



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 53712

(13) C2

(51) 7 G01J7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ ЗАТРИМКИ ФАЗИ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

1

2

(21) 99126917

(22) 20 12 1999

(24) 17 02 2003

(46) 17 02 2003, Бюл. № 2, 2003 р.

(72) Рудик Андрій Вікторович, Барановський Ігор Васильович

(73) ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) Авторське свідоцтво SU №1809327, 15 04 1993

(57) Пристрій для вимірювання часу затримки фази оптичного випромінювання, що містить лазер, оптично зв'язаний з напівпрозорим дзеркалом, першу та другу лінзи узгодження, зв'язані між собою за допомогою досліджуваного волоконного світловоду, перше відбивальне дзеркало, перший і другий фотоприймачі та цифровий фазометр, який відрізняється тим, що в нього введені друге та третє відбивальні дзеркала, третя та четверта лінзи узгодження, перший та другий оптичні змішувачі, перший та другий акустооптичні модулятори, радіочастотний генератор, подвоювач частоти, генератор комутаційних імпульсів та електронний комутатор, при цьому напівпрозоре дзеркало оптично зв'язано з першим акустооптичним модулятором та через перше відбивальне дзеркало - з другим акустооптичним модулятором, акустооптичні модулятори суміщені на одній

стабілізаційній платформі, перший вихід першого акустооптичного модулятора через третє відбивальне дзеркало, другий оптичний змішувач та третю і четверту лінзи узгодження оптично зв'язаний з входом другого фотоприймача, другий вихід першого акустооптичного модулятора через друге відбивальне дзеркало та перший оптичний змішувач оптично зв'язаний з першою лінзою узгодження, перший вихід другого акустооптичного модулятора через перший оптичний змішувач оптично зв'язаний з першою лінзою узгодження, другий вихід другого акустооптичного модулятора через другий оптичний змішувач та третю і четверту лінзи узгодження оптично зв'язаний з входом другого фотоприймача, друга лінза узгодження оптично зв'язана з входом першого фотоприймача, виходи першого та другого фотоприймачів підключені до першого та другого входів електронного комутатора, вихід генератора комутаційних імпульсів підключений до керуючого входу електронного комутатора, вихід радіочастотного генератора підключений до модуляційних входів першого та другого акустооптичних модуляторів та входу подвоювача частоти, а виходи електронного комутатора та подвоювача частоти підключені до входів цифрового фазометра

Винахід відноситься до оптико-технічних вимірювань та може використовуватися для вимірювання часу затримки оптичного випромінювання у волоконних світловодах

Відомий пристрій для вимірювання затримки фази оптичного випромінювання [Авт. св. СССР № 1237992 М. кл. G 01 R 25/04 Бюл. № 22, 1986], що містить лазер, фотоприймач, два відбивальних дзеркала, два напівпрозорих дзеркала та об'єкт контролю

Недоліками вказаного пристрою є низькі точність та чутливість вимірювання затримки фази оптичного випромінювання

За прототип обраний пристрій для визначення

часу затримки фази монохроматичного оптичного випромінювання [Авт. св. СССР № 1809327 М. кл. G 01 J 7/00 Бюл. № 14, 1993], що містить перший лазерний діод, розташований в термошафі та оптично зв'язаний за допомогою першого напівпрозорого дзеркала та першої лінзи узгодження з досліджуванним волоконним світловодом, другий лазерний діод, оптично зв'язаний за допомогою другого напівпрозорого дзеркала з оптичним атенюатором, перший фотоприймач, оптично зв'язаний за допомогою другої лінзи узгодження та третього напівпрозорого дзеркала з досліджуванним волоконним світловодом, а за допомогою відбивального дзеркала та третього напівпрозорого

(13) C2

(11) 53712

(19) UA

дзеркала - з оптичним атенюатором, другий фотоприймач, оптично зв'язаний за допомогою першого та другого напівпрозорих дзеркал з першим лазерним діодом, а за допомогою другого напівпрозорого дзеркала - з другим лазерним діодом, перший фільтр низьких частот, вхід якого підключений до виходу першого фотоприймача, а вихід - до входу електронно-лічильного частотоміру та першого входу цифрового фазометра, та другий фільтр низьких частот, вхід якого підключений до виходу другого фотоприймача, а вихід - до другого входу цифрового фазометра

Недоліком вказаного пристрою є те, що проведення вимірювань є досить трудомістким і не забезпечує потрібної точності через наявність температурних нестабільностей та вібрацій оптичної частини вимірювача

В основу винаходу покладена задача створення пристрою для вимірювання часу затримки фази оптичного випромінювання, в якому за рахунок того, що в акустооптичних модуляторах відбувається модуляція оптичного випромінювання (зсув оптичного випромінювання доверху або донизу на величину частоти напруги збудження акустооптичних модуляторів), модулятори суміщені на одній стабілізаційній платформі та збуджуються від одного генератора, а також введений додатковий вимірювальний канал та використовується періодичне порівняння результатів вимірювання (структурно-алгоритмічний метод зменшення похибок), забезпечується суттєве зменшення впливу температурних нестабільностей та вібрацій оптичної частини вимірювача, і за рахунок цього збільшується точність вимірювання часу затримки фази оптичного випромінювання

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для вимірювання часу затримки фази оптичного випромінювання, який містить лазер, оптично зв'язаний з напівпрозорим дзеркалом, першу та другу лінзи узгодження, зв'язані між собою за допомогою досліджуваного волоконного світловоду, перше відбивальне дзеркало, перший і другий фотоприймачі та цифровий фазометр, згідно винаходу введені друге та третє відбивальні дзеркала, третя та четверта лінзи узгодження, перший та другий оптичні змішувачі, перший та другий акустооптичні модулятори, радіочастотний генератор, подвоювач частоти, генератор комутаційних імпульсів та електронний комутатор, при цьому напівпрозоре дзеркало оптично зв'язано з першим акустооптичним модулятором та через перше відбивальне дзеркало - з другим акустооптичним модулятором, акустооптичні модулятори суміщені на одній стабілізаційній платформі, перший вихід першого акустооптичного модулятора через третє відбивальне дзеркало, другий оптичний змішувач та третю і четверту лінзи узгодження оптично зв'язаний з входом другого фотоприймача, другий вихід першого акустооптичного модулятора через друге відбивальне дзеркало та перший оптичний змішувач оптично зв'язаний з першою лінзою узгодження, перший вихід другого акустооптичного модулятора через перший оптичний змішувач оптично зв'язаний з першою лінзою узгодження, другий вихід другого акустооптичного модулятора через другий оптичний змішувач та

третю і четверту лінзи узгодження оптично зв'язаний з входом другого фотоприймача, друга лінза узгодження оптично зв'язана з входом першого фотоприймача, виходи першого та другого фотоприймачів підключені до першого та другого входів електронного комутатора, вихід генератора комутаційних імпульсів підключений до керуючого входу електронного комутатора, вихід радіочастотного генератора підключений до модуляційних входів першого та другого акустооптичних модуляторів та входу подвоювача частоти, а виходи електронного комутатора та подвоювача частоти підключені до входів цифрового фазометра

На кресленні наведена структурна схема пристрою для вимірювання часу затримки фази оптичного випромінювання

Пристрій для вимірювання часу затримки фази оптичного випромінювання складається з лазера 1, оптично зв'язаного через напівпрозоре дзеркало 2 з першим акустооптичним модулятором (АОМ) 3 та через напівпрозоре дзеркало 2 і перше відбивальне дзеркало 4 з другим АОМ 5, розташованими на стабілізаційній платформі (СП) 6, досліджуваного волоконного світловоду 7, оптично зв'язаний через друге відбивальне дзеркало 8, перший оптичний змішувач 9 та першу лінзу узгодження 10 з другим виходом першого АОМ 3, а через перший оптичний змішувач 9 та першу лінзу узгодження 10 - з першим виходом другого АОМ 5, першого фотоприймача (ФП) 11, оптично зв'язаного через другу лінзу узгодження 12 з досліджуванним волоконним світловодом 7, другого фотоприймача 13, оптично зв'язаного через третє відбивальне дзеркало 14, другий оптичний змішувач 15 та третю 16 і четверту 17 лінзи узгодження з першим виходом першого АОМ 3, а через другий оптичний змішувач 15 та третю 16 і четверту 17 лінзи узгодження - з другим виходом другого АОМ 5, електронного комутатора 18, перший вхід якого підключений до виходу першого фотоприймача 11, другий вхід - до виходу другого фотоприймача 13, а керуючий вхід - до виходу генератора комутаційних імпульсів 19, радіочастотного генератора 20, вихід якого підключений до модуляційних входів першого 3 та другого 5 акустооптичних модуляторів та входу подвоювача частоти 21, а також цифрового фазометра 22, до першого входу якого підключений вихід подвоювача частоти 21, а до другого - вихід електронного комутатора 18

Пристрій працює таким чином

Випромінювання лазера 1 за допомогою напівпрозорого дзеркала 2 та першого відбивального дзеркала 4 розділяється на два випромінювання, на шляху яких під відповідним кутом (кутом Бреґа) на стабілізаційній платформі 6 встановлені перший 3 та другий 5 акустооптичні модулятори. На електричні (модуляційні) входи модуляторів подається гармонічна напруга збудження від генератора 20 радіочастотного діапазону ($1 \div 100$ МГц).

В результаті акустооптичної взаємодії лазерного випромінювання з частотою f_0 та акустичної хвилі збудження з частотою F на виходах першого 3 та другого 5 АОМ за рахунок дифракції випромінювання лазера з'являються дифраговані промені ± 1 порядків. Промені нульового порядку дифракції в розглянутому вимірювачі не використовуються

Дифрагований промінь +1 порядку має частоту $f_0 + F$, а промінь -1 порядку дифракції - частоту $f_0 - F$

Ці промені на виходах першого 3 та другого 5 АОМ випромінюються під кутом Бреґга

$$\theta = \arcsin \frac{\lambda}{2\Lambda},$$

де $\lambda = \frac{v}{f_0}$ - довжина хвилі випромінювання,

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

$$\begin{aligned} U_9(t) &= E_{3+1} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \Delta\varphi_2^1 + \Delta\varphi_3^1 + \Delta\varphi_8^1 + \Delta\varphi_9^1 + \Delta\varphi_{20}^1] + \\ &+ E_{5-1} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_5^{-1} + \Delta\varphi_8^{-1} + \Delta\varphi_{20}^{-1}] \\ U_{15}(t) &= E_{3-1} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_3^{-1} + \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_{15}^{-1} + \Delta\varphi_{20}^{-1}] + \\ &+ E_{5+1} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \Delta\varphi_2^1 + \Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_5^1 + \Delta\varphi_{15}^1 + \Delta\varphi_{20}^1] \end{aligned} \quad (1)$$

де

$\omega_0 = 2\pi f_0$, $\Omega = 2\pi F$, $\Delta\varphi_2^1, \Delta\varphi_3^1, \Delta\varphi_4^1, \Delta\varphi_5^1, \Delta\varphi_8^1, \Delta\varphi_9^1, \Delta\varphi_{15}^1, \Delta\varphi_{20}^1$ - фазові нестабільності, що вносяться напівпрозорим дзеркалом 2, першим 3 та другим 5 АОМ, першим 4 та другим 8 відбивальними дзеркалами, першим 9 та другим 15 оптичними змішувачами і генератором радіочастотного діапазону 20 (за рахунок відхилення частоти) в дифрагований промінь +1 порядку, $\Delta\varphi_2^{-1}, \Delta\varphi_3^{-1}, \Delta\varphi_4^{-1}, \Delta\varphi_5^{-1}, \Delta\varphi_8^{-1}, \Delta\varphi_9^{-1}, \Delta\varphi_{15}^{-1}, \Delta\varphi_{20}^{-1}$ - фазові нестабільності, що вносяться напівпрозорим дзеркалом 2, першим 3 та другим 5 АОМ, першим 4 та третім 14 відбивальними дзеркалами, першим 9 та другим 15 оптичними змішувачами і генера-

$$U_{11}(t) = b_{11} E_{3+1} E_{5-1} \gamma(\omega_0 + \Omega) \gamma(\omega_0 - \Omega) \cos \left\{ \begin{aligned} &2\Omega t + \varphi_7(\omega_0 + \Omega) - \varphi_7(\omega_0 - \Omega) + \\ &+ \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_3^1 - \Delta\varphi_3^{-1} + \Delta\varphi_8^1 - \\ &- \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_9^1 - \Delta\varphi_5^{-1} + \Delta\varphi_{20}^1 - \Delta\varphi_{20}^{-1} + \\ &+ \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_{12} + \Delta\varphi_{11} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де b_{11} - коефіцієнт, що характеризує чутливість першого фотоприймача 11, $\gamma(\omega_0 + \Omega)$ та $\gamma(\omega_0 - \Omega)$ - коефіцієнти, що враховують послаблення випромінювань дифрагованих променів ± 1 порядків дифракції, $\varphi_7(\omega_0 + \Omega)$ та $\varphi_7(\omega_0 - \Omega)$ - фазові зсуви, які вносяться досліджуванним волоконним світловодом 7 на відповідних складових променів, що співпали, $\Delta\varphi_{10}, \Delta\varphi_{12}, \Delta\varphi_{11}$ - фазові

$$U_{13}(t) = b_{13} E_{3-1} E_{5+1} \gamma(\omega_0 + \Omega) \gamma(\omega_0 - \Omega) \cos \left\{ \begin{aligned} &2\Omega t + \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_3^1 - \Delta\varphi_3^{-1} + \Delta\varphi_4^1 - \\ &- \Delta\varphi_{14}^{-1} + \Delta\varphi_{15}^1 - \Delta\varphi_{15}^{-1} + \Delta\varphi_{20}^1 - \Delta\varphi_{20}^{-1} + \\ &+ \Delta\varphi_{16} + \Delta\varphi_{17} + \Delta\varphi_{13} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де b_{13} - коефіцієнт, що характеризує чутливість другого фотоприймача 13, $\Delta\varphi_{16}, \Delta\varphi_{17}, \Delta\varphi_{13}$ - фазові зсуви, що вносяться третьою 16 і четвертою

При порівняно невеликому значенні кута $\theta \leq 20^\circ$ можна забезпечити просторову фільтрацію променів на виходах першого 3 та другого 5 АОМ

В такому вимірювачі друге відбивальне дзеркало 8 та перший оптичний змішувач 9 використовуються для отримання двочастотного досліджуваного сигналу у вимірювальному каналі, а третє відбивальне дзеркало 14 та другий оптичний змішувач 15 - для отримання двочастотного досліджуваного сигналу в опорному каналі. Таким чином, на виході першого 9 та другого 15 оптичних змішувачів отримуємо такі сигнали

тором радіочастотного діапазону 20 в дифрагований промінь -1 порядку, $E_{3+1}, E_{3-1}, E_{5+1}, E_{5-1}$ - інтенсивності випромінювань дифрагованих променів ± 1 порядків дифракції на виходах першого 3 та другого 5 АОМ

Промені в досліджуваному каналі проходять через першу лінзу узгодження 10, досліджуваний волоконний світловод 1 і другу лінзу узгодження 12 та інтерферують на апертурі першого фотоприймача 11 їх детектування першим фотоприймачем 11 (у випадку квадратичного режиму) дозволяє отримати на виході фотоприймача напругу, яка має вигляд

зсуви, що вносяться першою 10 і другою 12 лінзами узгодження та першим фотоприймачем 11

В опорному каналі промені проходять через третю 16 та четверту 17 лінзи узгодження та інтерферують на апертурі другого фотоприймача 13 їх детектування другим фотоприймачем 13 дозволяє отримати на виході фотоприймача напругу, яка має вигляд

17 лінзами узгодження та другим фотоприймачем 13

Напруги з виходів першого фотоприймача $11U_{11}(t)$ та другого фотоприймача $13U_{13}(t)$ пода-

ються на електронний комутатор 18, що перемикається імпульсами з генератора комутаційних імпульсів (ГКІ) 19, частота повторення (комутації) яких $\Omega_k < \Omega$

В перший напівперіод комутації цифровий фазометр 22 вимірює кут фазового зсуву між напру-

гами $U_{11}(t)$ та $U_{21}(t) = U_{m21} \cos(2\Omega t + \Delta\varphi_{21})$, а у другий напівперіод - кут фазового зсуву між напругами $U_{21}(t)$ та $U_{13}(t)$, де U_{m21} та $\Delta\varphi_{21}$ - відповідно амплітуда та фазова нестабільність вихідної напруги подвоювача частоти 21. Таким чином

$$\varphi_{\text{вим}}^1 = \varphi_7(\omega_0 + \Omega) - \varphi_7(\omega_0 - \Omega) + \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_3^1 - \Delta\varphi_5^{-1} + \Delta\varphi_8^1 - \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_9^1 - \Delta\varphi_9^{-1} + \Delta\varphi_{20}^1 - \Delta\varphi_{20}^{-1} + \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_{12} + \Delta\varphi_{11} - \Delta\varphi_{21} \quad (4)$$

$$\varphi_{\text{вим}}^2 = \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_5^1 - \Delta\varphi_3^{-1} + \Delta\varphi_4^1 - \Delta\varphi_{14}^{-1} + \Delta\varphi_{15}^1 - \Delta\varphi_{15}^{-1} + \Delta\varphi_{20}^1 - \Delta\varphi_{20}^{-1} + \Delta\varphi_{16} + \Delta\varphi_{17} + \Delta\varphi_{13} - \Delta\varphi_{21} \quad (5)$$

При роботі цифрового фазометра 22 за алгоритмом віднімання результатів вимірювання в пе-

рший та другий напівперіоди комутації, з співвідношень (4) та (5) отримаємо

$$\varphi_{\text{вим}} = \varphi_{\text{вим}}^1 - \varphi_{\text{вим}}^2 = \varphi_7(\omega_0 + \Omega) - \varphi_7(\omega_0 - \Omega) + \Delta\varphi_3^1 + \Delta\varphi_3^{-1} - \Delta\varphi_5^1 - \Delta\varphi_5^{-1} - \Delta\varphi_4^1 - \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_8^1 + \Delta\varphi_{14}^{-1} + \Delta\varphi_9^1 - \Delta\varphi_9^{-1} - \Delta\varphi_{15}^1 + \Delta\varphi_{15}^{-1} + \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_{12} - \Delta\varphi_{16} - \Delta\varphi_{17} + \Delta\varphi_{11} - \Delta\varphi_{13} \quad (6)$$

З урахуванням кореляції нестабільностей, що вносяться спільними для променів першого та другого каналів вимірювача елементами 9 та 15 (першим та другим оптичними змішувачами), тоб-

то при $\Delta\varphi_9^1 = \Delta\varphi_9^{-1}$ та $\Delta\varphi_{15}^1 = \Delta\varphi_{15}^{-1}$, з співвідношення (6) отримаємо

$$\varphi_{\text{вим}} = \varphi_7(\omega_0 + \Omega) - \varphi_7(\omega_0 - \Omega) + \Delta\varphi_3^1 + \Delta\varphi_3^{-1} - \Delta\varphi_5^1 - \Delta\varphi_5^{-1} - \Delta\varphi_4^1 - \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_8^1 + \Delta\varphi_{14}^{-1} + \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_{12} - \Delta\varphi_{16} - \Delta\varphi_{17} + \Delta\varphi_{11} - \Delta\varphi_{13} \quad (7)$$

Фазові нестабільності, що вносяться ідентичними відбивальними дзеркалами 4, 8 та 14 в каналах променів, близьких по частоті, протифазні та корельовані між собою, тому можна вважати, що $\Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_4^{-1} \approx \Delta\varphi_8^1 + \Delta\varphi_4^{-1}$. Крім того, можна вважати, що фазовий зсув, внесений однотипними фотоприймачами 11 та 13 $\Delta\varphi_{\text{фп}} = \Delta\varphi_{11} - \Delta\varphi_{13}$, та фазовий зсув, внесений однотипними лінзами узгодження 10, 12, 16 та 17 $\Delta\varphi_{\text{лу}} = \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_{12} - \Delta\varphi_{16} - \Delta\varphi_{17}$, приблизно дорівнює нулю.

Акустооптичні модулятори 3 та 5, розташовані на спільній стабілізаційній платформі 6, також є спільними елементами для променів першого і другого каналів, тому

$$\Delta\varphi_{\text{мз}} = \Delta\varphi_3^1 + \Delta\varphi_3^{-1} = \Delta\varphi_{\text{м5}} = \Delta\varphi_5^1 + \Delta\varphi_5^{-1}$$

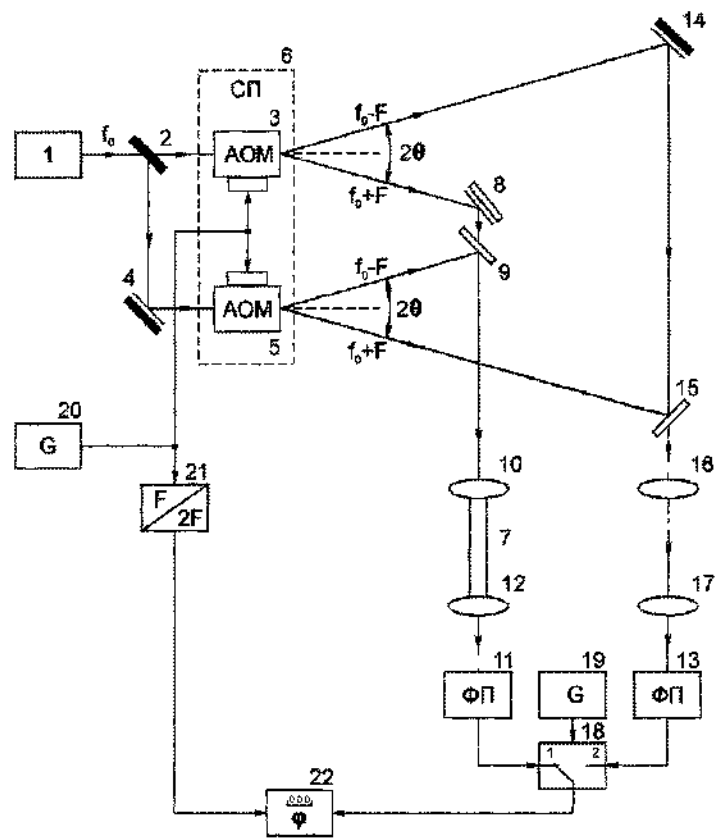
Таким чином, результат вимірювання часу затримки фази оптичного випромінювання в досліджуваному волоконному світловоді 7 визначається тільки фазовим зсувом, що вноситься саме волоконним світловодом 7, тобто

$$\tau_7(\Omega) = \frac{\varphi_{\text{вим}}}{2\Omega} = \frac{\varphi_7(\omega_0 + \Omega) - \varphi_7(\omega_0 - \Omega)}{2\Omega} \quad \text{Введення}$$

додаткового каналу, в якому використовується інформація про нестабільності елементів вимірювача, дозволяє суттєво зменшити вплив вібрацій та температурних змін на точність вимірювання часу затримки фази (кута фазового зсуву) досліджуваного волоконного світловоду 7.

При вимірюванні інших фізичних параметрів об'єктів контролю (кількості речовини або її концентрації) фазовий зсув, що вноситься об'єктом контролю, залежить від показника заломлення власне речовини, показника заломлення розчинника та фазової затримки, що вноситься розчинником. В розглянутій структурній схемі виявити ці залежності можна при введенні в опорний канал оптично прозорі кювети з розчинником. В цьому випадку можна реалізувати компенсаційний метод вимірювання, переміщуючи другий АОМ 5 опорного каналу на величину ΔL та використовуючи цифровий фазометр 22 в якості нуль-індикатора. Тоді точність вимірювання може бути збільшена в $m = 2 \frac{\Delta}{\lambda}$

разів



Фиг.