



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36241 (13) A

(51) 6 G01R25/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРЕЦИЗІЙНИЙ КАЛІБРАТОР ФАЗИ

(21) 99116351

(22) 23.11.1999

(24) 16.04.2001

(33) UA

(46) 16.04.2001, Бюл. № 3, 2001 р.

(72) Рудик Андрій Вікторович, Барановський Ігор Васильович

(73) ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Прецизійний калібратор фази, що містить лазер, вимірювач лінійних переміщень, перший акустооптичний модулятор, модуляційний вхід якого підключений до виходу генератора, а вихід оптично зв'язаний через пристрій зведення променів з фотоприймачем, який відрізняється тим, що в

нього введені пристрій розведення променів, другий акустооптичний модулятор, подвоювач частоти та нуль-індикатор, при цьому лазер оптично зв'язаний через пристрій розведення променів з першим та другим акустооптичними модуляторами, суміщеними на одній стабілізаційній платформі, механічно зв'язаний з вимірювачем лінійних переміщень, крім того, до виходу генератора підключений модуляційний вхід другого акустооптичного модулятора та вхід подвоювача частоти, вихід другого акустооптичного модулятора оптично зв'язаний через пристрій зведення променів з фотоприймачем, а виходи подвоювача частоти та фотоприймача, які є виходами калібратора, підключені до входів нуль-індикатора.

Винахід відноситься до області фазовимірювальної техніки та може використовуватися для повірки фазовимірювальної апаратури.

Відомий калібратор фазових зсувів (Авт. св. СССР № 1307384, м. к. л. G 01 R 25/00. Бюл. № 16, 1987), який складається з джерела світла, напівпрозорого дзеркала, відбивального дзеркала, двох лінійних поляризаторів, перетворювача електричного сигналу в кут повороту площини поляризації лінійно поляризованого світла, двох модуляторів, генератора електричних сигналів, двох лінійних аналізаторів та двох фотоприймачів.

Недоліками вказаного пристрою є велика потужність збудження модуляторів та наявність похибки завдання кута фазового зсуву через температурні нестабільності та вібрації оптичної частини прецизійного калібратора фази.

За прототип обраний прецизійний калібратор фази (Авт. св. СССР № 1213433, м. к. л. G 01 R 25/04. Бюл. № 7, 1986), що містить лазер, який оптично зв'язаний з односмуговим акустооптичним модулятором, механічно зв'язаним з вимірювачем лінійних переміщень, модуляційний вхід якого підключений до виходу генератора, а вихід односмугового акустооптичного модулятора оптично зв'язаний через пристрій зведення променів з фотоелектричним перетворювачем, який далі будемо називати фотоприймачем, вихід якого є одним з виходів прецизійного калібратора фази, а другим виходом є вихід генератора.

Недоліками вказаного пристрою є недостатньо широкий діапазон робочих частот та наявність похибки завдання кута фазового зсуву через температурні нестабільності та вібрації оптичної частини прецизійного калібратора фази.

В основу винаходу покладена задача створення прецизійного калібратора фази, в якому за рахунок того, що акустооптичні модулятори суміщені на одній стабілізаційній платформі, збуджуються від одного генератора та задане в оптичному діапазоні значення кута фазового зсуву переноситься на подвоєну частоту напруги генератора, забезпечується суттєве зменшення впливу температурних нестабільностей та вібрацій оптичної частини калібратора, і за рахунок цього збільшується точність завдання кута фазового зсуву в діапазоні частот $2 \text{ МГц} \pm 2 \text{ ГГц}$.

Поставлена задача вирішується тим, що в прецизійному калібраторі фази, який містить лазер, вимірювач лінійних переміщень, перший акустооптичний модулятор, модуляційний вхід якого підключений до виходу генератора, а вихід оптично зв'язаний через пристрій зведення променів з фотоприймачем, згідно винаходу введені пристрій розведення променів, другий акустооптичний модулятор, подвоювач частоти та нуль-індикатор, при цьому лазер оптично зв'язаний через пристрій розведення променів з першим та другим акустооптичними модуляторами, суміщеними на одній стабілізаційній платформі, механічно зв'язаний з вимірювачем лінійних переміщень, крім того, до

(19) UA (11) 36241 (13) A

виходу генератора підключений модуляційний вхід другого акустооптичного модулятора та вхід подвоювача частоти, вихід другого акустооптичного модулятора оптично зв'язаний через пристрій зведення променів з фотоприймачем, а виходи подвоювача частоти та фотоприймача, які є виходами калібратора, підключені до входів нуль-індикатора.

На кресленні (фіг.) наведена структурна схема прецизійного калібратора фази.

Прецизійний калібратор фази складається з лазеру (Л) 1, оптично зв'язаного через пристрій розведення променів (ПРП) 2 з першим 3 та другим 4 акустооптичними модуляторами (АОМ), розташованими на стабілізаційній платформі (СП) 5, механічно зв'язаній з вимірювачем лінійних переміщень (ВЛП) 6, пристрою зведення променів (ПЗП) 7, за допомогою якого оптично зв'язані виходи першого 3 та другого 4 АОМ та вхід фотоприймача (ФП) 8, генератора (Г) 9, вихід якого підключений до модуляційних входів першого 3 та другого 4 АОМ та входу подвоювача частоти (ПЧ) 10, та нуль-індикатора (НІ) 11, виходи якого є виходами калібратора і підключені до виходів фотоприймача 8 та подвоювача частоти 10.

Пристрій працює таким чином.

Випромінювання лазера 1 за допомогою пристрою розведення променів 2 розділяється на два випромінювання, на шляху яких під відповідним кутом (кутом Брега) на стабілізаційній платформі 5 встановлено перший 3 та другий 4 АОМ. На модуляційні входи першого 3 та другого 4 АОМ подається гармонічна напруга збудження радіочастотного діапазону (40-110 МГц) від генератора 9. В результаті акустооптичної взаємодії лазерного випромінювання з частотою f_0 та акустичної хвилі збудження з частотою F на виходах першого 3 та другого 4 АОМ за рахунок дифракції випромінювання лазера з'являються дифраговані промені ± 1 порядків. Промені нульового порядку в розглянутому вимірювачі не використовуються. Дифрагований промінь $+1$ порядку на виході першого 3 АОМ має частоту f_0+F , а промінь -1 порядку на виході другого 4 АОМ - частоту f_0-F .

Ці промені на виході першого 3 та другого 4 АОМ випромінюються під кутом Брега

$$\Theta = \arcsin \frac{\lambda}{2\Lambda}, \text{ де } \lambda = \frac{c}{f_0} - \text{довжина хвилі}$$

випромінювання, що падає; $\Lambda = \frac{V}{F}$ довжина акустичної (ультразвукової) хвилі; c та V - відповідно швидкість світла та швидкість ультразвуку в кристалі модулятора.

При порівняно невеликому значенні кута $\Theta \leq 20^\circ$ (тому що довжина хвилі лазерного випромінювання набагато менше довжини акустичної хвилі кристалі модулятора) на порівняно невеликій базі можна забезпечити просторову фільтрацію променів на виході першого 3 та другого 4 АОМ.

Інтенсивність променів на виході першого 3 та другого 4 АОМ визначається такими співвідношеннями:

$$E_+(t) = E_+ \cos \left[(\omega_0 + \Omega)t + \Delta\varphi_2^+ - 2\pi \frac{1}{\Lambda} + \Delta\varphi_3^+ + \Delta\varphi_9^+ \right], \quad (1)$$

$$E_-(t) = E_- \cos \left[(\omega_0 - \Omega)t + \Delta\varphi_2^- + 2\pi \frac{1}{\Lambda} + \Delta\varphi_3^- + \Delta\varphi_9^- \right]. \quad (2)$$

де $\omega_0 = 2\pi f_0$; $\Omega = 2\pi F$; $\Delta\varphi_2^1, \Delta\varphi_3^1, \Delta\varphi_9^1$, фазові нестабільності, що вносяться (за рахунок температурних нестабільностей та вібрацій) пристроєм розведення променів 2, першим 3 АОМ та генератором 9 (за рахунок відхилення частоти) в дифрагований промінь $+1$ порядку;

$\Delta\varphi_2^{-1}, \Delta\varphi_4^{-1}, \Delta\varphi_9^{-1}$ - фазові нестабільності, що вносяться пристроєм розведення променів 2, другим 4 АОМ та генератором 9 в дифрагований промінь -1 порядку; E_+ та E_- - амплітудні значення інтенсивностей дифрагованих променів $+1$ та -1 порядків дифракції; 1 - лінійне переміщення стабілізаційної платформи 5 з першим 3 та другим 4 АОМ, яке задається вимірювачем лінійних переміщень 6;

$$\varphi_{M3} = -\varphi_{M4} = -2\pi \frac{1}{\Lambda} - \text{фазовий зсув, що виникає}$$

кає при переміщенні на величину 1 першого 3 або другого 4 АОМ.

Просторово розведені промені на виході першого 3 та другого 4 АОМ, що визначаються співвідношеннями (1) та (2), за допомогою пристрою зведення променів 7 зводяться в площині фоточувливої частини фотоприймача 8, який працює аналогічно змішувачу радіодіапазону. Таким чином, на виході фотоприймача 8 (у випадку квадратичного режиму детектування) отримаємо напругу, яка має вигляд:

$$U_8(t) = b_8 E_+ E_- \gamma(\omega_0 + \Omega) \gamma(\omega_0 - \Omega) \cos \left(2\Omega t - 4\pi \frac{1}{\Lambda} + \Delta\varphi_2^+ - \Delta\varphi_2^- + \Delta\varphi_3^+ - \Delta\varphi_3^- + \Delta\varphi_9^+ - \Delta\varphi_9^- + \Delta\varphi_7^+ + \Delta\varphi_7^- + \Delta\varphi_8^+ - \Delta\varphi_8^- \right). \quad (3)$$

де b_8 - коефіцієнт, що характеризує чутливість фотоприймача 8; $\gamma(\omega_0 + \Omega)$ - коефіцієнти, що враховують послаблення дифрагованих променів $+1$ та -1 порядків дифракції; $\Delta\varphi_7^1$ та $\Delta\varphi_7^{-1}$ - фазові нестабільності, що вносяться пристроєм зведення променів 7 у відповідні складові співпалих променів; $\Delta\varphi_8^1$ та $\Delta\varphi_8^{-1}$ - фазові нестабільності, що вносяться фотоприймачем 8 у відповідні складові співпалих променів.

З співвідношення (3) виходить, що фазові нестабільності, які виникають в каналах калібратора, віднімаються. В зв'язку з цим нестабільності, що виникають за рахунок зміни температури та вібрацій в елементах, крізь які проходять промені першого та другого каналів, корельовані та взаємно виключаються:

$$\Delta\varphi_2^1 = \Delta\varphi_2^{-1}, \quad \Delta\varphi_9^1 = \Delta\varphi_9^{-1} = \Delta\varphi_9, \quad \Delta\varphi_7^1 = \Delta\varphi_7^{-1} \text{ та } \Delta\varphi_8^1 = \Delta\varphi_8^{-1}.$$

Фазову нестабільність, що вноситься першим 3 та другим 4 АОМ $\Delta\varphi_{АОМ} = \Delta\varphi_3^1 - \Delta\varphi_4^{-1}$, можна суттєво зменшити при встановленні їх на спільній стабілізаційній платформі 5. В цьому випадку співвідношення (3) можна переписати таким чином:

$$U_8(t) = b_8 E_+ E_- \gamma(\omega_0 + \Omega) \gamma(\omega_0 - \Omega) \cos \left(2\Omega t - 4\pi \frac{1}{\Lambda} + \Delta\varphi_9 \right). \quad (4)$$

Таким чином, перший 3 та другий 4 АОМ встановлені на стабілізаційній платформі 5 так, що при її переміщенні акустична хвиля в першому 3 АОМ набігає на світлову, а в другому 4 АОМ - відходить від падаючої світлової хвилі, тобто внесені при переміщенні модуляторів фазові зсуви $\left(2\pi \frac{1}{\Lambda}\right)$

мають протилежні знаки і в результуючому промені складаються. Як виходить з аналізу, перший 3 та другий 4 АОМ використовуються в якості оптичного фазообертача, а їх лінійне переміщення, яке задається вимірювачем лінійних переміщень 6, визначає фазовий зсув напруги на виході фотоприймача 8 (першої вихідної напруги прецизійного калібратора фази).

Другою вихідною напругою прецизійного калібратора фази є вихідна напруга подвоювача частоти 10, яка визначається співвідношенням

$$U_{10}(t) = K_{10} U_{m9} \cos(2\Omega t + 2\Delta\varphi_9) \quad (5),$$

де U_{m9} - амплітуда вихідної напруги генератора 9; K_{10} - коефіцієнт передачі подвоювача частоти 10.

Таким чином, фазовий зсув між вихідними напругами прецизійного калібратора фази

$$\varphi_{ПКФ} = \arg\{U_{10}(t)\} - \arg\{U_8(t)\} = 4\pi \frac{1}{\Lambda}$$

визначається тільки величиною переміщення стабілізаційної платформи 5 з першим 3 та другим 4 АОМ та довжиною акустичної хвилі і не залежить від температурних та вібраційних фазових нестабільностей.

Для установки абсолютних значень фазових зсувів на виході пристрою необхідно на початку вимірювань компенсувати систематичний набіг

фаз в каналах пристрою за допомогою переміщення стабілізаційної платформи 5 за показаннями нуля-індикатора 11. Тоді фазовий зсув між напругами $U_{10}(t)$ та $U_8(t)$, які є вихідними напругами пристрою, буде визначатися тільки величиною

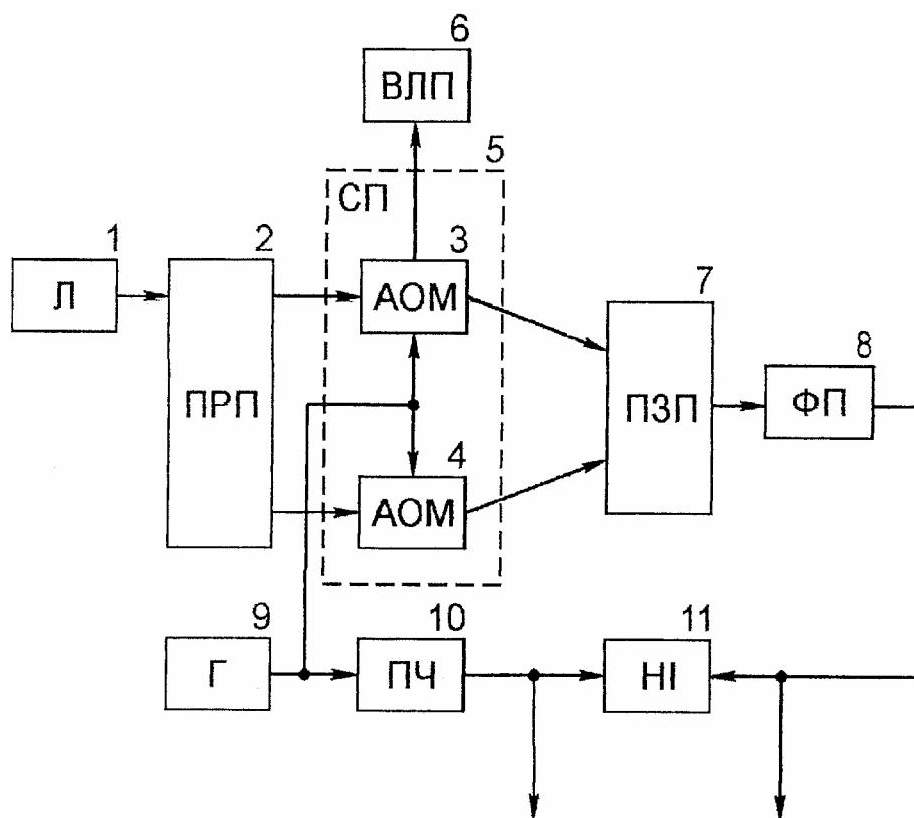
$\varphi_{ПКФ} = 2|\varphi_{M3}| = 2|\varphi_{M4}|$. Якщо переміщувати стабілізаційну платформу 5 на відстань 1, яка дорівнює половині довжини акустичної хвилі Λ , то можна на виходах калібратора отримати регульований фазовий зсув в межах $(0 \div 360)^\circ$. Фазовий зсув, що задається, визначається за відліковим пристроєм вимірювача лінійних переміщень 6.

Змінювати частоту вихідних напруг прецизійного калібратора фази можна при зміні частоти вихідної напруги генератора 9. Розширити частотний діапазон можна гетеродинаванням без суттєвих похибок.

Точність завдання фазового зсуву за допомогою переміщення стабілізаційної платформи 5 з першим 3 та другим 4 АОМ визначається точністю вимірювання (завдання) лінійного переміщення, яка для сучасної апаратури лінійних переміщень складає $1=(0,005 \div 0,01)$ мкм. Довжина акустичної хвилі в першому 3 та другому 4 АОМ в діапазоні частот $(40 \div 110)$ МГц для основних акустооптичних матеріалів (плавлений кварц, скло, герпаній, молібдат свинцю) складає $\Lambda=(0,033 \div 0,149)$ мкм. Тоді похибка завдання кута фазового зсуву

$$\Delta\varphi = 360^\circ \frac{2\Delta 1}{\Lambda} = (0,0241 \div 0,217)^\circ,$$

що дозволяє з високою точністю проводити повірку фазометрів радіодіапазону.



Фіг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22