

УДК 621.375: 621.378.8

**МОДУЛЯЦІЙНИЙ ОПТИЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ ВІДСТАНІ З
ФАЗОЧАСТОТНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ СИГНАЛУ***Яненко О. П., Шевченко К. Л., Клочко Т. Р.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: op291@meta.ua*

Оптичні вимірювачі (світлодалекоміри) дозволяють проводити вимірювання відстаней до різноманітних об'єктів в багатьох сферах життєдіяльності людини. Побудова оптичних вимірювачів відстані проводиться з використанням двох основних методів: імпульсного та фазового. Кожний із них має свої недоліки та переваги. Так, імпульсний метод забезпечує широкий діапазон відстаней з прийнятною точністю, а фазовий – високу точність, але на малих відстанях.

Авторами статті запропоновано метод вимірювання відстані з фазочастотним перетворенням інформаційних сигналів та створений на цій основі модуляційний вимірювач відстані, який має певні переваги і, перш за все, забезпечує розширення меж вимірювання відстані.

Розроблено алгоритм вибору частоти модуляції та її співвідношення з частотами квантування, який забезпечує фазовий зв'язок між періодами (а в кінцевому стані між фазовими співвідношеннями) частоти модуляції і квантування та виділенням фазовим інтервалом. Для збільшення стабільності частоти модуляції світлового потоку, опорної частоти та частот квантування, виділеного інформаційного фазового інтервалу, використано єдиний кварцовий генератор. Введена функція структурного регулювання електронної шкали із зміною її вагомості, що дозволяє підвищувати точність і роздільну здатність вимірювача. Забезпечена можливість цифрової обробки сигналів (інтегрування, визначення середнього рівня, математичної обробки та виділення інформації щодо вимірюваної відстані) для зниження шумових впливів, підвищення стабільності параметрів сигналу та точності його вимірювання.

Ключові слова: *модуляційний світлодалекомір; відстань; фазочастотне перетворення; частота квантування; точність вимірювання; роздільна здатність.*

Вступ

Одним із перспективних методів, що використовується в різних галузях науки і техніки, є фазовий метод, за якого вимірювана величина перетворюється у фазовий зсув двох сигналів [1, 2].

Вимірювання фази, поряд з вимірюванням частоти, відноситься до найбільш завадозахищених методів вимірювання фізичних величин [2, 3]. Фазові методи знаходять широке застосування в радіолокації та військовій справі, радіонавігації та радіозв'язку, геодезії та геології для вимірювання відстаней, точного визначення розташування об'єктів, в експериментальній фізиці, матеріалознавстві та системах контролю різноманітних фізичних величин [3-6]. Окрім того, можливості фазових вимірювань перспективні також у біології та медицині для діагностики стану біологічних об'єктів шляхом зондування слабкими монохроматичними радіочастотними сигналами [6].

Повною мірою сказане відноситься і до галузі оптичних способів і засобів вимірювання відстаней, які з високою точністю і роздільною здатністю можуть забезпечувати вирішення різноманітних просторових задач, починаючи від будівельних і закінчуючи військовими. У той же час, відомі методи та засоби оптичного зондування об'єктів

дослідження мають також і деякі недоліки, усунення яких сприяло б подальшому розвитку цього напрямку.

Тому розгляд проблеми удосконалення та покращення можливостей апаратури вимірювання відстані є своєчасним і актуальним. У зв'язку з наведеним, авторами запропоновано новий алгоритм (спосіб) формування та обробки інформаційних сигналів, а також удосконалено структуру побудови оптичного вимірювача дальності із розширеними технічними можливостями з використанням сучасної елементної бази.

Аналіз існуючих методів та засобів вимірювання відстані

Основними методами, що застосовуються для побудови апаратури вимірювання відстаней з використанням оптичних сигналів, є імпульсний та фазовий [4, 7, 8]. За необхідності вимірювання великих відстаней, від десятків метрів до десятків кілометрів, наприклад, у радіоастрономії та радіолокації, зазвичай використовують імпульсний метод. Метод забезпечує меншу точність вимірювання, але простий в реалізації при відносно низькій вартості апаратури. Похибки серійних імпульсних світлодалекомірів, залежно від відстані, можуть

знаходиться у межах від 1 до 10 м, що є одним із недоліків подібної апаратури. За максимальної відстані вимірювання 1200 м похибка вимірювання, наприклад, світлодалекомірів Victory RF фірми Carl Zeiss складає 1 м, вимірювача EG - LRF фірми «Полюс» на відстані 25,5 км – 5 м. Лазерний цілевказівник-далекомір 1Д26 Красногорського заводу (Росія) на відстані до 600 м має похибку 0,2 % та 0,5 % на більшій відстані [7-10]. До недоліків імпульсних далекомірів слід віднести також можливість спотворення сигналу та виникнення додаткових просторових похибок на максимальних вимірюваних відстанях.

Для проведення більш точних вимірювань (до часток мм) на коротких відстанях, наприклад, в будівництві, переважно використовують фазові світлодалекоміри. Зазвичай діапазон вимірювання серійних світлодалекомірів фірми Leica складає 0,05...200 м, а фірми Bosh – 40...70 м [8-10].

Похибка подібних світлодалекомірів знаходиться в межах одиниць або часток міліметрів. Одним із методів, який дозволяє розширити діапазон вимірювання відстаней із фазовим представленням вимірювальної інформації та забезпеченням високої точності, є метод зондування рознесеними частотами [4]. Розглянемо особливості зазначених методів вимірювання дальності.

За використання оптичного зонduючого імпульсного сигналу час його проходження в межах від 1 м до 10 км змінюється від 6,7 нс до 67 мкс. Відстань до об'єкта дослідження, в цьому випадку, визначається за формулою [8]

$$L = ct / 2s, \quad (1)$$

де c – швидкість світла; t – час проходження сигналу; s – показник, що характеризує середовище, який за відсутності атмосферних завад для оптичних сигналів (туману, дощу, снігу), можна вважати за $s \approx 1$.

Формула (1) є загальноприйнятною для визначення відстані світлодалекомірів, без посилання на метод формування сигналу.

В той же час, розрахунок і уточнення дальності до об'єкта дослідження фазовим методом виконується за формулою, де фазовий зсув еквівалентний часу проходження сигналу [8]:

$$L = c\varphi_x / 2\pi F_m, \quad (2)$$

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

За наявності фазових зсувів між каналами генерації сигналу та його сприймання можливе виникнення додаткової похибки, яку необхідно враховувати в процесі вимірювання. Тому формула (2) набуває вигляду:

$$L = c(\varphi_x - \varphi_0) / 2\pi F_m, \quad (3)$$

де φ_0 – внутрішній фазовий зсув (фазова неідентичність) каналів світлодалекоміру.

Однозначність відліку за максимальної відстані у фазовому методі забезпечується за умови $\varphi_x \leq 2\pi$, а подвоєна відстань L водночас не повинна перевищувати довжину хвилі частоти модуляції F_m . Оптимальним варіантом є використання φ_x в межах від 0 до 180°.

Мета роботи та постановка задачі

Таким чином, враховуючи результати аналізу, метою даного дослідження є розробка способу та створення цифрового фазочастотного лазерного далекоміра, що поєднує в собі переваги фазового та імпульсного методів. Для реалізації цієї задачі авторами запропоновано спосіб та алгоритм формування та обробки інформаційних сигналів. Використовуючи ці результати, розроблено структуру двоканальної цифрової системи вимірювання відстані.

Суть запропонованого способу вимірювання відстані з використанням фазочастотного перетворення сигналу

Спосіб із фазочастотним формуванням і перетворенням інформаційних сигналів, запропонований авторами, описаний в [11].

Особливості способу полягають у наступному.

В двоканальній схемі фазового вимірювача джерелом сигналів слугує опорний кварцовий генератор високої частоти f_0 . З сигналу високої частоти f_0 формують імпульси низької частоти $F_m = f_0 / n$ для модуляції світлового потоку, імпульсів опорного каналу та імпульсів заповнення виділеного фазового інтервалу. Спосіб передбачає введення початкової операції установки фазового нуля далекоміра $\varphi_0 = 0$, а також вибору частоти опорного генератора f_0 та частоти модуляції світлового потоку лазера F_m , виходячи із умови $f_0 = 3600 F_m$.

Процес приймання та вимірювання відбитого сигналу включає в себе ряд послідовних операцій. Зокрема, це здійснення модуляції оптичного сигналу, опромінення об'єкта дослідження та отримання сигналу відгуку. Відбиті світлові імпульси фотоприймачем перетворюються у відео імпульси частоти модуляції. Далі диференціюванням опорного та відбитого імпульсів, з опорного сигналу низької частоти F_m формують імпульс початку вимірювання «старт», а з відбитого сигналу імпульс зупинки вимірювання «стоп». Із отриманих імпульсів формується часовий інтервал, пропорційний відстані до об'єкта та фазовому зсуву між вимірювачем і об'єктом вимірювання. Отриманий

часовий інтервал заповнюється імпульсами опорного сигналу f_0 , проводиться цифровий підрахунок кількості імпульсів і накопичувальне інтегрування та математичне визначення серії імпульсів, які пропорційні вимірюваній відстані.

У результаті отримуємо значення відстані в електронній шкалі L_1 та уточнення відстані внаслідок заповнення отриманого інтервалу імпульсами помноженої частоти mf_0 , в точній електронній шкалі L_2 . Таким чином забезпечується спрощення

алгоритму перетворення сигналів і його технічна реалізація, підвищення точності, роздільної здатності та збільшення діапазону вимірювання дальності.

Структурна схема вимірювача відстані з фазочастотним перетворенням сигналу та опис алгоритму його роботи

Запропоновану авторами структурну схему оптичного вимірювача відстані [12], наведено на рис. 1.

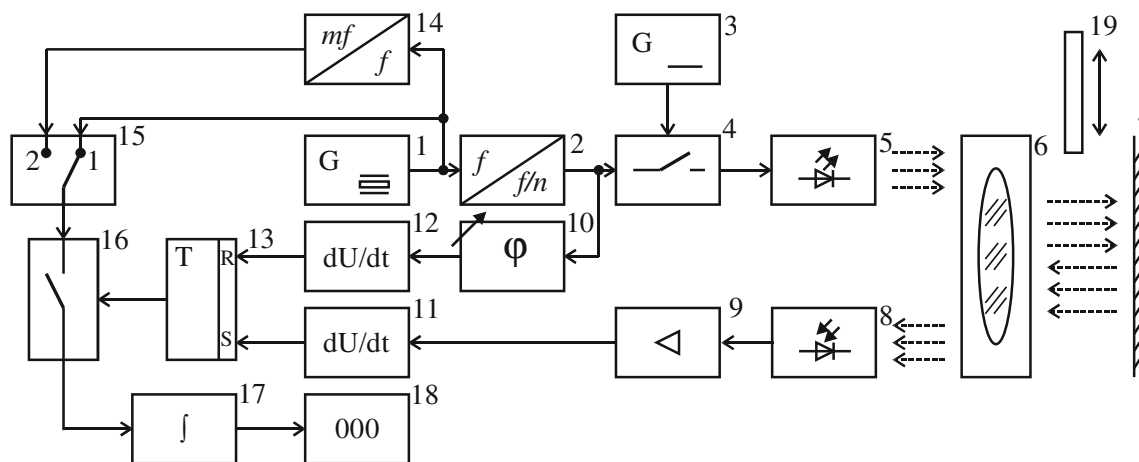


Рисунок 1. Структурна схема фазочастотного вимірювача відстаней

Схема містить кварцовий генератор імпульсів 1, дільник частоти 2, блок живлення 3, керований комутатор (модулятор світлового потоку) 4, лазерний випромінювач 5, оптичну систему 6, досліджуваний об'єкт 7, фотоприймач 8, підсилювач 9, фазообертач опорного каналу 10, диференціатори 11 та 12, тригер 13, помножувач частоти 14, перемикач імпульсів квантування 15, керований ключ (схема збігів) 16, цифровий накопичувальний інтегратор 17, лічильник 18 та відбиваюче дзеркало 19.

Опис алгоритму перетворення сигналів в каналах вимірювача

Робота фазочастотного вимірювача відстаней забезпечується наступним чином. Елементи структурної схеми 1 – 5 представляють собою канал формування опромінюючого сигналу (генераторний канал), а елементи 8, 9, 11, 13 – канал обробки відбитого сигналу (вимірювальний канал). Відповідні осцилограми напруг сигналів схеми запропонованого вимірювача наведені на рис. 2.

В режимі вимірювання відстані до об'єкта дослідження кварцовий генератор 1 формує сигнал високої частоти f_0 , який подається на дільник частоти 2 з коефіцієнтом ділення – n . На виході дільника 2 формується прямокутний сигнал низької частоти модуляції [3]:

$$u_1(t) = U_m \text{sign} \sin(\Omega t + \varphi_0), \quad (4)$$

де U_m , $\Omega = 2\pi F_m$, φ_0 – відповідно амплітуда, колова частота та початкова фаза напруги комутації; $\text{sign} \sin \Omega t$ – сигнум функція періодичного процесу.

Перед вимірюванням відстані, за наявності фазової розбіжності між опорним і вимірювальним каналами, проводиться процес установки нуля системи. Для цього оптичну систему екранують відбиваючим дзеркалом 19 і фазообертачем 10. Перед початком вимірювання компенсуємо фазовий зсув φ_0 та отримуємо кінцевий опис напруги комутуючого сигналу

$$u_2(t) = U_m \text{sign} \sin 2\pi F_m t. \quad (5)$$

З кварцового генератора сигнал подається також на перетворювач частоти 14 із коефіцієнтом перемноження – m , та перемикач імпульсів квантування 15 для формування двох частот квантування – f_0 та mf_0 .

Проходження сигналу низької частоти модуляції F_m з дільника 2 через фазообертач 10 на вхід диференціатора 12, забезпечує формування опорних імпульсів, як показано на (рис. 2, в). Низько-частотний сигнал (5) F_m через керований комутатор 4 забезпечує підключення живлення та пері-

одичне формування оптичного променя лазерним випромінювачем 5, форма якого наведена на рис. 2, а:

$$u_3(t) = S_1 U_{oc} U_m \sin \omega t \times \text{signs} \sin 2\pi F_m t, \quad (6)$$

де U_{oc} і ω – відповідно амплітуда і частота оптичного сигналу; S_1 – крутизна перетворення керуваного комутатора 4.

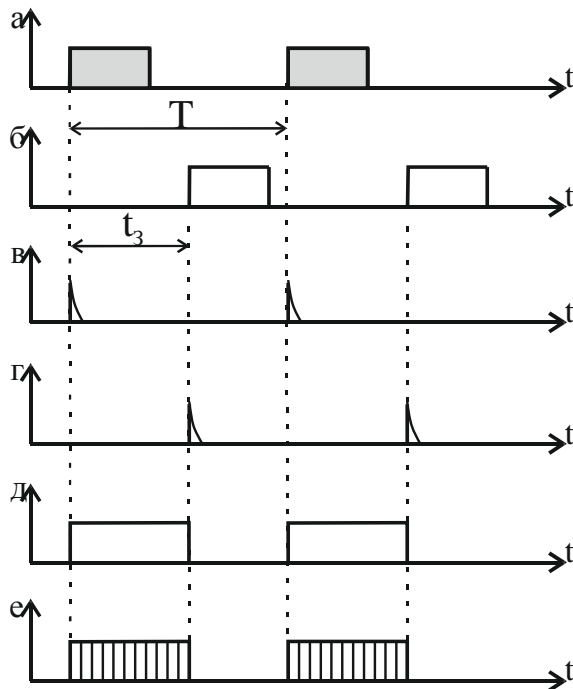


Рис. 2. Осцилограми напруг вимірювача відстаней

Модульований світловий потік (6) лазерного джерела 5 через оптичну систему 6 випромінюється в напрямку досліджуваного об'єкта 7.

В результаті, з деякою часовою затримкою, яка тотожна фазовому зсуву та подвоєній відстані до об'єкта дослідження, отримуємо відбитий оптичний сигнал:

$$u_4(t) = U_{oc} U_m S_1 K_c K_o \sin \omega t \times \text{signs} \sin(2\pi F_m t + t_3) = \\ = K_{\Sigma} U_{oc} U_m \sin \omega t \times \text{signs} \sin\left(2\pi F_m t + \frac{2L_x}{c}\right), \quad (7)$$

де K_c – коефіцієнт ослаблення сигналу в середовищі розповсюдження; K_o – коефіцієнт відбивної здатності об'єкта дослідження; t_3 – часова затримка прийнятого сигналу відносно опромінюючого; $K_{\Sigma} = S_1 K_c K_o$ – сумарний коефіцієнт перетворення оптичного сигналу.

Відбитий сигнал (7) через оптичну систему 6, поступає на фотоприймач 8, на виході якого виділяються прямокутні відео імпульси з часовим зсувом, пропорційним подвоєній відстані до досліджуваного об'єкта, які представлені на рис. 2, б.

$$u_5(t) = K_{\Sigma} S_2 U_m \sin \omega t \times \text{signs} \sin\left(2\pi F_m t + \frac{2L_x}{c}\right), \quad (8)$$

де S_2 – крутизна перетворення фотоприймача

Після підсилення в 9 зворотні (відбиті) імпульси поступають на диференціатор 11. Водночас на диференціатор 12 надходять прямі (опорні) імпульси, що модулюють світлове випромінювання. На виходах диференціаторів формуються короткі імпульси. Причому із переднього фронту опорного сигналу низької частоти F_m формується імпульс початку вимірювання «старт» (рис. 2, в), а з переднього фронту прямокутного імпульсу відбитого сигналу (рис. 2, г) – імпульс зупинки вимірювання «стоп».

З виходів диференціаторів короткі імпульсні сигнали поступають на тригер 12, на виході якого формуються прямокутні імпульсні інтервали, тривалість яких пропорційна подвоєній відстані до об'єкта дослідження (рис. 2, д). Вихідний сигнал тригера керує ключем 16, при відкритті якого сформовані інтервали заповнюються імпульсами квантування частоти f_0 або mf_0 (залежно від положення перемикача 15).

Сформований сигнал у вигляді «пачок» імпульсів (рис. 2, е) поступає на цифровий інтегратор 17 та лічильник 18, де проводиться їх часове усереднення та визначення значення відстані до об'єкта вимірювання. Цим забезпечується стабільність показів лічильника та збільшується точність вимірювання.

Запропонований вимірювач передбачає можливість вибору частоти опорного генератора f_0 та частоти модуляції світлового потоку F_m , виходячи із співвідношення

$$N = f_0 / F_m = 3600, \quad (9)$$

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

Реальний вибір частот квантування та модуляції із збереженням вимоги (9) може бути довільним. В той же час, авторами запропоновано оптимальний варіант вибору частот з огляду на вимірювання дальності, точності та роздільної здатності, який полягає в наступному.

Значення кварцової частоти опорного генератора встановлюємо $f_0 = 1$ МГц. Тривалість періоду цієї частоти складає $T_0 = 1$ мкс, частоту модуляції F_m після дільника 2 з урахуванням співвідношення (9) отримуємо 277, (7) Гц. Тривалість періоду отриманої низької частоти складає 3600 мкс, а в прив'язці до фазової шкали отримуємо ціну поділки

$$\Delta\varphi = 2\pi / 3600 = 0,1^\circ. \quad (10)$$

Вибрані значення частоти опорного генератора та частоти модуляції світлового потоку характеризуються високою стабільністю та використовуються

для заповнення сформованого тригером 13 часового інтервалу, пропорційного відстані до об'єкта дослідження.

В результаті, заповнюючи виділений часовий інтервал імпульсами частотою 1МГц, в положенні 1 перемикача імпульсів квантування 15, отримуємо електронну шкалу L_1 , де один імпульс високої частоти квантування відповідає фазовому зсуву $0,1^\circ$.

Переключення перемикача 15 в положення 2 забезпечує проходження на ключ 16 з помножувача частоти 14 імпульсів квантування частотою 10 МГц. Водночас, формується більш точна електронна шкала L_2 , а роздільна здатність визначення фазового інтервалу зростає до $0,01^\circ$.

Розрахована роздільна здатність за відстанню 1 км та частотою квантування 1 МГц складає $l_{\min} = 0,27\text{ м}$, а за частоти квантування 10 МГц $l_{\min} = 2,7\text{ см}$. За вибраної частоти модуляції збільшується дальність зондування на десятки кілометрів та забезпечується однозначність відліку за максимальної відстані, оскільки подвоєна відстань L не перевищує довжину хвилі частоти модуляції F_m , яка для вибраної частоти складає близько 10^3 км .

Слід відмітити, що передній фронт часового інтервалу формується з високо стабільного опорного сигналу (рис. 2, в) забезпечуючи його «старт» та високу стійкість. В той же час задній фронт, сформований із відбитого сигналу («стоп»), внаслідок впливу параметрів навколишнього середовища, нерівності поверхні досліджуваного об'єкта та інших причин зазнає як амплітудних, так і фазових флуктуацій (коливань та зміщень). Введення цифрового накопичувального інтегратора 17 дозволяє, наприклад, від 10 до 100 разів зменшити вплив цих складових внаслідок визначення середнього значення «пачки» імпульсів із вибраного числа інтегрування.

Висновки

Запропонований авторами метод вимірювання відстані з використанням фазочастотного перетворення сигналів та оптичний вимірювач відстані (світлодалекомір) має певні переваги, які полягають в наступному:

1. Розширенні меж вимірювання відстаней із збереженням переваг як імпульсного, так і фазового методів.

2. Розробці алгоритму вибору частоти модуляції та її співвідношення з частотами квантування, які забезпечують фазовий зв'язок між періодами (а в кінцевому стані між фазовими співвідношеннями) частоти модуляції і квантування та виділеним фазовим інтервалом.

3. Можливості структурного регулювання електронних шкал із зміною їх вагомості, що дозволяє підвищувати точність і роздільну здатність вимірювача.

4. Забезпеченні високої стабільності інформаційних сигналів за рахунок використання базового джерела опорного сигналу.

5. Поєднанні можливостей цифрової обробки сигналів (інтегрування, визначення середнього рівня, математичної обробки та виділення інформації щодо вимірюваної відстані) для підвищення стабільності параметрів вимірюваного сигналу.

Подальшою перспективою розвитку запропонованих технічних рішень представляється дослідження можливостей компенсації апаратних шумів вимірювального каналу для збільшення чутливості та дальності вимірювання відстаней.

Література

- [1] О. П. Галахова, Е. Д. Колтик, С. А. Кравченко, *Основи фазометрії*. Ленинград, СССР: Энергия, 1976.
- [2] *Измерения в радиоэлектронике. Справочник*, В. А. Кузнецов, Ред. Москва, СССР: Энергоатомиздат, 1987.
- [3] Д. Б. Головкин, Ю. О. Скрипник, О. П. Яненко, *Надвысокочастотные методы та засоби вимірювання фізичних величин: Навчальний посібник*. Київ, Україна: Либідь, 2003.
- [4] Н. Э. Бауман, В. Е. Карасик, *Лазерные приборы и методы измерения дальности*. Москва, Россия: МГТУ им. Баумана, 2012.
- [5] В. П. Куценко, Ю. О. Скрипник, Н. Ф. Трегубов, К. Л. Шевченко, О. П. Яненко, *Радиометричний НВЧ-контроль властивостей матеріалів*. Донецьк, Україна, 2012.
- [6] Ю. А. Скрипник, А. Ф. Яненко, В. Ф. Манойлов, Ю. Б. Гимпилевич, *Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов*. Житомир, Украина: Волинь, 2003.
- [7] Л. А. Аснис, В. П. Васильев, В. Б. Волконский, *Лазерная дальнометрия*. Москва, РФ: Радио и связь, 1995.
- [8] В. Е. Карасик, В. М. Орлов, *Локационные лазерные системы видения*. Москва, РФ: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013.
- [9] Интернет ресурс: <http://bastion-karpenko.ru/laser-1d26-atoll/> ВТС «Бастион»
- [10] Интернет ресурс: www.premium-optics.ru
- [11] О. П. Яненко, К. Л. Шевченко, Т. Р. Клочко, «Спосіб вимірювання відстані», Патент України на корисну модель № 134577, Бюл. № 10 від 27.05. 2019 р.
- [12] О. П. Яненко, К. Л. Шевченко, Т. Р. Клочко, «Світлодальномір», Патент України на корисну модель №132356, 25.02.2019 р. Бюл. № 4.

УДК 621.375: 621.378.8

А. Ф. Яненко, К. Л. Шевченко, Т. Р. Клочко

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

МОДУЛЯЦИОННЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ РАССТОЯНИЙ С ФАЗОЧАСТОТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ

Оптические измерители (светодальномеры) позволяют проводить измерения расстояний до различных объектов во многих сферах жизнедеятельности человека. Построение оптических измерителей расстояния проводится с использованием двух основных методов импульсного и фазового. Каждый из них имеет свои недостатки и преимущества. Так импульсный метод обеспечивает широкий диапазон расстояний с приемлемой точностью, а фазовый высокую точность, но на малых расстояниях. Авторами статьи предложен метод измерения расстояния с фазочастотным преобразованием информационных сигналов. На базе метода разработан модуляционный измеритель расстояния, который имеет определенные преимущества, и прежде всего, обеспечивает расширение пределов измерения расстояния. Разработан алгоритм выбора частоты модуляции и частот квантования, который обеспечивает связь между периодами (а в конечном состоянии между фазовыми соотношениями) частоты модуляции и квантования и выделенным фазовым интервалом. Для увеличения стабильности частоты модуляции светового потока, опорной частоты и частот квантования информационного фазового интервала использован общий опорный кварцевый генератор. Введена функция структурного регулирования электронной шкалы с изменением ее значимости, что позволяет повышать точность и разрешение измерителя. Обеспечена возможность цифровой обработки сигналов (интегрирования, определение среднего уровня, математической обработки и выделения информации об измеряемом расстоянии) для снижения шумовых воздействий, повышения стабильности параметров сигнала и точности его измерения.

Ключевые слова: модуляционный светодальномер; расстояние; фазочастотное преобразование; частота квантования; точность измерения; разрешение.

O. P. Yanenko, K. L. Shevchenko, T. R. Klotchko

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, Ukraine*

MODULATION OPTICAL DISTANCE GAUGE WITH PHASE-FREQUENCY SIGNAL CONVERSION

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. Expanding the limits of measuring distances, accuracy and resolution of the light rangefinder.

Implementation method. An algorithm for selecting the modulation frequency and its relationship with the quantization frequencies has been developed, which provides a phase relationship between the periods (and in the final state between the phase relationships) of the modulation and quantization frequencies and the selected phase interval. A single quartz oscillator was used to increase the stability of the luminous flux modulation frequency, the reference frequency and the quantization frequencies of the selected information phase interval. The function of structural adjustment of the electronic scale with change of its weight that allows to increase accuracy and resolution of the meter is entered. The possibility of digital signal processing (integration, determination of the average level, mathematical processing and selection of information on the measured distance) to reduce noise effects, increase the stability of signal parameters and accuracy of its measurement. Keywords: modulation light rangefinder, distance, phase-frequency conversion, quantization frequency, measurement accuracy, resolution.

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 frequency 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.

Keywords: modulation light range finder; distance; phase-frequency conversion; quantization frequency; measurement accuracy; resolution.

Надійшла до редакції
14 вересня 2020 року

Рецензовано
29 вересня 2020 року

УДК 681.26

ЕТАЛОННА БАЗА ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ

Ціпоренко О. В.

Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів»

(ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»), Київ, Україна

E-mail: tsiporenko@gmail.com

Вимірювання сили є важливим аспектом при випробуваннях та визначеннях характеристик агрегатів, деталей машин та матеріалів, будівельних матеріалів і конструкцій, якості металургійної продукції, а також під час оцінки відповідності перетворювачів сили та ваги. Метою даного дослідження є вибір оптимальної схеми та методології відтворення, зберігання та передавання розміру одиниці сили в країні, а також забезпечення її простежуваності до міжнародної системи одиниць вимірювань SI.

У роботі проаналізовано сучасні методи відтворення, зберігання та передачі розміру одиниці сили, а саме еталонні установки безпосереднього навантаження, гідравлічного підсилювання, важільного підсилювання та системи (групи) декількох перетворювачів сили, які можуть застосовуватися у якості еталонних метрологічними інститутами та калібрувальними лабораторіями. Розглянуто основні принципи роботи зазначених вище еталонних установок відтворення розміру одиниці сили, включаючи складові невизначеності вимірювання та природу їх походження із можливістю подальшого врахування при складанні бюджету невизначеності. Це дозволить в подальшому більш ретельно підійти до створення математичної відтворення розміру одиниці сили та планування експериментальної частини подальшого дослідження. Проаналізовано калібрувальні та вимірювальні можливості провідних світових метрологічних установ, які зберігають різні класи еталонних установок відтворення розміру одиниці сили, а саме діапазони відтворення розміру, невизначеності вимірювання, особливості експлуатації, габаритні розміри тощо.

Обґрунтовано доцільність створення державного еталона одиниці сили на підґрунті методу важільного підсилення, завдяки забезпеченню високої точності, компактності у порівнянні із іншими класами установок і легкості обслуговування, що дозволить посісти гідні позиції серед провідних світових метрологічних інституцій.

Ключові слова: сила; вимірювання; динамометр; невизначеність вимірювання; важільна установка; груповий метод.

Вступ. Постановка проблеми

Важко назвати галузь вимірювань, більш поширену у світі, ніж вимірювання маси у науці, промисловості, торгівлі, побуті. Основою усіх сучасних ваговимірювальних приладів є перетворювачі сили [1].

Враховуючи також традиційні галузі вимірювань сили під час визначення характеристик міц-

ності матеріалів, досліджень сили тяги двигунів у аерокосмічній галузі та авіаційній промисловості тощо, стає зрозумілою важливість забезпечення єдності вимірювань сили у країні. Після розпаду Радянського Союзу державний первинний еталон одиниці сили СРСР перейшов у власність Російської Федерації. Фактично Україна залишилась без системи забезпечення єдності вимірювання в галу-