

НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

УДК 621.375

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА ВІДСТАНІ*Яненко О. П., Арустамян А. Е.**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: OP291@meta.ua*

Оптичні вимірювачі відстані дозволяють проводити вимірювання відстаней до різноманітних об'єктів зондування. Однією із проблем є забезпечення високої стабільності, точності та роздільної здатності світлодалекомірів. Тому дослідження та покращення цих параметрів є актуальним. В статті розглянутий варіант побудови структурної схеми фазоімпульсного вимірювача відстані з використанням високостабільного кварцового генератора. Використання єдиного джерела кварцованої частоти для формування низької частоти модуляції світлового потоку, опорної частоти вимірювального каналу та двох імпульсів частот квантування, виділених фазових інтервалів, збільшує стабільність параметрів, як випромінюваного світлового потоку, так і сигналів відгуку при їх перетворенні.

Запропонований алгоритм вибору співвідношення частоти модуляції та частот квантування дозволяє підвищити точність та роздільну здатність вимірювання відстані, завдяки отриманій можливості зміни частоти квантування та вагомості електронної шкали. Введення цифрової обробки сигналів та інтегрування виділеного фазочастотного інтервалу підвищує стійкість вимірювача до шумових впливів зовнішнього середовища та конфігурації об'єкта дослідження на параметри світлового потоку.

Ключові слова: *оптичні вимірювачі, частота квантування, точність, роздільна здатність, кварцовий генератор.*

Вступ

Оптичні вимірювачі відстані (світлодалекоміри) знаходять все більш широке застосування в різноманітних галузях народного господарства: в будівництві, геології, астрономії, сільському господарстві, військовій справі та інших напрямках, де потрібно дистанційне оперативне вимірювання відстаней, з високою точністю та роздільною здатністю.

Широкому впровадженню світлодалекомірної апаратури в наукові дослідження, нові технічні розробки, сприяв інтенсивний розвиток оптоелектронної елементної бази. Поява напівпровідникових лазерів і світлодіодів, високочутливих малощумливих фотоелементів (фотодіодів і фототранзисторів), оптичних модуляторів, світловодів та іншої оптоелектронної малогабаритної, і в більшості своїй мініатюрного виконання, сприяло розробці та розповсюдженню компактних електронних світлодалекомірів [1].

Постановка завдання

Основними методами побудови апаратури для вимірювання відстаней є імпульсний та фазовий методи [1, 2]. Імпульсний метод дозволяє виконувати світлодалекоміри для вимірювання великих відстаней від десятків метрів до десятків кілометрів, наприклад, авіаційні вимірювачі. Окрім того, подіб-

на апаратура більш проста та має низьку вартість. До недоліків цієї апаратури слід віднести низьку точність вимірювання, яка, залежно від відстані, може сягати від 1 м до 10 м, на прикладі зразків серійних світлодалекомірів Victory RF, EG-LRF, 1D26, а також похибки, що виникають при спотворенні відбитого зонду чого імпульсу [3].

Фазовий метод, навпаки, характеризується високою точністю вимірювання (до 0,5 мм) та роздільною здатністю, але меншою відстанню вимірювання, що пов'язано з багатократним повторенням фази зондуючих коливань та складністю його врахування і обчислення. Так, наприклад, 4 світлодалекоміри фірми Leica забезпечують вимірювання в межах 0,05-200 м, а фірми Bosh і того менше 40-70 м. В той же час, використання спеціальних методів, наприклад, зондування рознесеними частотами, дозволяє дещо зменшити цей недолік і розширити межі вимірювання відстаней, зберігаючи високу точність [3]. Фазові світлодалекоміри, окрім вимірювання відстаней, можуть також використовуватися для реєстрації швидкості, визначення профілю об'єкта дослідження тощо. Важливим при подібних вимірюваннях є забезпечення високої чутливості та мінімізація впливу завад і шумів зовнішнього середовища і об'єкта зондування [4-10].

Метою даної роботи є створення цифрового лазерного вимірювача відстаней, який поєднує в собі високу точність вимірювання відстані та роздільну здатність. Досягати цього пропонується внаслідок використання єдиного джерела кварцової високостабільної частоти, з якої формується низька частота модуляції світлового потоку, фазовий інтервал, пропорційний відстані до об'єкта дослідження, та дві частоти квантування. Окрім того, запропоновано алгоритм вибору співвідношення цих частот, що дозволяє підвищити точність вимірювання фазового інтервалу.

Розробка та аналіз структурної схеми цифрового вимірювача відстані

Відомо, що час відгуку на зондуючий сигнал на відстані від 1 м до 10 км пропорційно змінюється від 6,7 нс до 67 мкс, а відстань визначається за формулою [3]:

$$L = \frac{1}{2s} ct, \tag{1}$$

де c – швидкість світла, t – час проходження сигналу, S – показник, що характеризує середовище, який за сприятливих умов проходження світлового зондуючого сигналу можна вважати $s \approx 1$.

Формула (1) є загальною для визначення відстані світлодальномірів, яку використовують, вимірюючи час проходження сигналу до об'єкта дослідження.

Розрахунок дальності до об'єкта для фазових дальномірів виконується за більш складною формулою [3]:

$$L = c \frac{\varphi_x}{2\pi F_m}, \tag{2}$$

де φ_x – фазовий зсув, пропорційний подвоєній відстані до об'єкта, F_m – частота модуляції світлового потоку вимірювача.

Формула (2) справедлива за відсутності фазових зсувів між каналом генерації сигналу (передавача) та його сприймання (приймача), в іншому випадку, формула приймає вигляд:

$$L = c \frac{\varphi_x - \varphi_0}{2\pi F_m}, \tag{3}$$

де φ_0 – внутрішній фазовий зсув (фазова неідентичність) каналів світлодальноміра, яку необхідно врахувати при вимірюванні відстані.

Для однозначності відліку максимальної відстані у фазовому методі необхідне виконання умови, що $\varphi_x \leq 2\pi$, а подвоєна відстань L не повинна перевищувати довжину хвилі частоти модуляції. Оптимальним варіантом є використання φ_x в межах від 0 до 180° , а максимальна відстань при цьому визначається виразом [2].

$$2L_{\max} \leq \frac{1}{2} T_m c, \tag{4}$$

де T_m – період низької частоти модуляції F_m .

На рис. 1 представлена розроблена авторами структурна схема цифрового оптичного вимірювача відстані, яка повною мірою реалізує заявлену мету даного дослідження.

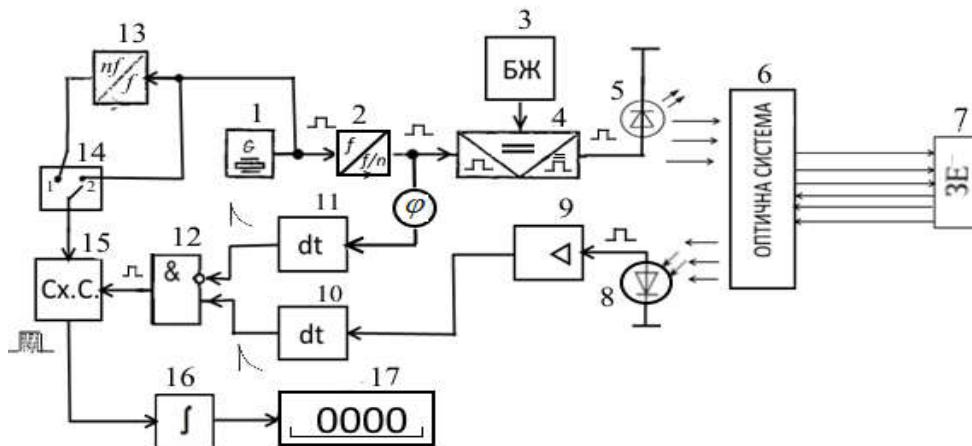


Рис. 1. Структурна схема фазоімпульсного вимірювача відстаней

Позначення на рис. 1: 1 – кварцовий генератор імпульсів; 2 – подільник частоти; 3 – блок живлення; 4 – імпульсний модулятор; 5 – лазерний випромінювач; 6 – оптична система; 7 – об'єкт дослідження; 8 – фотоелемент; 9 – підсилювач; φ_0 – фазообертач опорного каналу; 10,11 – ланки диференціювання; 12 – тригер; 13 – помножувач частоти; 14 – перемикач імпульсів квантування; 15 – схема спів-

падань; 16 – цифровий накопичувальний інтегратор; 17 – лічильник.

Опис алгоритму перетворення сигналів в каналах вимірювача

Робота фазоімпульсного вимірювача відстаней забезпечується наступним чином. Елементи структурної схеми 1 – 5 являють собою канал формування

опромінюючого сигналу (генераторний канал). В режимі вимірювання відстані до об'єкта, кварцовий генератор 1 формує високочастотний сигнал частотою f_k . З виходу кварцового генератора 1 сигнал подається на дільник частоти 2, з коефіцієнтом ділення n . На виході дільника 2 отримуємо сигнал низької частоти модуляції $F_m = f_k/n$, форма якого показана на епюрі рис. 2, а.

Сигнал частоти F_m подається на модулятор 4 та на вхід диференційної ланки 11, на виході якої формується короткий імпульс, що використовується в якості опорного імпульсу рис. 2, в. Окрім того, сигнал кварцового генератора подається також на перемикач імпульсів квантування 14 та перемножувач частоти 13 з коефіцієнтом перемноження m , забезпечуючи умови формування двох частот квантування f_k та mf_k .

Імпульси низької частоти періодично модулюють світловий потік лазера 5, який через оптичну систему 6 випромінюється в напрямку об'єкта зондування 6. Відбиті імпульсні сигнали, з деякою часою затримкою $t_r = \varphi_x$, від об'єкта 7 потрапляють через оптичну систему 6 на фотоелемент 8 та підсилювач 9.

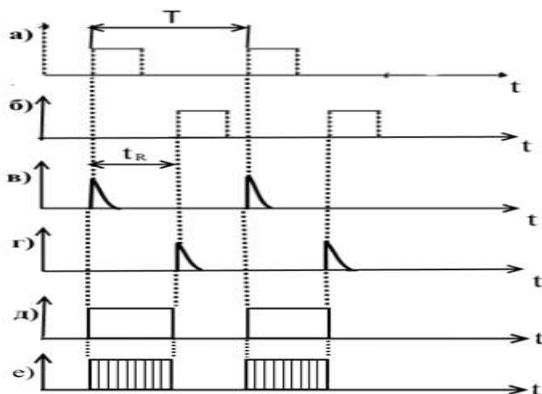


Рис. 2. Епюри напруг вимірювача відстаней

Форма сигналу на виході підсилювача показана на епюрі рис. 2, б. Після диференціювання отриманого сигналу в ланці 10 (рис. 2, г), тригер 12 формує часовий інтервал, пропорційний відстані до об'єкта $2L$ (рис. 2, д), який подається на схему співпадання 15 і заповнюється квантуючими імпульсами частоти f_k або mf_k . Сформований сигнал у вигляді «пачки» імпульсів (рис. 2, е) поступає на цифровий інтегратор 16 та лічильник 17, де проводиться часове усереднення для підвищення стабільності показів лічильника та операція ділення для визначення істинного значення відстані L до об'єкта зондування.

Перед вимірюванням відстані при наявності фазової неідентичності φ_0 (3) між передавальним і приймальним каналами необхідно провести процес установки нуля, для чого оптичну систему екрану-

ють відбиваючим дзеркалом і фазообертачем φ_0 , встановлюють нульовий показ лічильника.

Вибір частоти модуляції світлового потоку лазера та частоти квантування часового проміжку проводиться, виходячи із умови:

$$N = \frac{f_k}{F_m} = 3600, \quad (5)$$

що забезпечує можливість прив'язки виділеного часового інтервалу до зсуву фази прийнятого сигналу.

Так, наприклад, за значенням кварцової частоти $f_k = 1$ МГц, її період складає $T_k = 1$ мкс, частоту модуляції F_m після дільника 2 отримуємо 277,7 Гц, а її період 3600 мкс. Таким чином, заповнюючи виділений інтервал імпульсами 1 МГц, отримуємо електронну шкалу, де один імпульс високої частоти квантування еквівалентний фазовому зсуву $0,1^0$, а при отриманні на виході помножувача 13 частоти квантування 10 МГц, роздільна здатність визначення фазового інтервалу φ_x зростає до $0,01^0$.

Роздільну здатність за відстанню можна визначити із формули

$$l_{\min} = \frac{L}{N}, \quad (6)$$

де L – відстань до об'єкта, N – кількість імпульсів квантування.

За відстані 1 км та частоти квантування 1 МГц $l_{\min} = 0,27$ м, а за частоти квантування 10 МГц $l_{\min} = 2,7$ см.

Слід відмітити, що задній фронт часового інтервалу рис. 2, д, сформованого із відбитого сигналу, внаслідок впливу параметрів навколишнього середовища S , нерівностей поверхні досліджуваного об'єкта та інших причин зазнає як амплітудних, так і фазових флуктуацій (коливань та зміщень). Введення цифрового накопичувального інтегратора 16 дозволяє, наприклад, в 10 або 100 разів зменшити вплив цих складових шляхом визначення середнього значення «пачки» імпульсів із вибраного числа інтегрування.

Висновки

Розглянутий оптичний вимірювач відстані (світлодальномір) має певні переваги, які полягають в наступному:

1. Використання єдиного джерела кварцованої частоти для формування низької частоти модуляції світлового потоку, частот квантування виділених часово-фазових інтервалів збільшує стабільність параметрів, як випромінюваного світлового потоку, так і сигналів відгуку при їх перетворенні.
2. Алгоритм вибору співвідношення цих частот дозволяє підвищити точність та роздільну здатність вимірювання відстані завдяки отриманій можливості зміни частоти квантування та вагомості електронної шкали.
3. Введення цифрової обробки сигналів та інтегрування виділеного фазового інтервалу підвищує

стійкість вимірювача до впливів зовнішнього середовища на параметри світлового потоку.

4. Подальшим перспективним дослідженням та розвитком запропонованого технічного рішення може бути розробка схеми компенсації апаратних шумів вимірювального каналу, з використанням додаткового комутаційного-модуляційного перетворення, що забезпечить підвищення чутливості світлодальноміра і збільшить дальність вимірювання запропонованого пристрою.

Література

1. Аснис Л. А., Васильев В. П., Волконский В. Б. Лазерная дальнометрия. Москва: Радио и связь, 1995. 256 с.
2. Бауман Н. Э., Карасик В. Е. Лазерные приборы и методы измерения дальности. Москва: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2012. – 92 с.
3. Карасик В. Е., Бауман Н. Э., Орлов В. М. Лазерные системы видения. Москва: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. 352 с.
4. Метод покращення співвідношення прийнятого сигналу та шуму лазерного далекоміра: Пат. США № 7184130, 27 лютого 2007 р.
5. Оптическое вимірювання дальності: Патент США № 6753950, 22 червня 2004 р.
6. Антонов А. Сканирующие лазерные дальнометры // Современная электроника. 2016. №1. С. 10 – 15.
7. Абрамов А. И. Разработка лазерных дальномеров-биноклей на Красногорском заводе им. С. А. Зверева / А. И. Абрамов, А. Б. Бельский, А. А. Зборовский, Б. Б. Иванов // Оптический журнал. 2009. № 8. С. 18 – 21.
8. Волков В. Г. Малогабаритные лазерные дальнометры // Специальная техника. 2007. №5. С. 2 – 13.
9. Лазерный Дальномер: Пат. РФ №2343413, 2009.
10. Ставров А. А., Поздняков М. Г., Импульсные лазерные дальнометры для оптико-локационных систем, БГУИР, Минск, №2644-п, 2003.

УДК 621.375

А. Ф. Яненко, А. Э. Арустамян

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

ЦИФРОВОЙ ФАЗОЧАСТОТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ РАССТОЯНИЙ

Оптические измерители расстояния позволяют проводить измерения расстояний до различных объектов зондирования. Одной из проблем при этом является обеспечение высокой стабильности, точности и разрешения светодальномеров. Поэтому исследования и улучшения этих параметров являются актуальными. В статье рассмотрен вариант построения структурной схемы фазоимпульсного измерителя расстояния с использованием высокостабильного кварцевого генератора. Использование единого источника кварцовой частоты для формирования низкой частоты модуляции светового потока, опорной частоты измерительного канала и двух импульсных частот квантования, выделенных фазовых интервалов, увеличивает стабильность параметров, как излучаемого светового потока, так и сигналов отклика при их преобразовании.

Предложенный алгоритм выбора соотношения частоты модуляции и частот квантования позволяет повысить точность и разрешение измерения расстояния, благодаря полученной возможности изменения частоты квантования и значимости электронной шкалы. Введение цифровой обработки сигналов и интегрирования выделенного фазочастотного интервала повышает устойчивость измерителя к шумовым воздействиям внешней среды и конфигурации объекта исследования на параметры светового потока.

Ключевые слова: оптические измерители, частота квантования, точность, разрешающая способность, кварцевый генератор.

O. P. Yanenko, A. E. Arustamian

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

DIGITAL PHASE FREQUENCY METER DISTANCE

Problems. Optical distance meters allow measurements of distances to various probing objects. One of the problems is to provide high-resolution, precision and resolution of light-range finders. Therefore, research and improvement of these parameters is relevant.

The purpose of the research. In the article the variant of construction of the structural scheme of the phase-pulse distance meter is used with the use of a highly stable quartz oscillator.

Implementation method. The use of a single source of quartz frequency for the formation of a low frequency modulation of the light flux, the reference frequency of the measuring channel and two pulses of quantization frequencies, the selected phase intervals, increases the stability of the parameters of both the emitted light flux and the response signals when converted.

Conclusions. The proposed algorithm for choosing the ratio of frequency modulation and quantization frequencies can improve the accuracy and resolution of distance measurement, due to the possibility of changing the quantization fre-

quency and the weight of the electronic scale. The introduction of digital signal processing and the integration of the dedicated phase-frequency range increases the resistance of the meter to the noise effects of the external environment and the configuration of the object of study on the parameters of the light flux.

Key words: optical meters, quantization frequency, accuracy, resolution, quartz oscillator.

Надійшла до редакції

28 березня 2018 року

Рецензовано

18 квітня 2018 року

УДК 623.61+621.396.6

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ

Рижов Є. В.

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного,

Львів, Україна

E-mail: zheka1203@ukr.net

У статті запропонована удосконалена методика обґрунтування послідовності і кількості мінімально необхідних параметрів для проведення метрологічного обслуговування техніки зв'язку, яка відрізняється від відомих комплексним врахуванням часових та вартісних показників якості метрологічного обслуговування, що впливає на послідовність і кількість вимірювання значень параметрів, та знижує вартість засобів вимірювальної техніки за рахунок обслуговування мінімально необхідної кількості параметрів без зниження ймовірності правильної оцінки технічного стану техніки зв'язку. А також розглянуто вплив метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на значення комплексного коефіцієнту параметрів техніки зв'язку при визначенні послідовності їх вимірювання.

Ключові слова: метрологічне обслуговування, технічне обслуговування, оцінка технічного стану, метрологічна надійність, техніка зв'язку.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Необхідність оцінки реального технічного стану (ТС) техніки зв'язку (ТЗ) виникає при її метрологічному обслуговуванні (МОБ) під час технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР) [1 – 4]. При цьому потрібно за встановлений час, що визначається інструкціями з експлуатації або керівними документами з надійності та ремонтпридатності, шляхом вимірювання у встановленій послідовності значень деякої кількості параметрів із сукупності можливих із завданням або максимально можливою ймовірністю оцінити ТС виробу. В даний час у зв'язку з недостатнім фінансуванням заходів технічної експлуатації ТЗ актуальним є завдання мінімізації витрат на МОБ, що не враховують відомі методики [5, 6], орієнтовані на мінімізацію часу ТО або ПР.

В [5, 6] запропоновано послідовність вимірювання значень параметрів ТЗ під час її МОБ виконувати в порядку збільшення комплексного коефіцієнта

$$W_i = K_n R_{n_i} + K_e R_{e_i} + K_v R_{v_i},$$

де K_n, K_e, K_v – вагові коефіцієнти важливості параметра, кількості елементів, що впливають на його формування, та часу вимірювання;

$R_{n_i}, R_{e_i}, R_{v_i}$ – ранг важливості параметра i , кілько-

сті елементів, що впливають на його формування та часу вимірювання, відповідно.

Значення $K_n = 0,5$; $K_e = 0,3$; $K_v = 0,2$ встановлено в [5] експертним опитуванням провідних фахівців в галузі технічної експлуатації ТЗ. Значення R_{n_i} також встановлюють експертним опитуванням фахівців залежно від вимог користувачів конкретних видів ТЗ. Ранг R_{e_i} визначають за результатами аналізу схеми зразка ТЗ. Ранг R_{v_i} визначають з аналізу інструкції з ТО ТЗ, або часу вимірювань конкретних параметрів під час ПР. При цьому межі зміни W_i не обмежені і не зрозуміло його фізичний зміст.

Тому мета статті – подальший розвиток відомих методик МОБ ТЗ в напрямку мінімізації витрат при забезпеченні часу МОБ ТЗ не більше необхідного врахуванням метрологічної надійності.

Виклад основного матеріалу

Для усунення встановлених недоліків пропонується додатково роздільно враховувати показники часу і вартості вимірювань окремих параметрів, а також використовувати нормоване значення $0 < W_i \leq 1$. В такому разі комплексний коефіцієнт