

Изобретение относится к области фазоизмерительной техники и может быть использовано для поверки фазоизмерительной аппаратуры.

Известно "устройство для поверки фазометров" [Авт.св. СССР № 676944], содержащее генератор синусоидального напряжения, два фазовращателя, измеритель углов поворота статора одного фазовращателя относительно статора другого фазовращателя, электродвигатель, два ограничителя амплитуды и фазометр.

Недостатками указанного устройства являются невозможность работы в диапазоне инфранизких частот, а также достаточно высокая погрешность задания фазового сдвига из-за наличия инструментальных погрешностей фазовращателей и погрешности измерителя углов поворота статора одного фазовращателя относительно статора другого фазовращателя.

Наиболее близким по технической сущности к изобретению является "Прецизионный калибратор фазы" [Авт.св. СССР № 1213433], содержащий лазер, который оптически связан с однополосным акустооптическим модулятором, механически связанным с измерителем линейных перемещений, модуляционный вход которого подключен к выходу задающего генератора, а выход однополосного акустооптического модулятора оптически связан через устройство сведения лучей с фотоэлектрическим преобразователем, именуемым в дальнейшем фотоприемником, выход которого является одним из выходов прецизионного калибратора фазы, вторым выходом служит выход задающего генератора.

Недостатками указанного устройства являются невозможность работы в диапазоне частот до 1 МГц, а также наличие погрешности задания угла фазового сдвига из-за вибрации оптической части прецизионного калибратора фазы.

В основу изобретения поставлена задача создания прецизионного калибратора фазы инфранизких и низких частот, в котором за счет того, что акустооптические модуляторы совмещены на одной платформе, возбуждаются от одного задающего генератора и задаваемое значение угла фазового сдвига между выходами напряжениями переносится на частоту вращения ротора вращающегося трансформатора, обеспечивается снижение влияния вибрации оптической части калибратора, и за счет этого расширяются функциональные возможности устройства и повышается точность задания угла фазового сдвига в диапазоне инфранизких и низких частот.

Поставленная задача решается тем, что в прецизионном калибраторе фазы инфранизких и низких частот, содержащем лазер, измеритель линейных перемещений, первый акустооптический модулятор, модуляционный вход которого подключен к выходу задающего генератора, а выход оптически связан через устройство сведения лучей с фотоприемником, согласно изобретению введены устройство разведения лучей, второй акустооптический модулятор, удвоитель частоты, фазовращатель, цепь 90°-ного фазового сдвига, вращающийся трансформатор, электродвигатель, источник питания, тахогенератор, частотомер, первый и второй преобразователи частоты и нуль-индикатор, при этом лазер оптически связан через устройство разведения лучей с первым и вторым акустооптическими модуляторами, совмещенными на одной платформе, механически связанной с измерителем линейных перемещений, к выходу задающего генератора подключены модуляционный вход второго акустооптического модулятора и вход удвоителя частоты, выход второго акустооптического модулятора оптически связан через устройство сведения лучей с фотоприемником, выход удвоителя частоты подключен ко входам фазовращателя и косинусной обмотки вращающегося трансформатора непосредственно, а ко входу синусной обмотки вращающегося трансформатора - через цепь 90°-ного фазового сдвига, электродвигатель, подключенный к источнику питания, механически связанный с роторной обмоткой вращающегося трансформатора и тахогенератором, выход которого подключен ко входу частотомера, роторная обмотка вращающегося трансформатора подключена к первым входам первого и второго преобразователей частоты, второй вход первого преобразователя частоты подключен к выходу фазовращателя, второй вход второго преобразователя частоты подключен к выходу фотоприемника, а выходы первого и второго преобразователей частоты, являющиеся выходами калибратора, подключены ко входам нуль-индикатора.

На чертеже представлена структурная схема прецизионного калибратора фазы инфранизких и низких частот.

Прецизионный калибратор фазы инфранизких и низких частот содержит лазер 1, оптически связанный через устройство разведения лучей 2 с первым 3 и вторым 4 акустооптическими модуляторами (АОМ), расположенными на платформе 5, механически связанной с измерителем линейных перемещений 6, устройство сведения лучей 7, посредством которого оптически связаны выходы первого 3 и второго 4 АОМ и вход фотоприемника 8, задающий генератор 9, выход которого подключен к модуляционным входам первого 3 и второго 4 АОМ и входу удвоителя частоты 10, фазовращатель 11, вход которого подключен к выходу удвоителя частоты 10, вращающийся трансформатор 12 с роторной 13 и статорными косинусной 14 и синусной 15 обмотками, причем косинусная 14 обмотка подключена к выходу удвоителя частоты 10 непосредственно, а синусная 15 обмотка - через цепь 90°-ного фазового сдвига 16, электродвигатель 17, подключенный к источнику питания 18 и механически связанный с роторной 13 обмоткой вращающегося трансформатора 12 и тахогенератором 19, подключенным к частотомеру 20, первый 21 и второй 22 преобразователи частоты, первые входы которых подключены к выходу роторной 13 обмотки вращающегося трансформатора 12, вторые входы - соответственно к выходам фазовращателя 11 и фотоприемника 8, а выходы, являющиеся выходами калибратора - ко входам нуль-индикатора 23.

Устройство работает следующим образом.

Излучение лазера 1 с помощью устройства разведения лучей 2 разделяется на два излучения, на пути которых под углом Брэгга установлены первый 3 и второй 4 АОМ, расположенные на платформе 5. На модуляционные входы первого 3 и второго 4 АОМ подается напряжение возбуждения от задающего генератора 9 (40...110 МГц). В результате акустического взаимодействия лазерного излучения с частотой f и волны возбуждения с частотой F на выходных АОМ за счет дифракции излучения лазера появляются дифрагированные лучи ± 1 порядка, имеющие частоту $(f \pm F)$. На выходе первого 3 АОМ используется луч-1

порядка, а на выходе второго 4 АОМ - луч+1 порядка. Так как длина волны лазерного излучения намного меньше длины акустической волны в АОМ, на сравнительно небольшой базе можно обеспечить пространственную фильтрацию лучей на выходе первого 3 и второго 4 АОМ.

Пространственно разведенные лучи на выходе первого 3 и второго 4 АОМ с помощью устройства сведения лучей 7 сводятся в плоскости фоточувствительной части фотоприемника 8, работающего подобно смесителю радиодиапазона, на выходе которого получим напряжение

$$\begin{aligned}
 U_8(t) &= BE_1E_2 \cos \{ [(\omega - \Omega)t + \Delta\varphi_{B1} + \\
 &+ \Delta\varphi_{31} + \varphi_{M1} - \varphi_0] - [(\omega + \Omega)t + \\
 &+ \Delta\varphi_{B2} + \Delta\varphi_{32} + \varphi_{M2} + \varphi_0] \} = \\
 &= bE_1E_2 \cos [2\Omega t + 2\varphi_0 + \Delta\varphi_{B2} - \\
 &- \Delta\varphi_{B1} + \Delta\varphi_{32} - \Delta\varphi_{31} + \varphi_{M2} - \varphi_{M1}] \quad (1)
 \end{aligned}$$

где $\omega=2\pi f$, $\Omega=2\pi F$;

E_1 и E_2 - интенсивности излучения на выходах первого 3 и второго 4 АОМ;

$\Delta\varphi_{B1}$ и $\Delta\varphi_{B2}$ - фазовые нестабильности, вносимые первым 3 и вторым 4 АОМ при вибрациях;

$\Delta\varphi_{31}$ и $\Delta\varphi_{32}$ - фазовые задержки света в первом и втором каналах интерферометра соответственно:

$$\varphi_{M1} = \varphi_{M2} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta X$$

- фазовый сдвиг,

возникающий при перемещении на величину ΔX первого 3 или второго 4 АОМ при помощи измерителя линейных перемещений 6:

φ_0 - начальная фаза напряжения задающего генератора 9:

b - коэффициент, характеризующий чувствительность фотоприемника 8.

Фазовый набег между каналами интерферометра $\Delta\varphi_3 = \Delta\varphi_{32} - \Delta\varphi_{31}$ за счет разности хода лучей в каналах можно исключить с помощью фазовращателя 11 по показаниям нуля-индикатора 23 перед началом работы. За счет того, что первый 3 и второй 4 АОМ расположены на одной платформе 5, значительно уменьшается влияние вибрации (практически до полной их взаимокompенсации) за счет повышения степени корреляции вибрационных фазовых нестабильностей. Кроме того, первый 3 и второй 4 АОМ установлены на платформе 5 таким образом, что при ее перемещении акустическая волна в первом 3 АОМ набегаёт на световую, а во втором 4 АОМ - уходит от падающей световой волны, т.е. φ_{M1} и φ_{M2} имеют противоположные знаки и в интерферирующем луче складываются:

$$\varphi_{M2} - \varphi_{M1} = \frac{2\pi}{\lambda} 2 \Delta X = \Delta\varphi_M$$

С учетом этого выражение (1) можно переписать следующим образом:

$$\begin{aligned}
 U_8(t) &= BE_1E_2 \cos [2\Omega t + \Delta\varphi_M + \\
 &+ \Delta\varphi_3 + 2\varphi_0]. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Таким образом, первый 3 и второй 4 АОМ служат в качестве оптического фазовращателя и их линейное перемещение, измеряемое измерителем линейных перемещений 6, определяет задаваемый фазовый сдвиг на выходе фотоприемника 8.

Для переноса полученного фазового сдвига в диапазон инфранизких и низких частот выходное напряжение задающего генератора 9, работающего на фиксированной частоте, поступает на удвоитель частоты 10 и далее на косинусную 14 обмотку статора вращающегося трансформатора 12 непосредственно, а на синусную 15 обмотку статора - через цепь 90°-ного фазового сдвига 16. При вращении роторной обмотки 13 электродвигателем 17 с угловой скоростью Ω_1 напряжение в ней будет иметь вид

$$\begin{aligned}
 U_{13}(t) &= U_{m13} \cos [(2\Omega - \Omega_1)t + \\
 &+ 2\varphi_0 + \varphi_{BT}].
 \end{aligned}$$

где φ_{BT} - фазовый сдвиг, вносимый вращающимся трансформатором 12.

Далее это напряжение подается на первые входы первого 21 и второго 22 преобразователей частоты, на вторые входы которых подаются соответственно напряжение с выхода удвоителя частоты 10, прошедшее через фазовращатель 11, и выходное напряжение фотоприемника 8, определяемое выражением (2). На выходах первого 21 и второго 22 преобразователей частоты получим:

$$U_{21}(t) = U_{m21} \cos [\Omega_1 t + \varphi_{11} - \varphi_{BT}];$$

$$U_{22}(t) = U_{m22} \cos [\Omega_1 t + \Delta\varphi_M + \Delta\varphi_3 - \varphi_{BT}].$$

где φ_{11} - фазовый сдвиг, вносимый фазовращателем 11.

Для установки абсолютных значений фазовых сдвигов на выходе устройства необходимо перед началом измерений скомпенсировать систематический набег фаз в каналах устройства с помощью фазовращателя 11 по показаниям нуля-индикатора 23. Тогда сдвиг фаз между напряжениями $U_{21}(t)$ и $U_{22}(t)$, являющимися выходными напряжениями устройства, будет определяться величиной $\Delta\varphi_M$. Передвигая платформу 5 на

расстояние ΔX , равное половине длины акустической волны Λ , можно на выходах устройства получить регулируемый фазовый сдвиг в пределах $0...360^\circ$. Задаваемый фазовый угол определяется по отсчетному устройству измерителя линейных перемещений 6.

Изменять частоту выходных напряжений прецизионного калибратора фазы инфранизких и низких частот можно при помощи изменения величины напряжения источника питания 18, подаваемого на электродвигатель 17, что приводит к изменению угловой скорости вращения ротора 13 вращающегося трансформатора 12, контролировать которую можно с помощью тахогенератора 19 по частотомеру 20.

Точность задания фазового сдвига перемещением АОМ определяется точностью измерения линейного перемещения платформы 5, которая для современной аппаратуры линейных перемещений составляет $\Delta l = 0,005-0,01$ мкм. Длина акустической волны в первом 3 и втором 4 АОМ в диапазоне $40...110$ МГц для основных акустооптических материалов (плавленый кварц, стекло, германий, молибдат свинца) составляет $\Lambda = 0,033...0,149$ мм. Тогда погрешность задания фазовых сдвигов

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{\Lambda} \Delta l = 0,0121-0,109^\circ,$$

что позволяет с высокой точностью производить поверку фазометров инфранизких и низких частот.

