

**ФАЗОВИЙ СВІТЛОДАЛЕКОМІР З АДАПТИВНОЮ СИСТЕМОЮ
ОПТИЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ**

І.О. Брагинець*, канд.техн.наук, **Ю.О. Масюренко****, канд.техн.наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна.
E-mail: masjuriy@ied.org.ua

Визначено похибку фазових лазерних далекомірів, обумовлену неоднаковими початковими фазами сигналів в режимах вимірювання відстані та калібрування. Описано алгоритм вимірювання фазового зсуву відбитого від контрольованого об'єкту сигналу, який забезпечує рівність початкових фаз сигналів в обох режимах роботи приладу. Це дає змогу суттєво збільшити швидкодію лазерних далекомірів такого класу при збереженні заданої точності вимірювання. Розглянуто структурну схему фазового світлодалекоміра, яка реалізує запропонований алгоритм вимірювання відстані. Бібл. 5, рис. 2.

Ключові слова: лазер, фазовий зсув, оптична калібрування, початкова фаза, адаптація.

Для безконтактного вимірювання невеликих відстаней до різних об'єктів з метою визначення їхніх геометричних параметрів найчастіше використовуються лазерні далекоміри, серед яких найвищу точність мають фазові світлодалекоміри. У таких приладах відстань до контрольованого об'єкту оцінюється за зміною фази модульованого світлового сигналу за проходження ним подвійної дистанції. У цьому випадку фазовий зсув обвідної прийнятого сигналу щодо опорної напруги в межах фазового циклу прямо пропорційний вимірювальній відстані L_x .

Фазовий лазерний далекомір відповідно до його принципу роботи містить приймально-передавальну систему, вимірювальний і опорний канали, фазовий детектор, блок управління та обробки даних і відліковий пристрій. Точність вимірювання відстані залежить від фазових спотворень, що вносяться приймально-передавальною системою, вимірювальним та опорним каналами, які містять електронні компоненти. Вказані спотворення, які не є однаковими при зміні температури компонентів електронних вузлів, суттєво впливають на точність вимірювання. Зазвичай, вплив фазового дрейфу компенсується шляхом включення в схему далекоміра так званої лінії оптичного короткого замикання (ОКЗ) [1]. При цьому модульований високою частотою світловий сигнал від випромінювача за допомогою дзеркал, призм або світловодів направляється одразу до фотоприймача, оминаючи вимірювальну дистанцію. Тому в далекомірі комутаційним способом здійснюється два режими роботи: вимірювання невідомої відстані та вимірювання довжини лінії, яка задана ОКЗ. Другий режим називається ще режимом оптичного калібрування далекоміра. Вплив фазового дрейфу компенсується у разі визначення різниці значень двох дистанцій, причому тим ефективніше, чим коротше проміжок часу між вимірюваннями обох дистанцій. Технічну реалізацію описаного алгоритму роботи далекоміра можна знайти в [2, 3].

У ряді застосувань лазерних далекомірів контрольований об'єкт має підвищену температуру, наприклад, конвертори та ковші або розплавлений метал в металургійній промисловості. Від цього значно прискорюється температурний дрейф параметрів електронних елементів далекоміру, розміщеного на невеликій відстані від об'єкту. Тому для ефективної компенсації фазових спотворень за допомогою використання режиму ОКЗ необхідно значно підвищувати швидкодію далекоміра, тобто збільшувати частоту комутації режимів роботи приладу. Це треба також для зменшення динамічних похибок у разі визначення параметрів об'єктів, що рухаються або обертаються.

Як показав проведений в [4] аналіз, на перетворювальні процеси, що виникають у разі періодичної комутації гармонічних сигналів на вході одноканальних вимірювальних пристроїв, впливають початкові фази сигналів в момент комутації. Зміна останніх призводить до фазових

спотворень сигналів в кожному періоді комутації у разі порівнянні їхніх амплітуд або фаз на виході лінійного детектора. Згідно з [4] сумарна адитивна фазова похибка γ_ϕ , яка вноситься в даному випадку вимірювальним каналом, визначається за формулою

$$\gamma_\phi = \frac{\cos 2\phi_1 - \cos 2\phi_2}{6\eta}, \quad (1)$$

де ϕ_1 і ϕ_2 – початкові фази сигналів в кожному з періодів комутації; $\eta = \omega/\Omega$, де $\omega = 2\pi f$ та $\Omega = 2\pi F$ – відповідно кутова частота вимірювального сигналу та кутова частота комутації сигналів.

Оскільки початкові фази сигналів можуть змінюватися в межах $0 \dots 2\pi$, то максимальне значення фазової похибки буде, якщо $\cos 2\phi_1 = 1$ і $\cos 2\phi_2 = -1$ ($\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = \pi/2$)

$$\gamma_{\phi_{\max}} \approx 1/3\eta. \quad (2)$$

У разі використання у вимірювальному каналі вибіркового підсилювачів значення фазової похибки можна знайти за формулою [4]

$$\gamma_\phi = 2Q/\pi\eta, \quad (3)$$

де Q – добротність вибіркового підсилювача.

Враховуючи вищевикладене, у фазовому світлодалекомірі комутація сигналів на вході вимірювального каналу в кожному з режимів роботи приладу також може приводити до фазових спотворень сигналів. Тому за реалізацією описаного вище алгоритму оцінки фазового зсуву, пропорційного вимірювальній відстані, може виникати додаткова адитивна фазова похибка вимірювання згідно з формулою (1). Застосовуючи (2), можна показати, що збільшення частоти комутації режимів роботи світлодалекоміра задля зменшення впливу фазового дрейфу приводить до суттєвого зниження заданої точності вимірювання відстані. Якщо, наприклад, вибрати проміжну частоту вимірювального сигналу після змішувача $f_{\text{пр}} = 10$ кГц, а період комутації $T_\Omega = 5$ мс, то $\gamma_\phi = 6,64 \cdot 10^{-3}$. Похибка вимірювання відстані дорівнює $\Delta L_x = \lambda \cdot \gamma_\phi / 2\pi$, де λ – еквівалентна довжина хвилі модулюючої напруги, $\lambda = c/2f_m$ (c – швидкість світла, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с). За оптимальною частотою модуляції $f_m = 25$ МГц довжина хвилі $\lambda = 6000$ мм. Тоді $\Delta L_x = 6000 \cdot 6,64 \cdot 10^{-3} / 2\pi \approx 6,4$ мм, що значно перевищує допустиму в цьому випадку сумарну похибку вимірювання (1...2 мм).

Мета роботи – підвищення швидкодії фазових лазерних далекомірів з оптичною калібровкою за збереженням заданої точності вимірювання відстані з урахуванням неоднаковості початкових фаз сигналів у разі їхньої комутації на вході вимірювального каналу в режимах роботи приладу.

Відповідно до поставленої мети видається доцільним проаналізувати особливості реалізації алгоритму вимірювання фазового зсуву відбитого від об'єкту сигналу [5], який полягає у наступному. Спочатку світловий потік, модульований по інтенсивності напругою з виходу синтезатора частоти, спрямовується на контрольований об'єкт, відстань до якого треба визначити. Відбитий від об'єкту оптичний сигнал перетворюється фотоприймачем в електричну напругу

$$u_x = U_{mx} \sin(\omega_0 t + \phi_{\text{п1}} + \phi_x), \quad (4)$$

де U_{mx} – амплітуда сигналу; ω_0 – кутова частота; $\phi_{\text{п1}}$ – початкова фаза; ϕ_x – фазовий зсув відносно опорного сигналу, пропорційний відстані до об'єкту. На цьому етапі визначаються U_{mx} та $(\phi_{\text{п1}} + \phi_x)$. З урахуванням знайденого значення U_{mx} формується напруга $u_1 = U_{mx} \sin(\omega_0 t + \phi_{\text{п1}})$, яка додається до u_x . В результаті сумарна напруга дорівнює

$$u_\Sigma = u_x + u_1. \quad (5)$$

Вирішуючи рівняння (4) і (5), знаходимо значення $\phi_{\text{п1}}$ і ϕ_x .

Далі реалізується режим ОКЗ, в результаті чого вимірюється внутрішня калібрована відстань L_k . В цьому режимі у вихідній модулюючій напрузі синтезатора частоти встановлюється початкова фаза, яка дорівнює $\phi_{\text{п2}} = (\phi_{\text{п1}} + \phi_x)$. У даному випадку напруга на вході вимірювального каналу після перетворення фотоприймачем світлового сигналу в електричний з амплітудою U_{mx} може бути представлена виразом

$$u_k = U_{mx} \sin(\omega_0 t + \phi_{\text{п2}} + \phi_k), \quad (6)$$

де φ_k – фазовий зсув, пропорційний каліброваній відстані L_k .

Таким чином, амплітуди та початкові фази сигналів на вході вимірювального каналу відповідно в режимах вимірювання відстані та оптичної калібрівки приблизно однакові. Звідси фазові спотворення γ_φ в каналах далекоміра у разі комутації сигналів при малому часі вимірювання в обох режимах теж однакові. Це дає можливість, з урахуванням значення $\varphi_{п2} = (\varphi_{п1} + \varphi_x)$ задля визначення остаточного результату вимірювання відстані за формулою $(L_x - L_k)$, компенсувати їхній вплив.

На рис. 1 наведено структурну схему фазового світлодалекоміра, яка реалізує описаний алгоритм вимірювання відстані. На схемі прийнято наступні умовні позначення: Дз – дзеркало; Об – об’єктив; ЛВ1, ЛВ2 – лазерні випромінювачі; ДСЧ – двоканальний синтезатор частоти; К – комутатор; ФП – фотоприймач; Гт – гетеродин; Зм1, Зм2 – змішувачі сигналів; П1, П2 – підсилювачі; СД – синхронний детектор; АЦП – аналого-цифровий перетворювач напруги; БКОІ блок керування, обробки даних та індикації; МС – модулятор світла; СВ1, СВ2, СВ3 – світловоди.

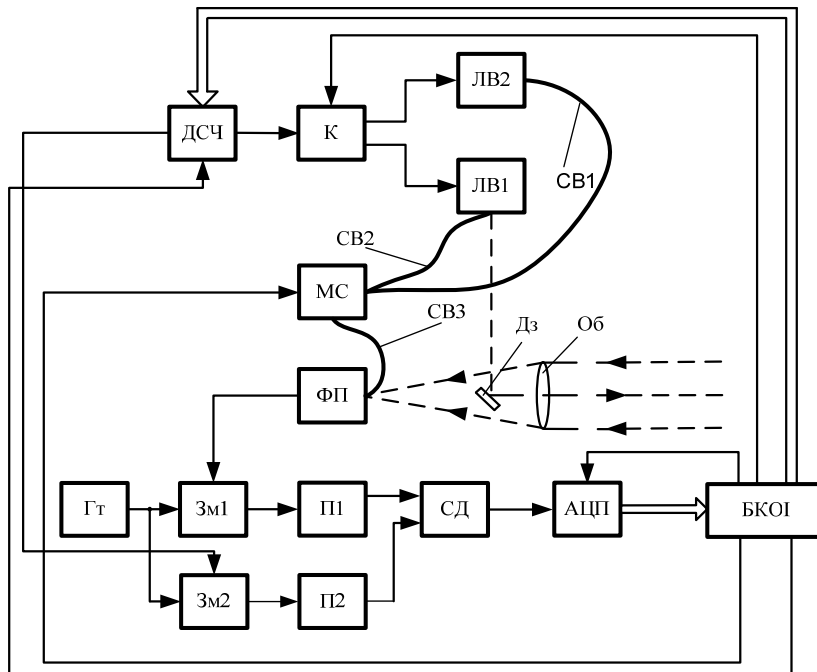


Рис. 1

вод СВ3 з'єднується також з виходом модулятора МС. Спочатку сигналом з блоку БКОІ коефіцієнт передачі модулятора МС встановлюється рівним нулю.

Відбитий від об'єкту оптичний сигнал за допомогою фотоприймача ФП перетворюється, як це відзначалося вище, в електричну напругу $u_x = U_{mx} \sin(\omega_0 t + \varphi_{п1} + \varphi_x)$. На цьому етапі визначається амплітуда сигналу U_{mx} та фазовий зсув $(\varphi_{п1} + \varphi_x)$. В даному разі напруга u_x з виходу фотоприймача ФП подається на один із входів змішувача Зм1. На другий вхід змішувача Зм1 надходить напруга з виходу гетеродина Гт $u_g = U_{mg} \sin \omega_g t$, де U_{mg} – амплітуда гетеродинної напруги; ω_g – кутова частота гетеродина. З виходу змішувача Зм1 низькочастотна складова сигналу після підсилення підсилювачем П1 подається на один із входів синхронного детектора СД і визначається виразом

$$u_d = k_1 U_{mx} U_{mg} \sin(\omega_{пр} t + \varphi_{п1} + \varphi_x) = \alpha U_{mx} \sin(\omega_{пр} t + \varphi_{п1} + \varphi_x), \quad (7)$$

де k_1 – коефіцієнт перетворення змішувача Зм1, його розмірність $1/B$; $\omega_{пр} = \omega_0 - \omega_g$; α – постійний безрозмірний коефіцієнт, $\alpha = k_1 U_{mg}$. У формулі (7) та подальших математичних виразах з метою їхнього спрощення не показані фазові зсуви, що вносяться при перетворенні сигналів приймально-передавальною системою, вимірювальним та опорним каналами світлодалекоміра. Ці фазові зсуви компенсуються із застосуванням режиму оптичного калібрівки.

Робота далекоміра здійснюється в два етапи.

На першому електричний сигнал моделюючої частоти ω_0 надходить від одного з виходів синтезатора ДСЧ через комутатор К, що керується сигналом від блоку БКОІ, на вхід випромінювача ЛВ1. Сфокусований та модульований по інтенсивності світловий потік від випромінювача ЛВ1 за допомогою дзеркала Дз через центр об'єктива Об направляється на контрольований об'єкт. Крім того, світловий потік від випромінювача ЛВ1 за допомогою світловода СВ2 направляється на вхід модулятора світла МС. Відбитий від контрольованого об'єкта світловий потік знову проходить через об'єктив Об, фокусується ним і потрапляє на вхід фотоприймача ФП. Останній через світло-

На другий вхід детектора СД подаються гармонічні сигнали, сформовані в опорному каналі, до складу якого входять змішувач Зм2 та підсилювач П2. При цьому один вхід змішувача Зм2 підключено до гетеродину Гт, а на другий його вхід за командами з блоку БКОІ почергово подаються ортогональні напруги з другого виходу синтезатора ДСЧ, частота яких теж дорівнює ω_0 . Тоді опорні сигнали на другому вході детектора СД визначаються формулами

$$\begin{aligned} u_{оп1} &= k_2 U_c U_{mg} \sin \omega_{пр} t = U_{моп} \sin \omega_{пр} t; \\ u_{оп2} &= k_2 U_c U_{mg} \sin(\omega_{пр} t + 90^\circ) = U_{моп} \sin(\omega_{пр} t + 90^\circ), \end{aligned} \quad (8)$$

де k_2 – коефіцієнт перетворення змішувача Зм2, його розмірність $1/B$; U_c – амплітуда вихідного сигналу синтезатора ДСЧ; $U_{моп}$ – амплітуда опорного сигналу, $U_{моп} = k_2 U_c U_{mg}$.

Вихідні напруги СД визначаються виразами

$$u_{д1} = k_{сд} u_{д1} u_{оп1}; \quad u_{д2} = k_{сд} u_{д1} u_{оп2}, \quad (9)$$

де $k_{сд}$ – коефіцієнт перетворення СД, його розмірність $1/B$.

Із напруг (9) виділяються постійні синфазна та квадратурна складові сигналу

$$\begin{aligned} U_{д1} &= k_{сд} \alpha U_{mx} U_{моп} \cos(\varphi_{п1} + \varphi_x) = \beta U_{mx} \cos(\varphi_{п1} + \varphi_x); \\ U_{д2} &= k_{сд} \alpha U_{mx} U_{моп} \sin(\varphi_{п1} + \varphi_x) = \beta U_{mx} \sin(\varphi_{п1} + \varphi_x), \end{aligned} \quad (10)$$

де $\beta = k_{сд} \alpha U_{моп}$.

Напруги $U_{д1}$ і $U_{д2}$ почергово подаються на вхід АЦП, де вони перетворюються в цифрові коди, чисельні значення яких запам'ятовуються в блоці БКОІ. Далі шляхом обчислювальної обробки цих значень визначаються амплітуда сигналу U_{mx} і фазовий зсув $(\varphi_{п1} + \varphi_x)$ згідно з наведеними виразами

$$U_{mx} = \sqrt{(U_{д1})^2 + (U_{д2})^2} / \beta; \quad (\varphi_{п1} + \varphi_x) = \arctg(U_{д2} / U_{д1}). \quad (11)$$

Після визначення U_{mx} командою з блоку БКОІ встановлюється такий коефіцієнт передачі модулятора МС, щоб його вихідний оптичний сигнал за допомогою фотоприймача ФП перетворювався в напругу $u_1 = U_{mx} \sin(\omega_0 t + \varphi_{п1})$. Остання додається до u_x , в результаті чого на виході фотоприймача ФП маємо

$$u_\Sigma = u_x + u_1 = U_{m\Sigma} \sin(\omega_0 t + \varphi_\Sigma), \quad (12)$$

де $U_{m\Sigma}$ і φ_Σ – амплітуда та фаза сумарного сигналу.

Сумарна напруга u_Σ по аналогії з сигналом u_x перетворюється в квадратурні складові

$$\begin{aligned} U_{\Sigma 1} &= \beta U_{m\Sigma} \cos \varphi_\Sigma; \\ U_{\Sigma 2} &= \beta U_{m\Sigma} \sin \varphi_\Sigma. \end{aligned} \quad (13)$$

Після перетворення напруг (13) за допомогою АЦП в цифрові коди їхні чисельні значення запам'ятовуються в блоці БКОІ.

Квадратурні складові $U_{\Sigma 1}$ і $U_{\Sigma 2}$ сумарної напруги u_Σ можна визначити, виходячи з векторної діаграми, яку наведено на рис. 2, де

$$\begin{aligned} a_1 &= U_{mx} \cos(\varphi_{п1} + \varphi_x); & a_2 &= U_{mx} \cos \varphi_{п1}; & a &= U_{\Sigma 1} / \beta = a_1 + a_2; \\ b_1 &= U_{mx} \sin(\varphi_{п1} + \varphi_x); & b_2 &= U_{mx} \sin \varphi_{п1}; & b &= U_{\Sigma 2} / \beta = b_1 + b_2. \end{aligned} \quad (14)$$

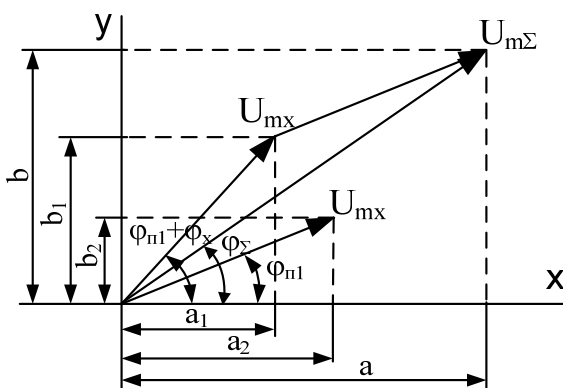


Рис. 2

Вирішуючи спільно рівняння (10) і (13) та використовуючи (14), можна записати

$$U_{\Sigma 1} - U_{д1} = \beta U_{mx} \cos \varphi_{п1}; \quad U_{\Sigma 2} - U_{д2} = \beta U_{mx} \sin \varphi_{п1}. \quad (15)$$

Згідно (15) шляхом обчислювальної обробки в блоці БКОІ знаходимо значення $\varphi_{п1}$

$$\varphi_{п1} = \arctg(U_{\Sigma 2} - U_{д2}) / (U_{\Sigma 1} - U_{д1}). \quad (16)$$

На підставі (11) та (16) знаходимо значення φ_x

$$\varphi_x = \arctg U_{д2} / U_{д1} - \arctg(U_{\Sigma 2} - U_{д2}) / (U_{\Sigma 1} - U_{д1}). \quad (17)$$

На другому етапі реалізується режим ОКЗ. В цьому випадку командою з блоку БКОІ комутатор К

перемикається в положення, коли вихід синтезатора ДСЧ підключається до входу випромінювача ЛВ2. Одночасно кодом, що передається з блоку БКОІ на керуючий вхід синтезатора ДСЧ, встановлюється початкова фаза модулюючої напруги, яка дорівнює $\varphi_{п2} = (\varphi_{п1} + \varphi_x)$. Модульований по інтенсивності світловий потік з виходу випромінювача ЛВ2 через світловод СВ1, модулятор МС і світловод СВ3 спрямовується на вхід фотоприймача ФП. При цьому напруга на виході фотоприймача буде визначатися виразом

$$u_k = U_{mx} \sin(\omega_0 t + \varphi_{п2} + \varphi_k), \quad (18)$$

де $\varphi_{п2}$ – початковий фазовий зсув в цьому режимі; φ_k – фазовий зсув, пропорційний внутрішній каліброваній відстані. Амплітуда цієї напруги дорівнює U_{mx} за рахунок вибору ідентичних за характеристиками випромінювачів ЛВ1 та ЛВ2 та відповідного коефіцієнта передачі модулятора МС, встановленого в попередньому режимі.

Напруга u_k подається на вхід змішувача Зм1. Далі відбуваються перетворення сигналів по аналогії з режимом вимірювання відстані. З урахуванням того, що коефіцієнти перетворення змішувачів Зм1 та Зм2 вибрано однаковими, на виході детектора СД почергово виділяються напруги

$$\begin{aligned} U'_{д1} &= \beta U_{mx} \cos(\varphi_{п2} + \varphi_k); \\ U'_{д2} &= \beta U_{mx} \sin(\varphi_{п2} + \varphi_k). \end{aligned} \quad (19)$$

Ці напруги за командами, що надходять з блоку БКОІ, почергово подаються на вхід перетворювача АЦП, де перетворюються в цифрові коди, чисельні значення яких запам'ятовуються в блоці БКОІ. Шляхом обчислювальної обробки цих значень визначається фазовий зсув $(\varphi_{п2} + \varphi_k)$ за формулою

$$(\varphi_{п2} + \varphi_k) = \arctg(U'_{д2}/U'_{д1}). \quad (20)$$

Для визначення фазового зсуву φ_k , пропорційного каліброваній відстані L_k , із результату обчислення (20) віднімаємо значення фазового зсуву $\varphi_{п2} = (\varphi_{п1} + \varphi_x)$ згідно (11), який було попередньо введено в модулюючу напругу в режимі ОКЗ

$$\varphi_k = \arctg(U'_{д2}/U'_{д1}) - \arctg(U_{д2}/U_{д1}). \quad (21)$$

Як впливає з опису роботи приладу, в кожному з його режимів (вимірювання невідомої відстані L_x і внутрішньої калібною відстані L_k) на вхід вимірювального каналу подається гармонічний сигнал із однаковими амплітудою та початковою фазою. Тобто, згідно з формулою (1), відповідні похибки вимірювання при остаточному визначенні невідомої відстані через різницю $(L_x - L_k)$ будуть компенсуватися. Це дає змогу за заданою точністю вимірювання відстані підвищити частоту комутації режимів роботи світлодалекоміра. Наприклад, допустима похибка ΔL_x дорівнює 0,1 мм, що відповідає фазовій похибці $\gamma'_\varphi = \Delta L_x 2\pi/\lambda = 0,1 \cdot 6,28/6000 \cong 10^{-4}$ рад. У випадку, коли початкові фази можуть змінюватись в межах $0 \dots 2\pi$, максимальна частота комутації згідно з (2) $F' = 3f_{пр} \gamma'_\varphi \cong 3 \cdot 10^4 \cdot 10^{-4} \cong 3$ Гц. У разі застосування запропонованого алгоритму вимірювання початкові фази в обох режимах відрізняються на значення φ_k , пропорційне L_k . Якщо прийняти $L_k = 100$ мм, то допустима похибка ΔL_x залишається на тому ж рівні при частоті комутації $F'' = F' \cdot \lambda/L_k = 3 \cdot 6000/100 = 180$ Гц, тобто швидкість вимірювання збільшується в 60 разів.

Наведемо рекомендації щодо реалізації деяких вузлів запропонованого світлодалекоміра.

Як випромінювачі ЛВ1 і ЛВ2 можна використовувати напівпровідниковий лазерний випромінювач типу ІЛПН-203. Звідси при виборі із відомих технічних рішень модулятора світла МС доцільно орієнтуватися на просторовий амплітудний модулятор світла з довжиною хвилі 850 нм з низьким рівнем управляючої напруги. Двоканальний синтезатор частоти ДСЧ із описаними функціональними можливостями може бути виконано на основі мікросхеми AD9958.

Висновки. Як показали проведені аналіз перетворювальних процесів в розглянутому фазовому світлодалекомірі та оцінка його метрологічних характеристик, алгоритм вимірювання фазового зсуву обвідної відбитого від контрольованого об'єкту оптичного сигналу для визначення відстані до об'єкту із застосуванням оптичної калібровки дає змогу суттєво збільшити швидкодію лазерних далекомірів із збереженням заданої точності вимірювання. Це досягається за рахунок адаптації каналу оптичної калібровки до початкової фази досліджуваного сигналу. При цьому у

залежності від умов експлуатації світлодалекоміру або стану контролюваного об'єкту можна вибрати оптимальні характеристики приладу.

Роботу виконано в рамках бюджетної програми 6541030 за темою № III-29-17 "Розвиток наукових засад методів та засобів вимірювання експлуатаційних параметрів обладнання електростанцій", шифр теми "ПАРАМЕТР", Державний реєстраційний номер роботи 0116U007285.

1. Большаков В.Д., Деймлих Ф., Голубев А.Н., Васильев В.П. Радиогодезические и электрооптические измерения. М.: Недра, 1985. 303 с.
2. Stierle J., Wolf P., Renz K. Device and method for optical distance measurement. Patent US. № 7221435 B2. 2007.
3. Венедиктов А.З. Лазерный дальномер. Патент России. № RU2339909C1. 2007.
4. Скрипник Ю.А. Повышение точности измерительных устройств. Киев: Техніка, 1976. 264 с.
5. Брагинец І.О., Кононенко О.Г., Масюренко Ю.О. Лазерний далекомір. Патент України. № 134816. 2018.

УДК 621.317

ФАЗОВЫЙ СВЕТОДАЛЬНОМЕР С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ

И.А. Брагинец, канд. техн. наук, **Ю.А. Масюренко**, канд. техн. наук.

Институт электродинамики НАН Украины,

просп. Победы, 56, Киев, 03057, Украина.

E-mail: masjuriy@ied.org.ua

Определена погрешность фазовых лазерных дальномеров, обусловленная отличием начальных фаз сигналов в режимах измерения расстояния и оптической калибровки. Описан алгоритм измерения фазового сдвига отраженного от объекта сигнала, который обеспечивает равенство начальных фаз в обоих режимах работы прибора. Это позволяет существенно повысить быстродействие дальномера при сохранении заданной точности измерения. Рассмотрена структурная схема фазового светодальномера, которая реализует предложенный алгоритм измерения расстояния. Библ. 5, рис. 2.

Ключевые слова: лазер, фазовый сдвиг, оптическая калибровка, начальная фаза, адаптация.

PHASE LIGHT RANGEFINDER WITH ADAPTIVE OPTICAL CALIBRATION SYSTEM

I.O. Bragynets, Yu.O. Masjurenko

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine.

E-mail: masjuriy@ied.org.ua

The error of phase laser range finders, which is due to the difference in the initial phases of the signals in the modes of distance measurement and optical calibration, is determined. An algorithm for measuring the phase shift of the signal reflected from the object, which ensures the equality of the initial phases in both operation modes of the device, is described. This allows to significantly improving the speed of the rangefinder while maintaining the specified measurement accuracy. The structural diagram of the phase light range finder, which implements the proposed distance measurement algorithm, is considered. References 5, figures 2.

Key words: laser, phase shift, optical calibration, initial phase, adaptation.

1. Bolshakov V.D., Deimlikh F., Golubev A.N., Vasilev V.P. Radio geodesic and electro-optical measurements. Moskva: Nedra, 1985. 303p. (Rus)
2. Stierle J., Wolf P., Renz K. Device and method for optical distance measurement. Patent US. № 7221435 B2. 2007.
3. Venediktov A.Z. Laser ranger finder. Patent Rossii. No RU2339909C1. 2007. (Rus)
4. Skripnik Yu.O. Improving the accuracy of measuring devices. Kiev: Tekhnika, 1976. 264 p. (Rus)
5. Bragynets I.O., Kononenko O.G., Masjurenko Yu.O. Lazernyi dalekomir. Patent Ukrainy. No 134816. 2018. (Ukr)

Надійшла 21.02.2020
Остаточний варіант 12.03.2020