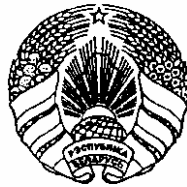


**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **9068**

(13) **С1**

(46) **2007.04.30**

(51)⁷ **G 01C 19/66,
G 01P 3/36**

(54) **СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВОГО
ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА**

(21) Номер заявки: а 20030744

(22) 2003.07.18

(43) 2005.03.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Зуйков Игорь Евгеньевич;
Исаев Александр Витальевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) Лазерные измерительные системы. Под ред. Д.П. Лукьянова. - М.: Радио и связь, 1981. - С. 334-343.

RU 2112926 С1, 1998.

SU 1329327 А1, 1996.

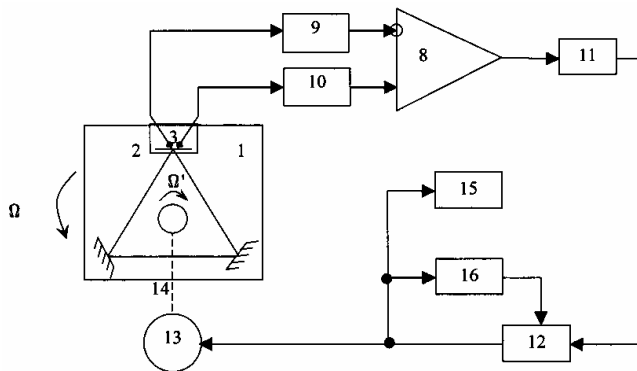
GB 1086898 А, 1967.

(57)

1. Способ определения углового перемещения объекта системой кольцевого лазера, включающий измерение принятых фотоприемниками сигналов, характеризующих заранее заданные точки области формирования интерференционной картины, получение на основе результатов указанного измерения сигнала обратной связи для управления соответствующим приводом, величина которого достаточна для осуществления механической компенсации перемещения объекта, и определение перемещения по величине и полярности указанного сигнала, **отличающийся** тем, что в качестве измеряемых сигналов используют сигналы, характеризующие изменение фазы интерференционной картины, вызванное перемещением объекта, сигнал обратной связи скачкообразно обнуляют каждый раз при достижении им величины, соответствующей изменению фазы интерференционной картины на один ее период, после чего компенсацию продолжают с нулевого уровня, а величину углового перемещения объекта $\Delta\phi$ определяют посредством выражения:

$$\Delta\phi = K_1(N_+ - N_-) + K_2U,$$

где K_1 и K_2 - масштабные коэффициенты, характеризующие параметры кольцевого лазера и привода обратной связи соответственно;



Фиг. 1

ВУ 9068 С1 2007.04.30

N_+ и N_- - количество обнулений, соответствующих перемещению объекта в положительном и отрицательном направлении;

U - уровень сигнала обратной связи, соответствующий смещению интерференционной картины после последнего обнуления.

2. Система для определения углового перемещения объекта, содержащая блок кольцевого лазера, оптически связанный с блоком фотоприемников и установленный на оси привода обратной связи, выполненного с возможностью осуществления механической компенсации перемещений объекта и связанного с блоком формирования сигнала обратной связи, связанного с блоком регистрации указанного сигнала, **отличающаяся** тем, что содержит блок аналогового вычитания сигналов, связанный входом по двум каналам с блоком фотоприемников, а выходом - с блоком усиления, связанным с блоком формирования сигнала обратной связи, выход которого связан с его же входом по цепи обратной связи через блок обнуления сигнала, выполненный с возможностью его обнуления при достижении сигналом величины, соответствующей изменению фазы зарегистрированной фотоприемниками интерференционной картины на один ее период.

Изобретение относится к способу измерения угловых перемещений объекта и может быть использовано в метрологии, космической и авиационной технике.

Проблема, связанная с синхронизацией частот встречных волн, в измерительных системах на кольцевых лазерах традиционно решается с помощью смещения различными способами их рабочей точки в линейную область передаточной характеристики [1], когда о скорости углового перемещения измеряемого объекта судят по изменению частоты сигнала, получаемого на оптическом смесителе кольцевого лазера. Однако в этом случае удаление одних причин вызывает появление других, которые оказывают ограничения на пределы разрешающей способности и точности таких измерительных систем.

Известен способ измерения углового перемещения объекта системой кольцевого лазера [2], заключающийся в выделении сигнала с оптического смесителя блока кольцевого лазера в определенных точках области интерференционной картины и получении на их основе сигнала информации о перемещении измеряемого объекта, когда блоку кольцевого лазера придают постоянную знакопеременную механическую подставку, и с оптического смесителя блока кольцевого лазера в качестве информации снимают изменение сигнала биения интерференционной картины в точке измерения в каждый полупериод сигнала подставки. По величине разницы измеренных сигналов в каждый полупериод сигнала подставки определяют параметры углового перемещения измеряемого объекта.

Для осуществления данного способа используют измерительную систему [2], содержащую блок кольцевого лазера с системой оптического смесителя, который оптически связан с блоком фотоприемников, который в свою очередь связан с регистрирующим устройством. Кроме этого измерительная система содержит блок выработки стабильного знакопеременного импульсного сигнала, выход которого связан с внутренним приводом измерительной системы, ось которого жестко связана с блоком кольцевого лазера.

Недостатками такой измерительной системы являются низкая разрешающая способность и высокая погрешность за счет ограничений, связанных с точностью управляющих сигналов знакопеременной подставки, а также высокой инерционностью механических систем.

Также известен способ измерения углового перемещения объекта системой кольцевого лазера [3], заключающийся в выделении сигнала с оптического смесителя блока кольцевого лазера в определенных точках области интерференционной картины и получении на их основе сигнала обратной связи для компенсации перемещения измеряемого объекта, когда компенсация перемещения осуществляется за счет изменения скорости распространения лучей по оптической системе с помощью невзаимного элемента Фарадея.

ВУ 9068 С1 2007.04.30

Для осуществления данного способа используют измерительную систему [3], содержащую блок кольцевого лазера с системой оптического смесителя, который оптически связан с блоком фотоприемников, откуда информация подается на один из входов дифференциального блока. Кроме этого блок кольцевого лазера имеет дополнительное двустороннее полупрозрачное зеркало, с помощью которого часть энергии излучения замыкается через ячейки Фарадея, цепь управления одного из которых связана после усиления и выпрямления с выходом блока фотоприемников. Также выход ячейки Фарадея через поляризатор и детектор связан со вторым входом дифференциального блока, выход которого связан с регистрирующим устройством.

Основными недостатками такой измерительной системы являются высокая погрешность, низкая разрешающая способность за счет сильного влияния окружающей среды (температура, давление, влажность и т.д.) на точность измерений. Кроме того, устройство сложно в изготовлении, настройке и эксплуатации.

Известен способ измерения угловых перемещений объекта системой кольцевого лазера [4] (прототип), заключающийся в выделении сигналов с оптического смесителя блока кольцевого лазера в определенных точках области интерференционной картины и получении на их основе сигнала обратной связи для механической компенсации перемещения измеряемого объекта, когда в качестве сигнала с оптического смесителя блока кольцевого лазера используют изменение частоты сигнала биений интерференционной картины в точке измерения. Далее этот сигнал преобразуют в дополнительный сигнал управления приводом начального смещения, который, складываясь с сигналом начального смещения, вызывает изменение скорости углового перемещения привода начального смещения. При этом по величине изменения скорости углового перемещения привода определяют величину и направление внешнего углового перемещения.

Для осуществления способа измерения углового перемещения используют систему кольцевого лазера [4] (прототип), содержащую блок кольцевого лазера с системой оптического смесителя, который оптически связан с блоком фотоприемников, привод обратной связи (привод начального механического смещения), на оси которого расположен блок кольцевого лазера, и блок регистрации, которая дополнительно содержит блок аналогового перемножения сигналов, один вход которого связан с блоком фотоприемников, а на второй постоянно подается сигнал начального смещения, а выход - с приводом начального механического смещения, и датчик относительной угловой скорости, механически связанный с приводом начального механического смещения, а выходом - с блоком регистрации.

Основными недостатками данного способа измерения и измерительной системы являются невысокая разрешающая способность и точность измерения, связанные со сложностью обеспечения низкого дрейфа нуля. Так, для уровня дрейфа $0,01^\circ/\text{час}$ необходимо обеспечить нестабильность постоянной механической подставки ниже 10^{-6} . Это требует применения привода со сложной механикой и решения еще более сложной задачи управления приводом аналоговым сигналом с соответствующей точностью. Реально обеспечиваемая таким методом стабильность нуля будет на 1...2 порядка хуже.

Кроме этого, нелинейная зависимость скорости вращения приводов от приложенного напряжения также отрицательно сказывается на погрешности такой измерительной системы [5].

Задача изобретения заключается в разработке способа измерения угловых перемещений и системы кольцевого лазера для измерения угловых перемещений объекта с повышенной разрешающей способностью и уменьшенной погрешностью, а также создание измерительной системы простой в настройке и эксплуатации и относительно недорогой в производстве.

Для реализации этой задачи в способе измерения угловых перемещений объекта системой кольцевого лазера, включающем измерение принятых фотоприемниками сигналов,

ВУ 9068 С1 2007.04.30

характеризующих заранее заданные точки области формирования интерференционной картины, получение на основе результатов указанного измерения сигнала обратной связи для управления соответствующим приводом, величина которого достаточна для осуществления механической компенсации перемещения объекта, и определение перемещения по величине и полярности указанного сигнала, в качестве измеряемых сигналов используют сигналы, характеризующие изменение фазы интерференционной картины, вызванное перемещением объекта, сигнал обратной связи скачкообразно обнуляют каждый раз при достижении им величины, соответствующей изменению фазы интерференционной картины на один ее период, после чего компенсацию продолжают с нулевого уровня, а величину углового перемещения объекта $\Delta\varphi$ определяют посредством выражения:

$$\Delta\varphi = K_1(N_+ - N_-) + K_2U, \quad (1)$$

где K_1 и K_2 - масштабные коэффициенты, характеризующие параметры кольцевого лазера и привода обратной связи соответственно; N_+ и N_- - количество обнулений, соответствующих перемещению объекта в положительном и отрицательном направлении; U - уровень сигнала обратной связи, соответствующий смещению интерференционной картины после последнего обнуления.

Для реализации этого способа предложена система кольцевого лазера для измерения угловых перемещений объекта, содержащая блок кольцевого лазера, оптически связанный с блоком фотоприемников и установленный на оси привода обратной связи, выполненного с возможностью осуществления механической компенсации перемещений объекта и связанного с блоком формирования сигнала обратной связи, связанного с блоком регистрации указанного сигнала, содержит блок аналогового вычитания сигналов, связанный входом по двум каналам с блоком фотоприемников, а выходом - с блоком усиления, связанным с блоком формирования сигнала обратной связи, выход которого связан с его же входом по цепи обратной связи через блок обнуления сигнала, выполненный с возможностью его обнуления при достижении сигналом величины, соответствующей изменению фазы зарегистрированной фотоприемниками интерференционной картины на один ее период.

Сущность предлагаемого изобретения поясняется чертежом, где на фиг. 1 показана структурная схема измерения углового перемещения методом пошаговой компенсации; на фиг. 2 графически представлен сигнал, получаемый на оптическом смесителе блока кольцевого лазера и принцип его снятия в статическом (а) и динамическом (б) состоянии измерительной системы.

Устройство содержит блок 1 кольцевого лазера с системой оптического смесителя 2, который связан с блоком 3 фотоприемников, представляющим собой пару фотоприемников 4 и 5, при помощи шторки 6 регистрирующих информацию в двух местах интерференционной картины 7, расположенных в окрестности контролируемой точки со сдвигом порядка на $\pm 1/8$ части ее периода, блок 8 аналогового вычитания сигналов, входами по двум каналам связанный с усилительными блоками 9 и 10, в свою очередь получающими сигналы с блока 3 фотоприемников, а выходом - с блоком 11 усиления, который далее связан с блоком 12 формирования сигнала компенсации, последовательно связанным с приводом 13 обратной связи, на оси 14 которого располагается блок 1 кольцевого лазера, и блоком 15 регистрации, а по схеме обратной связи связанным с блоком 16 обнуления сигнала.

Принцип работы данной измерительной системы, согласно изобретению, осуществляется следующим образом.

Работа блока 1 кольцевого лазера остается без изменений. С оптического смесителя блока 2 кольцевого лазера с помощью пары фотоприемников 4 и 5, расположенных в окрестности контролируемой точки со сдвигом порядка на $\pm 1/8$ части ее длины волны, и шторки 6 снимают сигналы, характеризующие положение фазы в точке измерения. Далее

ВУ 9068 С1 2007.04.30

оба сигнала усиливаются с помощью усилительных блоков 9 и 10 и подаются на элемент 8, где постоянно во времени происходит их аналоговое вычитание. После усиления на усилительном блоке 11 результирующий сигнал подается на интегрирующий элемент 12 (блок формирования сигнала компенсации), по закону выходного сигнала которого работает привод 13 обратной связи, способный обеспечивать вибрационную подставку (привод механической компенсации), на оси 14 которого располагается блок 1 кольцевого лазера, чем замыкается обратная связь измерительной системы. Этот же сигнал обратной связи подается на блок 15 регистрации, где по его величине и полярности судят о величине и направлении углового перемещения, придаваемого измеряемому объекту (этап точного измерения углового перемещения). При достаточном большом угловом перемещении объекта, по достижении заданного уровня управляющего сигнала, блок 16 обнуления сбрасывает сигнал в начальное положение и компенсация начинается с нуля, что вызывает появление в цепи обратной связи импульса сброса, соответствующего сдвигу интерференционной картины на оптическом смесителе на один период. Подсчет импульсов сброса позволяет с определенной точностью дискретности говорить о величине внешнего перемещения (этап грубого измерения углового перемещения).

Вследствие вышесказанного, полная величина углового перемещения объекта с учетом направления будет определяться из соотношения (1).

В момент включения (в статическом режиме) схема приходит в начальное положение, фотоэлементы 4 и 5 принимают с интерференционной картины 7 на оптическом смесителе 2 величину оптического излучения с одинаковой интенсивностью (β), а следовательно, после вычитающего блока 8 выходной сигнал равен нулю и в цепи обратной связи сигнал отсутствует, вследствие чего привод 13 обратной связи находится в неподвижном состоянии, и информация, получаемая с блока 15 регистрации, равна нулю, характеризуя неподвижное состояние измеряемого объекта.

При появлении внешнего углового перемещения объекта Ω интерференционная картина 7 на оптическом смесителе блока кольцевого лазера начинает смещаться и фотоприемники 4 и 5 начинают принимать разную величину оптического излучения (β). Это вызывает появление на выходе элемента 8 разностного напряжения, величина и полярность которого зависит от величины и направления углового перемещения объекта. В соответствии с этим увеличенным сигналом на выходе блока 12 формирования сигнала компенсации появляется изменяющийся сигнал (при постоянной угловой скорости - линейно возрастающий или линейно убывающий), согласно которому привод 13 механической компенсации отработает угловое перемещение Ω' . При этом величина углового перемещения привода 13 механической компенсации равна по величине и противоположна по фазе угловому перемещению измеряемого объекта, т.е. $\Omega' = -\Omega$. В этом случае величина углового перемещения объекта определяется из соотношения:

$$\Delta\varphi = K_2 U . \quad (2)$$

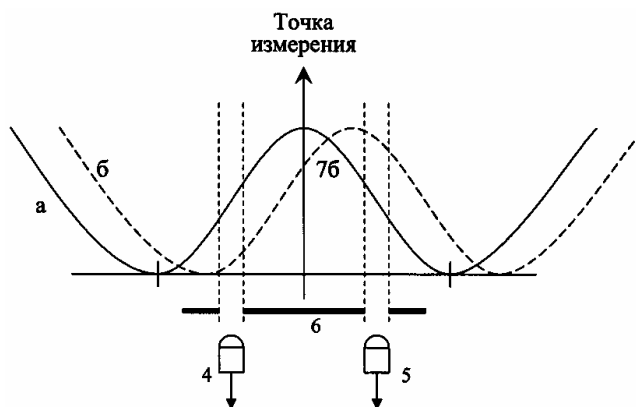
При превышении внешнего углового перемещения величины, соответствующей перемещению интерференционной картины на оптическом смесителе 2 на один период, блок 16 обнуления сбрасывает сигнал управления механической компенсации в ноль и компенсация продолжается с нулевого уровня, с учетом чего блок 15 регистрации выдает полную величину углового перемещения объекта исходя из зависимости (1).

Основным достоинством данного способа является отсутствие начального смещения рабочей точки, при этом отсутствуют ограничения, связанные с зоной нечувствительности кольцевого лазера, вследствие чего уменьшаются погрешности, связанные с дрейфом нуля и нелинейностью зависимости вращения приводов от приложенного напряжения. Кроме этого изменение способа снятия информации с оптического смесителя блока кольцевого лазера позволило изменить принцип механической компенсации, когда отсутствуют сложные механические системы, присущие вращающим устройствам.

BY 9068 C1 2007.04.30

Источники информации:

1. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники. - Киев: Вища школа, 1981. - С. 408.
2. Optical gyros and their application, Research and Technology Organization, BP 25, 7 Rue Angelle, F-92201 Neuilly-sur-seine Cedex, France. - С. 1-2, 5-29.
3. Ring laser gyroscope having a constant output beat-frequency, US Patent 3807866, Apr. 30, 1974.
4. Лазерные измерительные системы / Под ред. Д.П. Лукьяновича. - М.: Радио и связь, 1981. - С. 334-343 (прототип).
5. Мочалов А.В. Лазерный гироскоп компенсационного типа. Изв. ЛЭТИ. Вып. 215, 1977. - С. 133-135.



Фиг. 2