

ВИКОРИСТАННЯ ОПТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОСТОРОВОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ТА МЕХАНІЗМІВ

Розглянуті питання підвищення точності вимірювання відстані оптичними перетворювачами для забезпечення точного просторового позиціонування об'єктів та механізмів. Наведені результати розробки структурної схеми для вимірювання відстані і алгоритму її роботи, який забезпечує підвищення швидкодії і точності визначення відстані до об'єкту шляхом вимірювання затримки оптичного променя. Завдяки використанню запропонованого алгоритму виключається систематична погрішність вимірів оптичної затримки, обумовлена електричним зносом і старінням електронних і оптичних елементів, що викликає неконтрольований дрейф електричних і оптичних затримок в трактах формування зондуючих імпульсів і повторних запускаючих імпульсів. Відносна похибка виміру швидкості поширення світла в речовині при цьому не перевищує 0,2...0,5%.

Ключові слова: пристрій, відстань, світловий імпульс, похибка вимірювання.

V.V. GORKUN, Y.O. SKRIPNYK, K.L. SHEVCHENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

THE OPTICAL TRANSFORMERS' USE FOR THE INCREASE OF EXACTNESS OF SPATIAL ORIENTATION OF OBJECTS AND MECHANISMS

Abstract – Considered questions of increase of exactness of measuring of distance by optical transformers for providing of the exact spatial keeping of objects and mechanisms. The resulted results of development of flow diagram are for measuring of distance and algorithm of its work, which provides the increase of fast-acting and exactness of distance-finding to the object by measuring of delay optical raw. Due to the use of the offered algorithm the systematic error of measuring of optical delay is eliminated conditioned an electric wear and senescence of electronic and optical elements, which causes the uncontrolled drift of electric and optical delays in the highways of forming of soundings impulses and repeated starting impulses. The relative error of measuring of speed of distribution of light in a matter here does not exceed 0,2...0,5%.

Keywords: device, distance, light impulse, measuring error.

Вступ

Автоматизація технологічних процесів в різних областях машинобудування привела до необхідності виконання високоточних переміщень об'єктів виробництва і робочих органів автоматизованого устаткування. Проблема точного просторового позиціонування об'єктів можна розділити на дві частини. До першої можна віднести створення виконавчих пристроїв, що забезпечують необхідну точність позиціонування. До другої – створення точних вимірювальних пристроїв визначення просторового положення механізмів і об'єктів.

До фірм і компаній, що успішно займаються вирішенням цієї проблеми, слід віднести «Linak» (Данія), «Festo» (Австрія), «Sew-evrodrive» (Німеччина), «SBC Lineral CO» (Південна Корея), «CTS» (Італія), «Hiwin» (Тайвань), СП «Рухсервомотор» (Білорусь), ЗАТ «Сервотехніка» (Росія). Аналіз джерел показує, що роботи ведуться як з вдосконалення простих однокоординатних пристроїв (так званих актуаторів), так і зі створення складних дво- і трикоординатних систем з довжиною ходу каретки основної координати до 6 м. В основному для цих цілей використовуються рахунково-імпульсні системи програмного управління, що забезпечують мінімальний крок переміщення від 0,25 до 2,0 мм на один імпульс.

Одним з недоліків практично всіх використовуваних при позиціонуванні механізмів і об'єктів технічних рішень є відсутність зворотного зв'язку по поточному просторовому положенню, тобто вирішення другої з зазначених проблем.

Стан проблеми

Роботи зі вдосконалення і розробки нових контрольно-вимірювальних приладів для визначення просторового положення різних об'єктів ведуться як у нас в країні, так і за кордоном. Найбільш перспективними є пристрої локаційного типу з імпульсними джерелами світла, які використовують затримку світлових імпульсів в середовищі поширення для визначення відстані до об'єкту. Одним з актуальних завдань при цьому є визначення швидкості поширення світла в середовищі, де знаходиться контрольований об'єкт.

При використанні імпульсних оптичних вимірювальних пристроїв швидкість поширення світла в середовищі розповсюдження визначається за часом запізнення світлового імпульсу, відбитого від об'єкту або неоднорідності середовища. Подібні пристрої [1] складаються з імпульсного генератора, формувача оптичних імпульсів, напівпрозорого дзеркала, фотоприймача, підсилювача і осцилографа. Їх основним недоліком є те, що при малій довжині оптичного шляху в середовищі розповсюдження час запізнення складає одиниці наносекунд, який безпосередньо виміряти осцилографом, практично неможливо. Відомі пристрої [2], в яких використовується рециркуляція зондуючих імпульсів і вимірюється період рециркуляції. Період рециркуляції при цьому визначається подвоєним значенням затримки світлових імпульсів в

середовищі розповсюдження. Проте, при віддзеркаленні імпульсів неминує відбуватися їх розмиття (на осцилограмі це виявляється у вигляді розширення відбитих імпульсів). При цьому вельми складно точно зафіксувати збіг фронтів падаючих і відбитих імпульсів, що призводить до істотного збільшення похибки визначення швидкості поширення світла і, відповідно, просторового положення об'єкту контролю. При цьому вноситься елемент суб'єктивізму і значно збільшується тривалість вимірів.

Останнім часом для визначення швидкості поширення світла в речовині використовуються автоматичні пристрої, оснащені контролерами та мікро-ЕОМ [3]. До їх складу додатково включаються регульована лінія затримки і блок синхронізації. Проте, і в цьому випадку виникають неконтрольовані затримки в електронних блоках і похибки в організації плавного регулювання ліній затримки, що призводить до виникнення додаткових похибок вимірювання.

Основна частина

Авторами запропоновані функціональна схема і алгоритм роботи пристрою, що дозволяють підвищити точність визначення швидкості поширення світла в середовищі розповсюдження за рахунок зменшення часової роздільної здатності до одиниць пікосекунд і усунення впливу затримок в електронних блоках. Це, в свою чергу, забезпечує підвищення точності визначення відстані до об'єкту контролю.

Розглянемо алгоритм роботи пристрою, функціональна схема якого показана на рис. 1. По команді мікроконтролера 1 на запускаючий вхід формувача імпульсів 3 через логічну схему «АБО» 2 поступає прямокутний імпульс, який підсилюється в підсилювачі 4 і збуджує світлодіод 5. Світловий імпульс через лінзу 6 прямує на вхід світлоділника 7, де розділяється на прямий і відбитий імпульси. Прямий імпульс через лінзу 8 і замкнутий оптичний ключ 9 прямує в середовище розповсюдження 10. Зонduючий імпульс проходить через середовище і відбивається від об'єкту 11. Відбитий від об'єкту світловий імпульс знову потрапляє на світлоділник. Відбитий від світлоділника світловий імпульс через лінзу 12 прямує на фотоприймач 13 і перетворюється в електричний імпульс. Електричний імпульс підсилюється підсилювачем 14 і прямує на формувач імпульсів 15. З підсиленого відбитого імпульсу, який розширився після проходження через середовище, формувачем 15 формується короткий одиничний імпульс.

Через закритий електронний ключ 16 і логічну схему «АБО» 2 цей імпульс потрапляє на вхід запуску однобiвратора 3 і знову його збуджує. В результаті цього на виході однобiвратора формується послідовність рециркулюючих імпульсів з тривалістю t і паузою

$$t_{n1} = t_1 + t_2 + t_3, \quad (1)$$

де t_1 – сумарна електрична і оптична затримка при формуванні зонduючих імпульсів; t_2 – сумарна оптична затримка зонduючих і відбитих імпульсів в середовищі розповсюдження 10; t_3 – сумарна електрична і оптична затримка в зворотному ланцюзі формування рециркулюючих імпульсів.

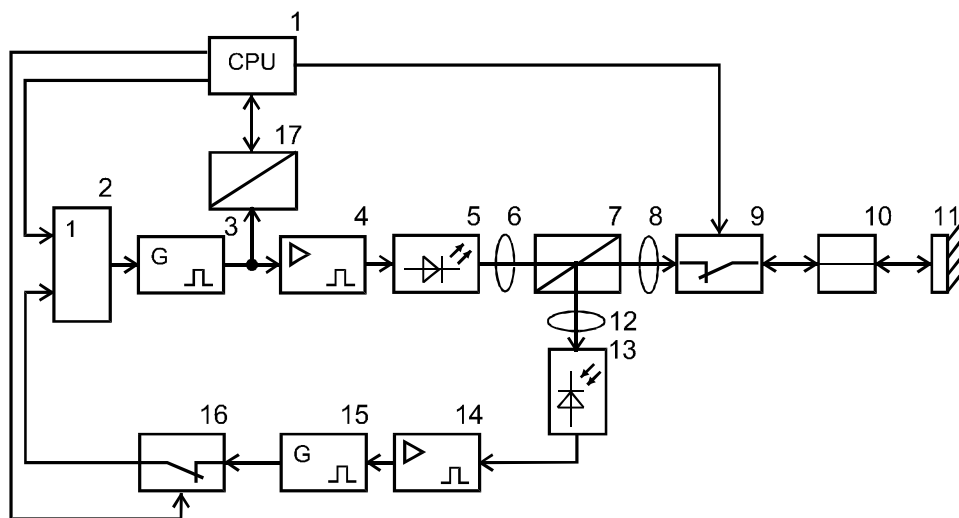


Рис. 1. Пристрій для визначення швидкості розповсюдження світла в середовищі

Завдяки затримкам t_1 і t_3 в ланцюгах прямої і зворотної передачі пристрій працює стабільно, тому що виключається накладення падаючих і відбитих імпульсів. В той же час затримки t_1 і t_3 є джерелами похибок, тому що на їх фоні виявити і виміряти малу затримку t_2 , що вноситься середовищем розповсюдження, досить складно.

Період повторення зонduючих імпульсів

$$T_1 = t + t_{n1} \quad (2)$$

перетворюється за допомогою перетворювача 17 в цифровий код

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

де Δt – часовий крок квантування.

Цифровий код (3) в мікроконтролері 1 усереднюється за задану кількість періодів проходження зондуючих імпульсів:

$$N'_1 = qT_1 / \Delta t, \quad (4)$$

де q – число періодів повторення рециркулюючих імпульсів.

Далі по команді мікроконтролера 1 оптичний ключ 9 розмикається. У цьому режимі зондуючі імпульси відбиваються від меж середовища розповсюдження. Період повторення зондуючих імпульсів зменшується до значення

$$T_2 = t + t_{n2}. \quad (5)$$

У виразі (5) пауза між імпульсами, що повторюються в результаті виключення затримки в середовищі розповсюдження стає рівною

$$t_{n2} = t_1 + t_3. \quad (6)$$

Період повторення T_2 знов перетворюється в код

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

Після усереднення в мікроконтролері 1 формується друге значення результуючого коду

$$N'_2 = qT_2 / \Delta t. \quad (8)$$

В наступному циклі по команді мікроконтролера електронний ключ 16 розмикається і процес формування рециркулюючої послідовності імпульсів припиняється. По значеннях кодів N'_1 і N'_2 в мікроконтролері 1, розраховується різницевий код по формулі

$$N_3 = N'_1 - N'_2 = qt_2 / \Delta t. \quad (9)$$

Затримка оптичних імпульсів в середовищі розповсюдження при фіксованій довжині l визначається виразом

$$t_2 = 2l / V, \quad (10)$$

де V – швидкість світла в середовищі.

З врахуванням виразу (10), швидкість світла в середовищі однозначно визначається вимірюваною затримкою, тобто швидкість розповсюдження світла.

$$V = 2l / t_2, \quad (11)$$

Підставляючи у вираз (11) значення t_2 з (10), кінцево отримаємо:

$$V = 2lq / N_3 \Delta t, \quad (12)$$

У мікроконтролері 1 обчислюються значення швидкості світла V в середовищі розповсюдження. У пам'ять мікроконтролера заздалегідь вводяться значення фіксованої відстані l , кроку квантування Δt , числа повторень періодів q і величина швидкості світла у вакуумі c . Результат виводиться на індикатор мікроконтролера 1.

Висновки

Завдяки використанню запропонованого алгоритму [4] виключається систематична похибка вимірів оптичної затримки t_2 , обумовлена електричним зносом і старінням електронних і оптичних елементів, що викликає неконтрольований дрейф електричних і оптичних затримок t_1 і t_3 в трактах формування зондуючих імпульсів і повторних запускаючих імпульсів. Відносна похибка виміру швидкості поширення світла в середовищі при цьому не перевищує 0,2...0,5%.

Усереднення по тисячі періодів рециркуляції імпульсів дозволяє зменшити випадкову складову погрішності до 0,05...0,1%.

Для забезпечення відмічених параметрів доцільно як перетворювачі використовувати швидкодіючі інтегральні мікросхеми типу PICOTURN або PICOCAP, які виконані по CMOS технології (компанія «Asam mess electronic GmbH»). Так, інтегральна мікросхема TDC-GP2 з роздільною здатністю 50 пікосекунд, забезпечує діапазон вимірів тимчасового інтервалу від 3,5 нс до 1,8 мс із швидкістю передачі цифрових даних 1 МГц. При цьому напруга живлення мікросхеми від 1,8 В до 3,6 В при струмі споживання 5 мкА. Результат перетворення представляється 16-ти розрядним кодом. Для обробки цифрової інформації

доцільно застосовувати 32-розрядну обчислювальну платформу, наприклад, з ядром ARM7 провідних світових виробників, наприклад, 32-розрядний мікроконтролер LPC2148 компанії «NXP» (Phillips).

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

Таким чином, розроблений пристрій, реалізований на сучасній мікроелектронній базі, дозволяє підвищити точність визначення швидкості світла у середовищі розповсюдження за рахунок виключення систематичних похибок, зменшити часову роздільну здатність за рахунок швидкодіючого цифрового перетворення і зменшити випадкові похибки за рахунок багатократної рециркуляції імпульсів і їх усереднювання. При цьому в порівнянні з розглянутими вище пристроями [1–3] не потрібна високоточна фіксація збігів зондуючих і відбитих світлових імпульсів і, отже, високостабільні регульовані лінії затримки, візуальні підстроювання і високостабільні генератори коротких імпульсів.

Сферою вживання запропонованого пристрою можуть бути:

- системи позиціонування засновані на вимірах часу проходження оптичних імпульсів в 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;
- лазерні сканери і спектрометри, в яких повинні з'єднуватися підвищена роздільна здатність вимірів тривалості події або підвищена роздільна здатність між подіями і широкий діапазон вимірів тимчасових інтервалів.

Література

1. Глазер В. Световодная техника / Глазер В. ; [пер. с нем. / под редакцией И.И. Гроднева]. – М. : Энергоиздат, 1985. – С. 70–72.
2. Введение в технику измерений оптико-физических параметров световодных систем / [Котюк А.Ф., Курчатова Ю.А., Майборода Ю.П. и др.] ; под редакцией А.Ф. Котюка. – М. : Радио и связь, 1987. – С. 52–54.
3. Бусурин В.Н. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения / В.Н. Бусурин, Ю.Р. Носов. – М. : Энергоиздат, 1990. – С. 236–237.
4. Скрипник Ю.О. Компенсаційно-тестовий метод корекції дрейфових похибок вимірювання / Ю.О. Скрипник, В.В. Горкун, К.Л. Шевченко // Вісник КНУТД. – 2012. – № 2. – С. 28–34.

References

1. Glaser V. Svetovodnaya tehnika: Vvedenie. Per. s nem. pod redaktsiey I.I. Grodneva – M.: Energoizdat, 1985. – P. 70-72.
2. Kotyuk A.F., Kurchatov Yu.A., Mayboroda Yu. P. I dr. Vvedenie v tehniku izmereniy optiko-fizicheskikh parametrov svetovodnykh system. Pod redaktsiey A.F. Kotyuka – M.: Radio i svyaz, 1987. P. 52-54.
3. Busurin V.N., Nosov Yu. R. Volokonno-opticheskie datchiki: Fizicheskie osnovy, voprosy rasscheta s primeneniya. – M.: Energoizdat, 1990. P. 236-237.
4. Skripnik Yu.O., Gorkun V.V., Shevchenko K.L. Kompensatsiyho-testoviy metod korektsiy dreyfovyyh poxybok vsmryuvannya.// Visnyk KNUVD №2, 2012.- P.28-34.

Рецензія/Peer review : 24.3.2013 р.

Надрукована/Printed : 20.4.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф., зав. кафедри метрології, стандартизації та сертифікації Київського національного університету технологій та дизайну Зенкін А.С.