

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **043921**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.07.06**

(51) Int. Cl. **G01C 19/58 (2006.01)**  
**G01P 3/44 (2006.01)**

(21) Номер заявки  
**202200135**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.10.25**

---

(54) **ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ГИРОСКОПА**

---

(31) **2021131837**

(32) **2021.10.29**

(33) **RU**

(43) **2023.05.31**

(56) **RU-C1-2397445**  
**RU-C1-2520949**  
**US-B2-8011245**  
**JP-A-H09264745**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "САНКТ-  
ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ "ЛЭТИ" ИМ. В.И.  
УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА) (RU)**

(72) Изобретатель:  
**Дурукан Ясемин, Перегудов  
Александр Николаевич, Попкова  
Екатерина Сергеевна, Шевелько  
Михаил Михайлович (RU)**

---

(57) Чувствительный элемент гироскопа относится к устройствам, используемым в приборах ориентации и навигации. Чувствительный элемент содержит звукопровод, выполненный из изотропного материала, в форме параллелепипеда и пластинчатые пьезоэлектрические излучающий и приёмный преобразователи сдвиговых волн, оси чувствительности которых перпендикулярны друг другу, при этом преобразователи размещены на противоположных гранях звукопровода. Достижимым техническим результатом является создание чувствительного элемента гироскопа, который обеспечивает как измерение абсолютного значения угловой скорости, так и определение пространственной ориентации вектора угловой скорости.

---

**B1**

**043921**

**043921**

**B1**

Чувствительный элемент гироскопа относится к устройствам, используемым для измерения угловой скорости в приборах ориентации и навигации, например в датчиках угловой скорости.

Для измерения угловой скорости используются гироскопы, чувствительные элементы которых базируются на различных физических принципах, в том числе на основе контроля параметров акустических волн.

Известен ряд чувствительных элементов для измерения угловой скорости на основе акустических волн.

Известен чувствительный элемент гироскопа, описанный в патенте RU 2457436 C1 ["Чувствительный элемент гироскопа", МПК G01C 19/58], который представляет собой твердотельный звукопровод, имеющий один плоскопараллельный торец, второй торец имеет наклонную грань. На плоскопараллельном торце размещен пластинчатый пьезоэлектрический преобразователь сдвиговой волны, вектор поляризации которой параллелен наклону грани. Наклонная грань обеспечивает нормальное падение возникающей при отражении от этой грани продольной составляющей волны на приемный преобразователь продольных колебаний, расположенный на боковой грани звукопровода.

Известен чувствительный элемент гироскопа, описанный в патенте RU 2714530 C1 ["Ультразвуковой способ измерения угловой скорости", МПК G01P 3/44], который выполнен в виде пластинчатых пьезоэлектрических преобразователей, размещенных непосредственно на объекте измерения. Излучающий пьезопреобразователь возбуждает сдвиговую волну, которая распространяется перпендикулярно оси вращения среды распространения. В условиях вращения пластинчатый пьезоэлектрический преобразователь принимает продольную компоненту вектора поляризации.

Наиболее близким по совокупности признаков устройства является чувствительный элемент, описанный в патенте RU 2397445 C1 ["Чувствительный элемент гироскопа", МПК G01C 19/58, G01P 9/04], который реализован в виде твердотельного звукопровода, выполненного из изотропного материала в форме цилиндра, и размещенных на противоположных плоскопараллельных торцах звукопровода пластинчатых пьезоэлектрических излучающего и приемного преобразователей сдвиговых волн, оси чувствительности которых перпендикулярны друг другу.

Недостатком чувствительного элемента является измерение только одной компоненты вектора угловой скорости, направленной вдоль оси вращения, которая совпадает с направлением распространения волн, что не позволяет определять пространственную ориентацию вектора угловой скорости.

Задачей настоящего изобретения является создание чувствительного элемента, обеспечивающего измерение значений трех компонент вектора угловой скорости. Одновременное измерение трех компонент необходимо при решении задач, где требуется определение пространственной ориентации вектора угловой скорости.

Поставленная задача решается за счет того, что предлагаемый чувствительный элемент, так же как и известный, содержит звукопровод, выполненный из изотропного материала, и пластинчатые пьезоэлектрические преобразователи сдвиговых волн. Но, в отличие от известного, в предлагаемом решении звукопровод выполнен в форме параллелепипеда, на каждой грани которого размещен пьезоэлектрический преобразователь, причем излучающие и приемные преобразователи расположены на противоположных гранях звукопровода, а их оси чувствительности перпендикулярны друг другу.

Достижимым техническим результатом является создание чувствительного элемента гироскопа, который обеспечивает измерение абсолютного значения и определение пространственной ориентации вектора угловой скорости, т.е. техническим результатом является создание универсального чувствительного элемента датчика угловой скорости, в совокупности с которым не потребуются дополнительных устройств для измерения положения и скорости вращения объекта.

Технический результат достигается за счет того, что звукопровод выполнен в форме параллелепипеда, а на всех противоположных гранях звукопровода размещены излучающий и приемный пластинчатые пьезоэлектрические преобразователи сдвиговых волн. Такое размещение пластинчатых пьезоэлектрических преобразователей обеспечивает измерение угловых скоростей по трем взаимно перпендикулярным осям, что позволяет определять абсолютное значение и пространственную ориентацию вектора угловой скорости.

Сущность предлагаемого чувствительного элемента поясняется чертежами, где:

на фиг. 1 представлена схема чувствительного элемента гироскопа;

на фиг. 2 показан поворот вектора поляризации на угол, пропорциональный угловой скорости вращения.

Рассмотрим более подробно конструкцию предлагаемого чувствительного элемента. На фиг. 1 показаны три пары пластинчатых пьезоэлектрических преобразователей И1П1, И2П2, И3П3, которые размещены на твердотельном звукопроводе 4, выполненном из изотропного материала в форме параллелепипеда. Излучающие преобразователи сдвиговых волн И1, И2, И3 возбуждают сдвиговые волны, приемные пластинчатые пьезопреобразователи П1, П2, П3, оси чувствительности которых перпендикулярны осям чувствительности соответствующих излучающих преобразователей, принимают возникшие в условиях вращения звукопровода колебания. При отсутствии вращения принимаемый сигнал на приемных пьезопреобразователях П1, П2, П3 отсутствует.

При наличии вращения, под воздействием силы Кориолиса, происходит поворот вектора поляризации излученной сдвиговой волны на угол, пропорциональный скорости вращения. На фиг. 2 показан поворот вектора поляризации  $\xi_{И1}$  излученной преобразователем И1 сдвиговой волны на угол  $\beta_1$ . Амплитуда принятой приемным преобразователем П1 компоненты вектора поляризации  $\xi_{П1}$  пропорциональна определяемой компоненте вектора угловой скорости вращения  $\Omega_1$ . При этом вращение, происходящее под другим углом, не влияет на амплитуду принятого сигнала, т.е. чувствительный элемент, построенный на указанном принципе, - одноосевой. При возбуждении волн преобразователями И2, И3 наблюдаемые эффекты аналогичны. Тогда поворот векторов поляризации каждой из излученных волн будет определяться следующим соотношением:

$$\beta_1 = \tau_1 \Omega_1; \beta_2 = \tau_2 \Omega_2; \beta_3 = \tau_3 \Omega_3 \quad (1)$$

где  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  - времена распространения волн в звукопроводе в соответствующем направлении, которые определяются соотношениями:

$$\tau_1 = \frac{l_1}{c}; \tau_2 = \frac{l_2}{c}; \tau_3 = \frac{l_3}{c};$$

где  $l_1, l_2, l_3$  - длины звукопровода в соответствующем направлении,  
 $c$  - скорость распространения сдвиговых волн.

Пусть вращение происходит вокруг произвольной оси с угловой скоростью  $\vec{\Omega}$ . Выходные напряжения  $U_{\text{вых1}}, U_{\text{вых2}}, U_{\text{вых3}}$ , снимаемые с приемных преобразователей, связаны с величинами компонент угловых скоростей  $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$  следующими соотношениями:

$$U_{\text{вых1}} = U_{\text{вх}} K_{\text{ак}} \tau_1 \Omega_1; U_{\text{вых2}} = U_{\text{вх}} K_{\text{ак}} \tau_2 \Omega_2; U_{\text{вых3}} = U_{\text{вх}} K_{\text{ак}} \tau_3 \Omega_3$$

где  $U_{\text{вх}}$  - напряжение, подаваемое на излучающие преобразователи;

$K_{\text{ак}}$  - коэффициент передачи акустического тракта датчика.

Откуда величины проекций вектора угловой скорости  $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$  на оси X, Y, Z, показанные на фиг. 1, определяются следующими соотношениями:

$$\Omega_1 = \frac{U_{\text{вых1}}}{U_{\text{вх}} K_{\text{ак}} \tau_1}; \Omega_2 = \frac{U_{\text{вых2}}}{U_{\text{вх}} K_{\text{ак}} \tau_2}; \Omega_3 = \frac{U_{\text{вых3}}}{U_{\text{вх}} K_{\text{ак}} \tau_3} \quad (2)$$

Абсолютное значение угловой скорости представляет собой векторное сложение компонент вектора угловой скорости  $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ :

$$\Omega = \sqrt{\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2} \quad (3)$$

При этом функционирование системы преобразователей происходит следующим образом.

Пара преобразователей И1П1 измеряет компоненту вектора угловой скорости  $\Omega_1$ , направленную по оси X, проекция которой связана с абсолютным значением угловой скорости, следующим соотношением:

$$\cos(\alpha_1) = \frac{\Omega_1}{\Omega}$$

Пара преобразователей И2П2 измеряет компоненту вектора угловой скорости  $\Omega_2$ , направленную по оси Y, проекция которой связана с абсолютным значением угловой скорости, следующим соотношением:

$$\cos(\alpha_2) = \frac{\Omega_2}{\Omega}$$

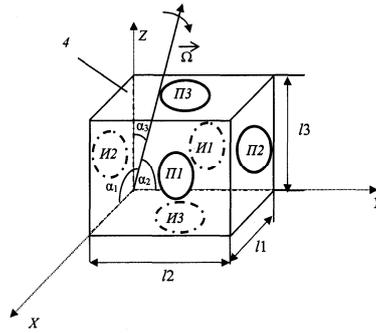
Пара преобразователей И3П3 измеряет компоненту вектора угловой скорости  $\Omega_3$ , направленную по оси Z, проекция которой связана с абсолютным значением угловой скорости, следующим соотношением:

$$\cos(\alpha_3) = \frac{\Omega_3}{\Omega}$$

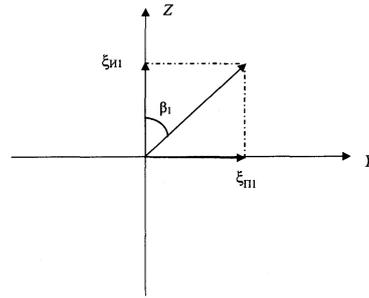
Таким образом, выражения (2) позволяют определить компоненты угловых скоростей, а значит, и пространственную ориентацию, по принятым значениям выходных напряжений, а выражение (3) позволяет вычислить абсолютное значение угловой скорости.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Чувствительный элемент гироскопа, содержащий звукопровод, выполненный из изотропного материала, и пластинчатые пьезоэлектрические преобразователи сдвиговых волн, отличающийся тем, что звукопровод выполнен в форме параллелепипеда, на каждой грани которого размещен пьезоэлектрический преобразователь, причем излучающие и приемные преобразователи расположены на противоположных гранях звукопровода, а их оси чувствительности перпендикулярны друг другу.



Фиг. 1



Фиг. 2