



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013157291/28, 24.12.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.12.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.12.2013

(45) Опубликовано: 10.04.2015 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2168702 С1 10.06.2001 . RU 2207510 С2 27.06.2003 . EP 866310 В1 20.12.2006 . US 20130125614 А1 23.05.2013 . RU 2483278 С2 27.05.2013 . US 5287033 А1 15.02.1994

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Матвеева
В.А., (НУК ИУ)

(72) Автор(ы):

**Басараб Михаил Алексеевич (RU),
Лунин Борис Сергеевич (RU),
Матвеев Валерий Александрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

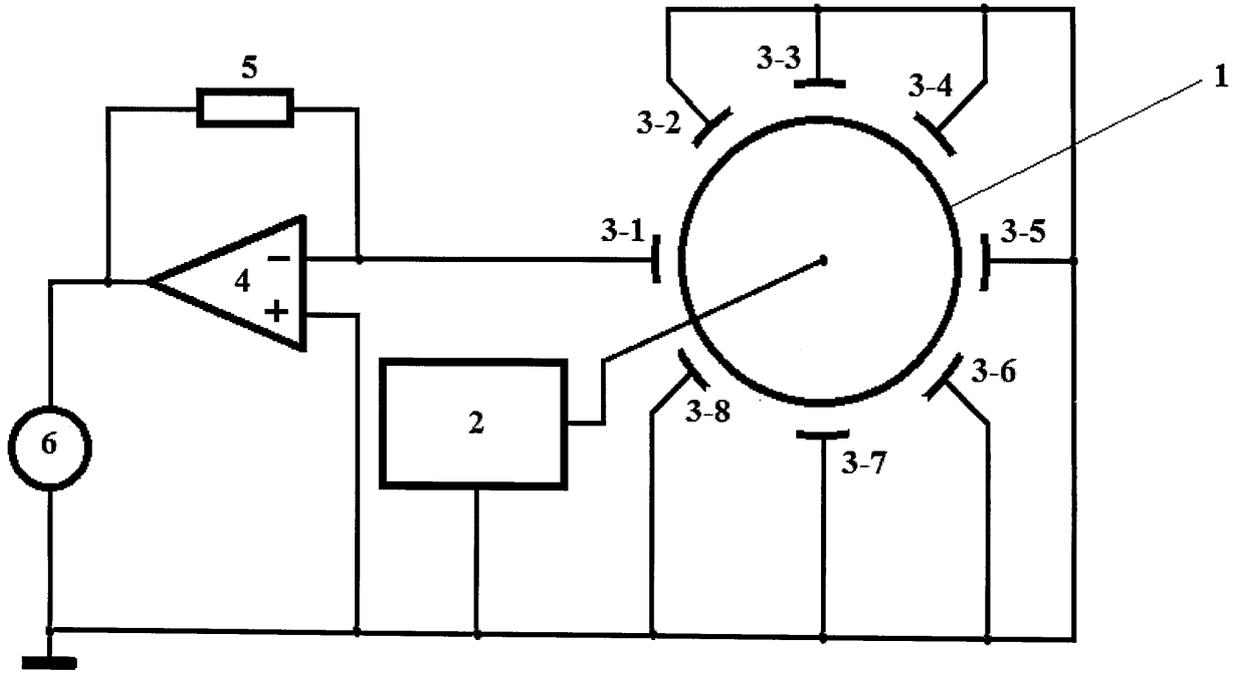
**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ
им. Н.Э. Баумана) (RU)**

(54) СПОСОБ УСТАНОВКИ КОЛЬЦЕВОГО ЗАЗОРА ПРИ СБОРКЕ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологии сборки волновых твердотельных гироскопов (ВТГ) и может быть использовано при производстве навигационных приборов и систем для самолетов, катеров, космических аппаратов, бурильных установок. Задачей изобретения является повышение равномерности кольцевого зазора между проводящей поверхностью цилиндрического или полусферического резонатора ВТГ и внешними электродами при сборке. Поставленная задача решается за счет повышения точности измерения переменного тока, протекающего через внешний электрод, что достигается уменьшением влияния паразитных емкостей на результат измерения. Предложенный способ установки кольцевого зазора между поверхностью цилиндрического или полусферического резонатора волнового твердотельного гироскопа и внешними электродами включает формирование переменного напряжения между внешними

электродами и проводящей поверхностью резонатора, поочередное измерение величины тока, протекающего через каждый внешний электрод, и установку резонатора в положение, при котором эти токи равны между собой, отличающийся тем, что при измерении тока выбранный внешний электрод подключают к инвертирующему входу операционного усилителя, при этом инвертирующий вход операционного усилителя соединяют с его выходом через резистор, величину которого выбирают исходя из необходимой величины выходного напряжения и величины тока инвертирующего входа операционного усилителя, а неинвертирующий вход операционного усилителя и другие внешние электроды соединяют с общим проводом. Согласно сделанной оценке неравномерность кольцевого зазора при установке его предложенным способом составляет около 1%.
1 ил.



Фиг.1

RU 2546987 C1

RU 2546987 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013157291/28, 24.12.2013

(24) Effective date for property rights:
24.12.2013

Priority:

(22) Date of filing: 24.12.2013

(45) Date of publication: 10.04.2015 Bull. № 10

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja ul., 5, str. 1,
MGTU im. N.Eh. Baumana, TsZIS, dlja Matveeva
V.A., (NUK IU)

(72) Inventor(s):

**Basarab Mikhail Alekseevich (RU),
Lunin Boris Sergeevich (RU),
Matveev Valerij Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana)
(RU)**

(54) **ANNULAR GAP SETTING METHOD DURING ASSEMBLY OF WAVE SOLID-STATE GYROSCOPE**

(57) Abstract:

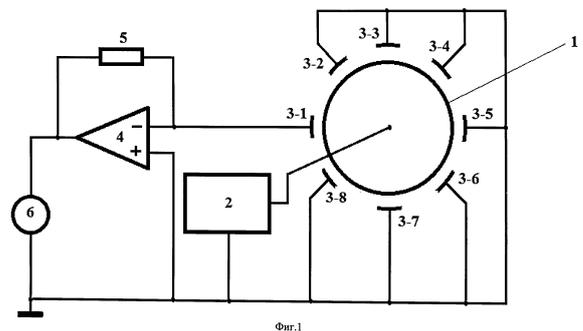
FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: method of setting of annular gap between a surface of the cylindrical or hemispherical resonator of the wave solid-state gyroscope and external electrodes comprises formation of alternating voltage between external electrodes and conductive resonator surface, alternate measurement of current flowing through each external electrode, and setting of the resonator in the position at which these currents are equal among themselves, which differs in that during current measurement the selected external electrode is connected to the inverting input of the operational amplifier. The inverting input of the operational amplifier is connected to its output through the resistor the value of which is selected in view of the necessary value of output voltage and the current of the inverting input of the operational amplifier, and the non-inverting input of the operational amplifier and other external electrodes are connected to the common wire. According to the made assessment the unevenness of the annular gap when setting by the offered method is

about 1%.

EFFECT: improvement of uniformity of the annular gap between the conductive surface of the cylindrical or hemispherical resonator of the wave solid-state gyroscope and external electrodes during assembly, improvement of accuracy of measurement of the alternating current flowing through the external electrode that is achieved by decrease of influence of parasitic capacities on the measurement result.

1 dwg



RU 2 546 987 C1

RU 2 546 987 C1

Область техники

Изобретение относится к технологии сборки волновых твердотельных гироскопов (ВТГ) и может быть использовано при производстве навигационных приборов и систем для самолетов, катеров, космических аппаратов, бурильных установок.

5 Уровень техники

При сборке ВТГ необходимо обеспечить равномерный кольцевой зазор между поверхностью цилиндрического или полусферического резонатора и внешними электродами, используемыми для измерения параметров колебаний резонатора и управления этими колебаниями. Каждый внешний электрод образует электрическую емкость с проводящей поверхностью резонатора, величина которой обратно пропорциональна величине зазора. Изменение этой емкости при колебаниях используют как информационный сигнал ВТГ, а приложение напряжений к внешним электродам позволяет управлять колебаниями резонатора. Неравномерный по окружному углу кольцевой зазор приводит к различию этих емкостей и к погрешностям ВТГ [E.J. Loper, 10 D.D. Lynch, K.M. Stevenson Projected performance of smaller hemispherical resonator gyros // Position Location and Navigation Symposium, Las Vegas, NV, 4-7 November 1986, USA. S86-160]. Поэтому при сборке ВТГ необходимо устанавливать резонатор симметрично 15 внешним электродам, обеспечивая равномерный кольцевой зазор между внешними электродами и проводящей поверхностью резонатора.

20 Наиболее близким к предложенному способу (прототип) является способ установки кольцевого зазора между поверхностью резонатора и внешними электродами при сборке ВТГ [В.А. Матвеев, Б.С. Лунин, М.А. Басараб. Навигационные системы на волновых твердотельных гироскопах. М.: Физматлит. - 2008. - 240 с.]. Этот способ 25 включает измерение емкостей, образованных каждым внешним электродом и проводящей поверхностью резонатора, и установку резонатора относительно внешних электродов в положение, при котором все эти емкости одинаковы. Способ измерения вышеуказанных емкостей может заключаться в формировании переменного напряжения между внешними электродами и проводящей поверхностью резонатора и измерении 30 величины тока, протекающего через каждый внешний электрод. Для этого могут использоваться известные приборы, например LCR-измеритель E7-12 [Измерители L, C, R цифровые E7-12, E7-12/1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 2.724.011 ГО]. Равномерность установленного кольцевого зазора при этом определяется 35 точностью измерения тока, протекающего через внешний электрод. Недостатком данного способа является большое влияние различных паразитных емкостей на точность измерения тока, протекающего через каждый внешний электрод. Паразитные емкости имеются между соседними внешними электродами, внешними электродами и общим проводом; существует также входная емкость измерительного прибора. Паразитные 40 емкости образуют дополнительную проводимость по переменному току и снижают точность измерения тока, протекающего через выбранный внешний электрод. Суммарная величина паразитных емкостей может достигать ~1 пФ, тогда как величина емкости, образованной одним внешним электродом и проводящей поверхностью резонатора, может составлять 0.5-1 пФ. Так как суммарная величина паразитных емкостей может быть неодинаковой для различных внешних электродов, то возникает случайная погрешность в измерении тока, протекающего через каждый внешний 45 электрод, что приводит при сборке ВТГ к установлению неравномерного кольцевого зазора. По оценке авторов азимутальная погрешность величины вышеуказанного кольцевого зазора может достигать 70%.

Раскрытие изобретения

Задачей изобретения является повышение равномерности кольцевого зазора между проводящей поверхностью цилиндрического или полусферического резонатора ВТГ и внешними электродами при сборке.

Поставленная задача решается за счет повышения точности измерения переменного тока, протекающего через внешний электрод, что достигается уменьшением влияния паразитных емкостей на результат измерения. Для этого способ установки кольцевого зазора между поверхностью цилиндрического или полусферического резонатора волнового твердотельного гироскопа и внешними электродами включает формирование переменного напряжения между внешними электродами и проводящей поверхностью резонатора, поочередное измерение тока, протекающего через каждый внешний электрод, и установку резонатора в положение, при котором эти токи одинаковы. При измерении тока выбранный внешний электрод подключают к инвертирующему входу операционного усилителя, при этом инвертирующий вход операционного усилителя соединяют с его выходом через резистор, величину которого выбирают исходя из необходимой величины выходного напряжения и величины тока инвертирующего входа операционного усилителя, а неинвертирующий вход операционного усилителя и другие внешние электроды соединяют с общим проводом.

Преимуществом заявленного способа является высокая точность измерения тока, протекающего через внешний электрод за счет уменьшения влияния паразитных емкостей, что позволяет увеличить равномерность вышеуказанного кольцевого зазора.

Перечень фигур

На фиг.1 показана схема подключения резонатора и внешних электродов при поочередном измерении тока, протекающего через внешний электрод.

Осуществление изобретения

Резонатор ВТГ закрепляют в регулировочном приспособлении, позволяющем перемещать резонатор относительно внешних электродов, и подключают согласно фиг.1. Проводящую поверхность резонатора 1 соединяют с выходом генератора переменного напряжения 2. Общую точку генератора 2 соединяют с общим проводом. Выбранный внешний электрод, например 3-1, подключают к инвертирующему входу операционного усилителя 4, инвертирующий вход которого соединен с его выходом через резистор 5, величину которого выбирают исходя из необходимой величины выходного напряжения и величины тока инвертирующего входа операционного усилителя, а неинвертирующий вход операционного усилителя и другие внешние электроды соединяют с общим проводом.

Ток I , протекающий через внешний электрод, равен:

$$I = 2\pi fUC, \quad (1)$$

где f - частота переменного напряжения;

U - величина переменного напряжения;

C - емкость между внешним электродом и проводящей поверхностью резонатора.

Напряжение на выходе операционного усилителя 4 прямо пропорционально току I и составляет:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 2\pi fRUC, \quad (2)$$

где R - величина резистора 5.

Напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ на выходе операционного усилителя 4 измеряют вольтметром 6.

Величину тока I определяют по формуле:

$$I = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{R}. \quad (3)$$

Между внешними электродами, а также между внешними электродами и общим проводом существуют паразитные емкости, однако токи через них не протекают, так как разность потенциалов на них равна нулю, поскольку потенциал инвертирующего входа операционного усилителя 4 практически равен нулю (так называемая «кажущаяся земля»), а все другие внешние электроды соединены с общим проводом.

По приведенной схеме поочередно измеряют величину тока, протекающего через электроды 3-1...3-8. Путем перемещения резонатора 1 относительно внешних электродов 3-1...3-8 добиваются равенства токов, протекающих через каждый внешний электрод. Это положение резонатора соответствует равномерному кольцевому зазору между поверхностью цилиндрического или полусферического резонатора и внешними электродами.

Благодаря предложенной процедуре измерения тока, протекающего через каждый внешний электрод, паразитные емкости между внешними электродами, а также между внешними электродами и общим проводом не влияют на измерение тока, протекающего через внешний электрод. Как следует из формул (1)-(3), точность измерения тока определяется точностью измерения выходного напряжения и нестабильностью напряжения генератора переменного тока. На практике относительная погрешность этих величин не превышает 1...2%, что и позволяет существенно повысить равномерность вышеупомянутого кольцевого зазора при сборке ВТГ.

Определим точность предложенного способа расчетным путем. Пусть $f=10^5$ Гц, $U=10$ В, $C=10^{-12}$ Ф. Тогда, согласно (1), ток, протекающий через внешний электрод, равен 6,28 мкА. Этот ток является входным током инвертирующего входа операционного усилителя 4. При использовании операционного усилителя типа AD823 с минимальным входным током 0.5 нА [www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/D/8/2/AD823.shtml] вносимая операционным усилителем погрешность составляет ~0.1%. Величину резистора 5 выбирают, исходя из необходимой величины выходного напряжения и величины тока инвертирующего входа операционного усилителя. При необходимости получить величину выходного напряжения операционного усилителя $U_{\text{вых}}=0.628$ В при величине входного тока инвертирующего входа операционного усилителя $I=6.28$ мкА величина резистора 5 составляет $R=10^5$ Ом (3). При измерении выходного напряжения операционного усилителя 4 напряжения вольтметром В7-21А на пределе измерения переменного тока 1 В погрешность составляет 1% [В7-21А. Вольтметр универсальный. Формуляр атд 2.710.003 ФО]. Нестабильность выходного напряжения генератора, например, для модели Г5-75 при выходном напряжении $U=10$ В не превышает 0.1% [Г5-75. Генератор импульсов точной амплитуды. Формуляр 3.269.092 ФО].

Таким образом, суммарная относительная погрешность измерения тока I составляет 1.2%, что позволяет довести до такого же уровня равномерность кольцевого зазора между внешними электродами и проводящей поверхностью резонатора при сборке ВТГ.

Формула изобретения

Способ установки кольцевого зазора между поверхностью цилиндрического или полусферического резонатора волнового твердотельного гироскопа и внешними электродами, включающий формирование переменного напряжения между внешними электродами и проводящей поверхностью резонатора, поочередное измерение величины тока, протекающего через каждый внешний электрод, и установку резонатора в положение, при котором эти токи равны между собой, отличающийся тем, что при

измерении тока выбранный внешний электрод подключают к инвертирующему входу операционного усилителя, при этом инвертирующий вход операционного усилителя соединяют с его выходом через резистор, величину которого выбирают исходя из необходимой величины выходного напряжения и величины тока инвертирующего входа операционного усилителя, а неинвертирующий вход операционного усилителя и другие внешние электроды соединяют с общим проводом.

10

15

20

25

30

35

40

45