розташоване відбиваюче дзеркало, електронний ключ і мікро-ЕОМ. Крім того, пристрій включає генератор імпульсів, регульовану лінію затримки, осцилограф, обчислювач і блок синхронізації.

Проте, цей пристрій має похибки плавно регульованих ліній затримки. Відсутність рециркуляції зондувальних імпульсів не дозволяє проводити усереднення періоду повторення імпульсів, що збільшує часову розподільчу здатність пристрою (більше 10^{-6} с). Додаткові похибки виникають через неконтрольовані затримки в електронних блоках пристрою.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий пристрій для визначення швидкості поширення світла в речовині, в якому введення нових елементів і зв'язків дозволило б зменшити часову розподільчу здатність до одиниць пікосекунд, виключити вплив затримок в електронних блоках, повністю автоматизувати процес виміру, що забезпечить підвищення точності визначення швидкості поширення світла в речовині.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для визначення швидкості поширення світла в речовині, що містить світлодіод, оптичний вихід якого через першу лінзу пов'язаний із входом світлоділяника, один вихід якого оптично зв'язаний з другою лінзою інший вихід оптично зв'язаний через третю лінзу з фотодіодом, до виходу якого підключений підсилювач напруги, кювету, заповненою речовиною, що досліджується, на виході якої розташоване відбиваюче дзеркало, електронний ключ і мікро-ЕОМ, згідно з корисною моделлю, в пристрій додатково введені оптичний ключ, логічну схему «або», одновібратор, підсилювач потужності, формувач імпульсів, часо-цифровий перетворювач і мікроконтролер, входом з'єднаний з послідовним портом мікро-ЕОМ, а першим логіч-

ним виходом з'єднаний з керуючим входом оптичного ключа, встановленим між другою лінзою та входом кювети, другий логічний вихід мікроконтролера з'єднаний з керуючим входом електронного ключа, третій логічний вихід мікроконтролера з'єднаний з одним входом логічної схеми «або», інший вхід якої з'єднаний через електронний ключ і формувач імпульсів з виходом підсилювача напруги, вихід логічної схеми «або» з'єднаний із запускаючим входом одновібратора, вихід якого через підсилювач потужності з'єднаний з електричним входом світлодіода, часо-цифровий перетворювач своїм аналоговим входом підключений до виходу одновібратора, а цифровим виходом з'єднаний із цифровим входом мікроконтролера.

Введення в схему пристрою оптичного ключа, логічної схеми «або», одновібратора, підсилювача потужності, формувача імпульсів, часо-цифрового перетворювача і мікроконтролера, з'єднаних зазначеним чином, дозволяє сформувати рециркулюючу послідовність світлових імпульсів, період повторення яких визначається часом запізнення відбитих імпульсів у досліджуваному середовищі. Керування мікроконтролером початку формування періодичної послідовності імпульсів і її кінцем, аналого-цифрове перетворення періоду повторення рециркулюючих імпульсів, усереднення їх у мікроконтролері і подання результатів на дисплеї мікро-ЕОМ дає можливість знизити часову розподільчу здатність схеми до одиниць пікосекунд, а обробка цифрової інформації в мікроконтролері і мікро-ЕОМ, отримати безпосередній відлік значення швидкості та інших параметрів світла в речовині залежно від складу та властивостей досліджуваного оптичного середовища. Використання оптичного ключа, яким управляє мікроконтролер, забезпечує додатковий вимір затримок в електронних блоках пристрою до попадання світлових імпульсів у досліджувану речовину, а визначення різниці в затримках при відкритому і закритому оптичному ключі в мікроконтролері забезпечує виключення похибки від неконтрольованих затримок у ланцюзі формування зондувальних оптичних імпульсів і в ланцюзі формувача електричних імпульсів запускаючого одновібратора. Зазначені відмінності забезпечують підвищення точності визначення швидкості поширення світла в речовині та повній автоматизації процесу вимірювання.

На кресленні представлена функціональна схема пристрою для визначення швидкості поширення світла в речовині.

Пристрій містить мікроконтролер 1, логічну схему «або» 2, одновібратор 3, підсилювач потужності 4, світлодіод 5, першу лінзу 6, світлоділяник 7, другу лінзу 8, оптичний ключ 9, кювету 10 з досліджуваною речовиною, відбиваюче дзеркало 11, третю лінзу 12, фотодіод 13, підсилювач напруги 14, формувач імпульсів 15, електронний ключ 16, часо-цифровий перетворювач 17 і мікро-ЕОМ 18.

Перший логічний вихід мікроконтролера 1 з'єднаний з керуючим входом оптичного ключа 9, другий логічний вихід з'єднаний з керуючим входом електричного ключа 16, третій логічний вихід з'єднаний з одним входом логічної схеми «або» 2, інший вхід якої через електронний ключ 16 з'єдна-

ний з виходом формувача імпульсів 15. Вихід логічної схеми «або» 2 з'єднаний із запускаючим входом однобратора 3, вихід якого через підсилювач потужності 4 з'єднаний з електричним входом світлодіода 5, оптичний вихід якого через першу лінзу 6 пов'язаний із входом світлодіодника 7, через другу лінзу 8 і оптичний ключ 9 пов'язаний із входом кювети 10, заповненою досліджуваною речовиною, на виході якої розташоване відбиваюче дзеркало 11. Інший вихід світлодіодника 7 оптично пов'язаний через третю лінзу 12 з фотодіодом 13, вихід якого через підсилювач напруги 14 з'єднаний із входом формувача імпульсів 15. До виходу однобратора 3 підключений також аналоговим входом часо-цифровий перетворювач 17, цифровим виходом з'єднаний із цифровим входом мікроконтролера 1, який своїм виходом з'єднаний з послідовним портом мікро-ЕОМ 18.

Пристрій працює таким чином.

За командою мікроконтролера 1 генерується імпульс з його третього логічного виходу надходить через логічну схему «або» 2 на запускаючий вхід однобратора 3. Сформований однобратором 3 прямокутний імпульс підсилюється за потужністю в підсилювачі 4 і збуджує світлодіод 5. Світловий імпульс через першу лінзу 6 надходить на вхід світлодіодника 7, де ділиться на два (прямий та відбитий) імпульси. Прямий імпульс через другу лінзу 8 і замкнутий оптичний ключ 9 потрапляє на вхід кювети 10, яка заповнена досліджуваною речовиною. Зондувальний імпульс проходить кювету 10 і відбивається від дзеркала 11, яке розташоване на виході кювети 10. Відбитий від виходу кювети 10 світловий імпульс через замкнутий оптичний ключ 9 і лінзу 8 надходить на світлодіодник 7. Відбитий від світлодіодника 7 світловий імпульс через лінзу 12 впливає на фотодіод 13, де перетворюється в електричний імпульс. Електричний імпульс підсилюється підсилювачем напруги 14 і далі надходить на формувач імпульсів 15. З посиленого відбитого імпульсу, який розширився із-за проходження через досліджувану речовину, формувачем 15 формується короткий імпульс. Через закритий електронний ключ 16 і логічну схему «або» 2 короткий імпульс впливає на запускаючий вхід однобратора 3 і знову його збуджує. У результаті цього на виході однобратора 3 формується послідовність рециркулюючих імпульсів із тривалістю t і паузою

$$\tau_{n1} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (1)$$

де τ_1 - сумарна електрична і оптична затримка при формуванні зондуючих імпульсів,

τ_2 - сумарна затримка зондуючих і відбитих імпульсів усередині кювети 10,

τ_3 - сумарна електрична і оптична затримка у зворотному ланцюзі формування рециркулюючих імпульсів.

Завдяки затримкам τ_1 і τ_3 в ланцюгах прямої і зворотної передачі пристрій працює стабільно, тому що виключається накладення падаючих і відбитих імпульсів. У той же час затримки τ_1 і τ_3 є джерелами похибок, тому що на їх фоні виявити і виміряти малу затримку τ_2 , пов'язану з досліджуваною речовиною, важко.

Період повторення зондуючих імпульсів

$T_1 = \tau + \tau_{n1}$ (2)
перетворюється за допомогою часо-цифрового перетворювача 17 у цифровий код

$$N_1 = T_1 / \Delta t, \quad (3)$$

де Δt - часовий крок квантування.

Цифровий код (3) надходить по цифровому входу в мікроконтролер 1, де усереднюється за задане число періодів проходження зондувальних імпульсів:

$$N_1 = q T_1 / \Delta t, \quad (4)$$

де q - число періодів повторення рециркулюючих імпульсів.

Далі за командою мікроконтролера 1 подається сигнал на керуючий вхід оптичного ключа 9 і він розмикається. У цьому режимі зондувальні імпульси відбиваються від входу кювети 10 з досліджуваною речовиною. Період повторення зондувальних імпульсів зменшується до значення

$$T_2 = \tau + \tau_{n2}. \quad (5)$$

У виразі (5) пауза між повторюючими імпульсами із-за виключення затримки в кюветі 10 стає рівною

$$\tau_{n2} = \tau_1 + \tau_3. \quad (6)$$

Період повторення T_2 знову перетворюється часо-цифровим перетворювачем 17 у код

$$N_2 = T_2 / \Delta t, \quad (7)$$

який вводиться в мікроконтролер 1. Після усереднення в мікроконтролері 1 формується другий результуючий код

$$N_2' = q T_2 / \Delta t. \quad (8)$$

Після закінчення формування коду N_2' по команді мікроконтролера 1 електронний ключ 16 розмикається і процес формування рециркулюючої послідовності імпульсів припиняється.

Коди N_1 і N_2' з мікроконтролера 1 пересилаються в мікро-ЕОМ 18, де з них формується різницевий код

$$N_3 = N_1' - N_2' = g \tau_2 / \Delta t. \quad (9)$$

Затримка оптичних імпульсів у кюветі 10 з досліджуваною речовиною при довжині кювети L визначається виразом

$$\tau_2 = 2L / v, \quad (10)$$

де v - швидкість світла в речовині.

Згідно (10) швидкість світла в речовині однозначно визначається вимірюваною затримкою, тобто

$$v = 2L / \tau_2. \quad (11)$$

Показник заломлення досліджуваної речовини

$$n = \tau_2 c / 2L, \quad (12)$$

де c - швидкість світла у вакуумі.

Підставивши у вирази (11) і (12) значення τ_2 з (9), остаточно отримаємо:

$$v = 2Lg / N_3 \Delta t, \quad (13)$$

$$n = \frac{N_3 \Delta t C}{2Lg} \quad (14)$$

У процесорі мікро-ЕОМ 19 обчислюються значення швидкості v і показник заломлення n . При цьому за допомогою клавіатури попередньо вводиться довжина кювети L , крок квантування Δt , число повторювань періодів q і швидкість світла у вакуумі c . Результат виводиться на дисплей комп'ютера 18.

Завдяки виключенню систематичної похибки вимірювань оптичної затримки τ_2 від неконтрольованих електричних і оптичних затримок τ_1 у тракці формування зондуєчих імпульсів і τ_3 в тракці формування повторних запускаючих імпульсів із прийнятих і відбитих імпульсів відносна похибка вимірювань швидкості поширення світла в речовині не перевищує 0,2...0,5%. Усереднення по тисячі періодів рециркуляції імпульсів дозволяє зменшити випадкову похибку до 0,05...0,1% і зменшити часову розподільчу здатність до 10^{-10} ... 10^{-11} с.

Для забезпечення зазначених параметрів доцільно в якості часо-цифрових перетворювачів використовувати швидкодіючі інтегральні мікросхеми типу PICOTURN або PICOCAP, які виконані за CMOS технологією (компанія Acat mess electronic GmbH). Так, інтегральна мікросхема TDC-GP2 з розподільчою здатністю 50 пікосекунд забезпечує діапазон вимірювань часового інтервалу від 3,5 нс до 1,8 мс зі швидкістю передачі цифрових даних 1 МГц. При цьому напруга живлення мікросхеми від 1,8В до 3,6В при струмі споживання 5мкА. Результат перетворення представляється 16-ти розрядним кодом. Для обробки цифрової інформації доцільно застосовувати 32-розрядну обчислювальну платформу, наприклад, з ядром ARM7 ведучих світових виробників, наприклад, 32-розрядний мікроконтролер LPC2148 компанії NXP (Philips). Обмін даними між мікроконтролером і мікро-ЕОМ можна здійснювати інтерфейсом RS232.

Основна вимога до фотодетектора полягає в забезпеченні малого часу наростання/спаду (не більше 1,5...2нс). Цій вимозі відповідають фотодиоди моделей, наприклад, SFH2332 і SFH2701 фірми OSRAM. Аналогічним вимогам повинні відповідати і швидкодіючі світло діоди, наприклад, TSFF 5200 фірми Vishay, TSAL 5100 фірми Kingbright.

Таким чином, запропоноване пристрій, реалізований на сучасній мікроелектронній базі, дозволяє підвищити точність визначення швидкості світла в досліджуваній речовині за рахунок виключення систематичних похибок, зменшити часову розподільчу здатність за рахунок швидкодіючого часо-цифрового перетворення і зменшувати випадкові похибки за рахунок багаторазової рециркуляції імпульсів і їх усереднення. При цьому в порівнянні із пристроєм-прототипом не потрібна високоточна фіксація збігів зондуєчих і відбитих світлових імпульсів, і отже, високостабільні регульовані лінії затримки, візуальні підстроювання і високостабільні генератори коротких імпульсів.

Сферою застосування запропонованого пристрою також можуть бути:

- системи позиціонування, основані на вимірах часу проходження оптичних імпульсів у різних середовищах;
- датчики складу і властивостей речовин, засновані на залежності заломлюючих властивостей середовища поширення оптичних імпульсів від процентного і гранулометричного вмісту домішок або зовнішніх впливів;
- експериментальні лабораторні установки в ядерній фізиці і фізиці високих ентропій;
- лазерні сканери і спектрометри, у яких повинні сполучатися підвищена розподільча здатність вимірювань тривалості події або підвищена розподільча здатність між подіями і широкий діапазон вимірювань часових інтервалів.



