



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01F 1/32 (2018.02)

(21)(22) Заявка: 2017117938, 23.05.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.05.2017

Дата регистрации:  
14.05.2018

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 23.05.2017

(45) Опубликовано: 14.05.2018 Бюл. № 14

Адрес для переписки:  
141074, Московская обл, г. Королев, ул.  
Пионерская, 2, АО "НПО ИТ"

(72) Автор(ы):  
Чернышев Валерий Александрович (RU),  
Севостьянов Сергей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Акционерное общество  
"Научно-производственное объединение  
измерительной техники" (RU)

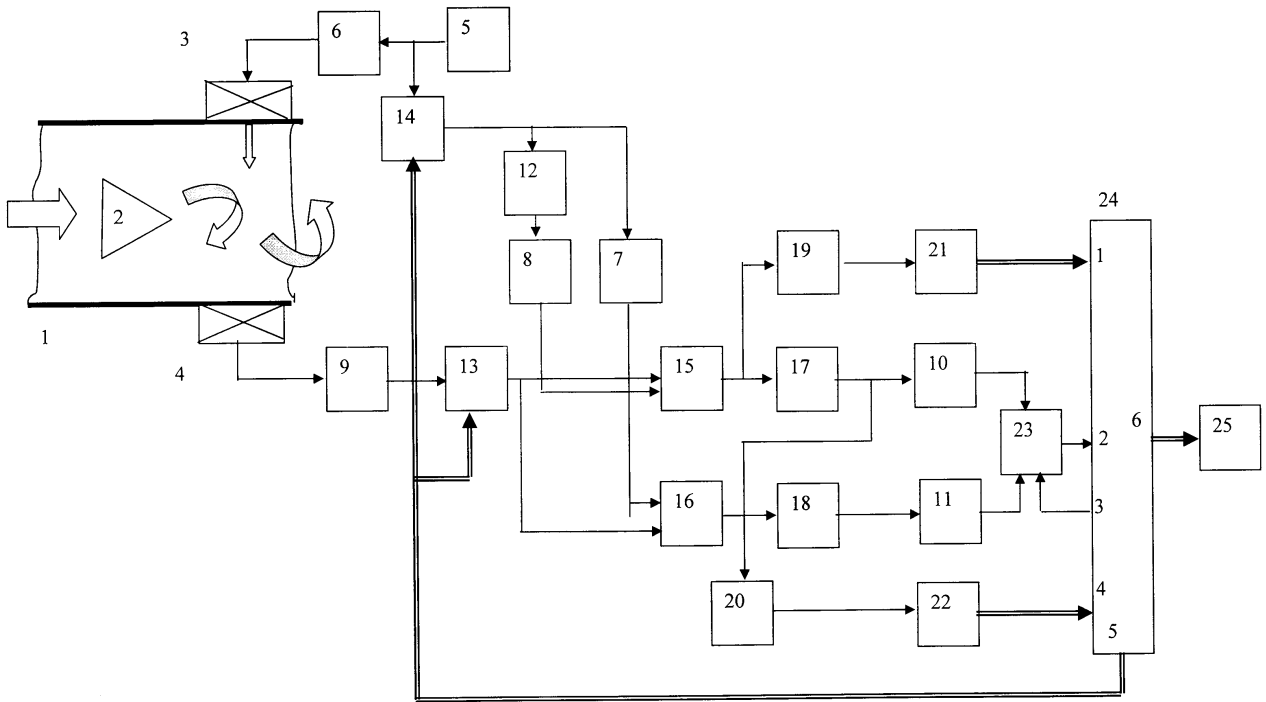
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 5728947 A1, 17.03.1998. US  
4924710 A1, 15.05.1990. US 3886794 A1,  
03.06.1975. RU 2279639 C2, 10.07.2006.

(54) Вихреакустический расходомер

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике, а конкретно к вихревым расходомерам, предназначенным для измерения расхода и количества жидкостей и газов, протекающих в трубопроводах, и может быть использовано для контроля, регулирования и учета потоков текучих сред. Вихреакустический расходомер содержит измерительный патрубок, расположенное в патрубке поперек потока тело обтекания, излучатель и приемник ультразвуковых колебаний, генератор сигнала ультразвуковой частоты, три делителя частоты на два, два

делителя частоты с переменным коэффициентом деления, три усилителя-формирователя, инвертор, два фазовых детектора, два фильтра верхних частот, фильтр нижних частот, пиковый детектор, два аналого-цифровых преобразователя, мультиплексор с двумя входами, микроконтроллер, выходное устройство. Технический результат - расширение диапазона допускаемых значений сдвига фаз, повышение точности измерений при работе в широком интервале температур контролируемой среды. 3 ил.



Блок-схема вихревого расходомера

Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01F 1/32 (2018.02)*

(21)(22) Application: **2017117938, 23.05.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**23.05.2017**

Registration date:  
**14.05.2018**

Priority:

(22) Date of filing: **23.05.2017**

(45) Date of publication: **14.05.2018** Bull. № 14

Mail address:

**141074, Moskovskaya obl., g. Korolev, ul.  
Pionerskaya, 2, AO "NPO IT"**

(72) Inventor(s):

**Chernyshev Valerij Aleksandrovich (RU),  
Sevostyanov Sergej Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aksionernoe obshchestvo  
"Nauchno-proizvodstvennoe obedinenie  
izmeritelnoj tekhniki" (RU)**

(54) **VORTEX ACOUSTIC FLOWMETER**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to a measuring technique, and more particularly to a vortex flowmeter designed to measure the flow and quantity of liquids and gases flowing in pipelines and can be used to control, regulate and account for fluid flows. Vortex acoustic flowmeter contains a measuring tube located in the branch pipe across the flow body, a radiator and receiver of ultrasonic vibrations, an ultrasonic frequency signal generator, three frequency dividers into two, two

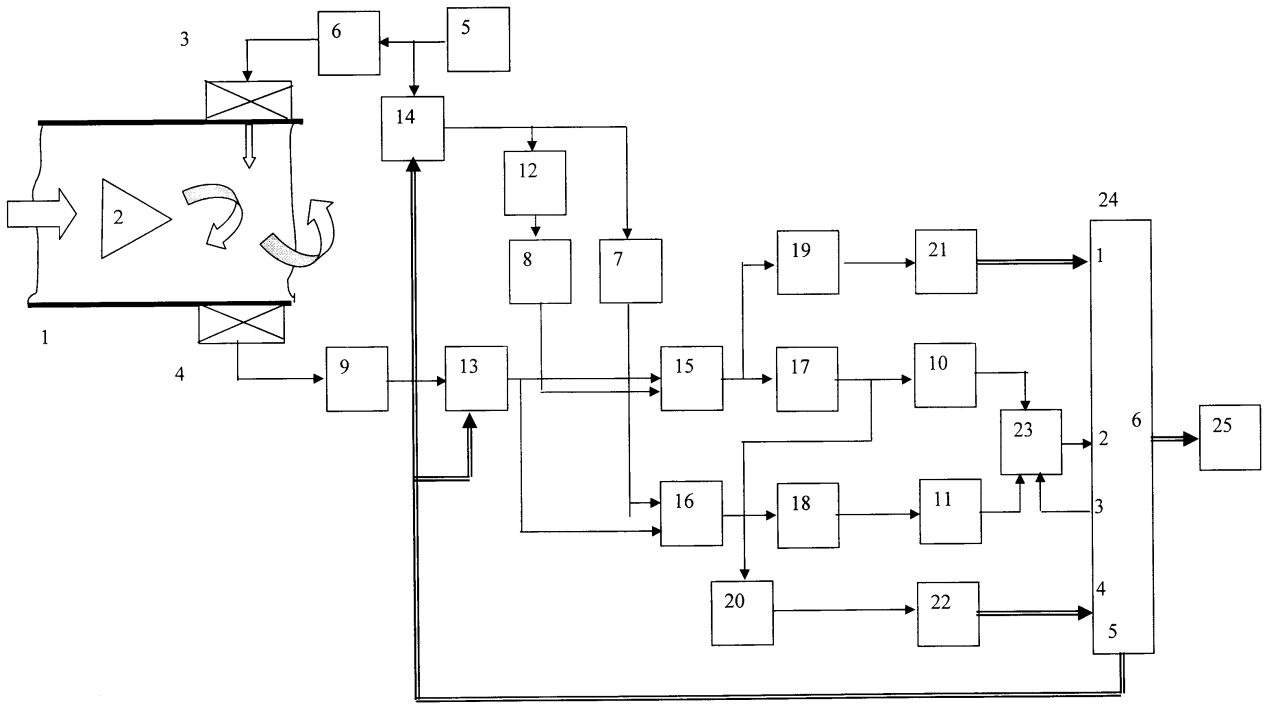
divisors of frequency with a variable coefficient of division, three amplifier-shaper, inverter, two phase detectors, two high-pass filters, low-pass filter, peak detector, two analog-to-digital converters, a multiplexer with two inputs, a microcontroller, an output device.

EFFECT: expansion of the range of permissible phase shift values, increasing the accuracy of measurements during operation over a wide range of temperatures of the controlled medium.

1 cl, 3 dwg

**RU 2 653 776 C1**

**RU 2 653 776 C1**



Блок-схема вихревого расходомера

Фиг. 1

RU 2 6 5 3 7 7 6 C 1

RU 2 6 5 3 7 7 6 C 1

Изобретение относится к измерительной технике, а конкретно к вихревым расходомерам, предназначенным для измерения расхода и количества жидкостей и газов, протекающих в трубопроводах, и может быть использовано для контроля, регулирования и учета потоков текучих сред.

5 Известен вихреакустический расходомер (патент США №4.924.710 C2, МПК G01F 1/32, НКИ 78/861.238, опубл. 15.05.1990) с двумя электроакустическими каналами, содержащий измерительный патрубок, установленное поперек потока плохообтекаемое тело, две пары "излучатель-приемник", генератор синусоидального сигнала, фазовый  
10 детектор, полосно-пропускающий фильтр и другие узлы. Обе пары "излучатель-приемник" расположены непосредственно за телом обтекания на противоположных стенках трубопровода. Непрерывный синусоидальный сигнал генератора подается на излучатели обеих пар "излучатель-приемник". Излучаемые ими ультразвуковые сигналы пересекают поток навстречу друг другу и поступают на приемники. С выходов приемников электрические сигналы, модулированные по фазе после прохождения через  
15 вихри, поступают на фазовый детектор. Выходной сигнал фазового детектора поступает на полосно-пропускающий фильтр, который подавляет несущую частоту, убирает постоянную составляющую сигнала фазового детектора, а также высокочастотные помехи, частота которых лежит за пределами рабочего диапазона частот вихреобразования. В итоге на выходе фильтра формируется сигнал, близкий по форме  
20 к синусоиду. Усилитель-формирователь усиливает этот сигнал и формирует из них импульсы прямоугольной формы, частота следования которых равна частоте следования вихрей. Достоинством расходомера является простота электронной схемы.

Недостатком описанного вихреакустического расходомера является наличие двух электроакустических каналов, задержка ультразвуковых сигналов в которых,  
25 определяемая длиной канала, должна быть строго одинакова. В противном случае (при наличии геометрической асимметрии каналов) при значительных изменениях температуры наблюдается дрейф начальной фазы приемных сигналов, который может приводить к потере работоспособности.

От указанного недостатка свободен вихреакустический расходомер с одним  
30 электроакустическим каналом, выбранный в качестве прототипа (патент США №5.728.947, МПК G01F 1/32, НКИ 73/861.22, опубл. 17.04.1998). Указанный расходомер содержит измерительный патрубок, расположенное в патрубке поперек потока тело обтекания, излучатель и приемник ультразвуковых колебаний, установленные диаметрально противоположно за телом обтекания, генератор сигнала ультразвуковой  
35 частоты, первый и второй делители частоты на два, первый и второй усилители-формирователи, инвертор, мультиплексор с двумя входами, фазовый детектор, фильтр верхних частот, фильтр нижних частот, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, цифроаналоговый преобразователь и другие узлы.

Указанный расходомер работает следующим образом.

40 С выхода генератора сигнал типа «меандр» поступает на вход первого делителя частоты на два, с выхода которого сигнал поделенной частоты поступает на излучатель, который преобразует его в ультразвуковые колебания, распространяющиеся от излучателя к приемнику в виде бегущей волны. Поступающие на приемник ультразвуковые колебания преобразуются в электрический сигнал, фаза которого по  
45 отношению к фазе сигнала, поступающего на излучатель, сдвинута на величину

$$\Delta\varphi = \frac{\omega D}{C + V_{\approx}} \approx \frac{\omega D}{C} - \frac{\omega D V_{\approx}}{C^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta\phi$  - сдвиг фаз сигнала приема по отношению к сигналу возбуждения,  $\omega$  - круговая частота ультразвукового сигнала,  $D$  - длина пути ультразвукового сигнала в среде, равная диаметру измерительного патрубка,  $C$  - скорость звука в неподвижной среде,  $V_{\approx}$  - среднее вдоль пути ультразвукового сигнала значение переменной составляющей проекции скорости потока  $V_1$  на направление распространения ультразвукового сигнала:

$$V_{\approx} = \frac{1}{D} \int_0^D V_l \cdot dl \approx m \cdot V \cdot \sin(\Omega t), \quad (2)$$

где  $\Omega$  - круговая частота вихреобразования,  $V$  - средняя по сечению скорость потока,  $m < 1$  - коэффициент модуляции, зависящий от размеров и интенсивности вихрей,  $t$  - время.

Синусоидальный сигнал с выхода приемника поступает на вход первого усилителя-формирователя, которым преобразуется в прямоугольные импульсы, поступающие на первый вход фазового детектора. С выхода генератора сигнал поступает также на вход инвертора, выход которого подключен к первому входу мультиплексора, а также непосредственно на второй вход мультиплексора. В зависимости от величины управляющего сигнала, поступающего от микропроцессора, на выход мультиплексора проходит либо выходной сигнал генератора, либо инверсный ему сигнал с выхода инвертора. Выходной сигнал мультиплексора поступает на вход второго делителя частоты на два. Сигнал с выхода второго делителя на два в зависимости от того, какой сигнал проходит на выход мультиплексора, либо совпадает по фазе с выходным сигналом первого делителя частоты на два, либо сдвинут по фазе по отношению к нему на  $90^\circ$ . Сигнал с выхода второго делителя поступает на второй вход фазового детектора и является по отношению к выходному сигналу первого усилителя-формирователя опорным. Фазовый детектор выполнен по схеме «исключающее ИЛИ». Пульсирующее напряжение на выходе фазового детектора представляет собой сумму постоянной и переменной составляющих. Постоянная составляющая определяется набегом фазы ультразвукового сигнала без учета влияния вихрей  $\Delta\phi_{\approx}$ :

$$\Delta\phi_{\approx} = \frac{\omega D}{C} \quad (3)$$

Постоянная составляющая выделяется фильтром нижних частот, преобразуется в цифровой код аналого-цифровым преобразователем и поступает на один из входов микроконтроллера, где ее величина анализируется. В случае, если величина постоянной составляющей приближается к нулю или к максимальному значению, это означает, что  $\Delta\phi_{\approx}$  приближается к особым точкам характеристики фазового детектора  $0^\circ$  или  $180^\circ$ . В этом случае микроконтроллер вырабатывает управляющий сигнал для мультиплексора, который подключает его выход к другому входу. При этом фаза опорного сигнала скачком изменяется на  $90^\circ$ , постоянная составляющая выходного напряжения фазового детектора скачком изменяется до значения, равного половине максимального, и нормальная работа фазового детектора восстанавливается.

Переменная составляющая выходного напряжения фазового детектора пропорциональна переменной составляющей сдвига фаз  $\Delta\phi_{\approx}$ :

$$\Delta\phi_{\approx} = \frac{\omega D m V \sin \Omega t}{C^2} \quad (4)$$

выделяется с помощью фильтра верхних частот и поступает на второй усилитель-

формирователь, формирующий прямоугольные импульсы. Указанные импульсы поступают на другой вход микроконтроллера, который преобразует частоту сигнала в цифровой код, поступающий на вход цифроаналогового преобразователя. Цифроаналоговый преобразователь преобразует код в электрический сигнал (напряжение или ток), пропорциональный измеряемому расходу, являющийся выходной величиной расходомера

Описанный вихреакустический расходомер имеет следующие недостатки:

1. Допускаемый диапазон сдвига фаз  $\Delta\varphi_{\approx}$  ограничен значениями  $\pm\pi/2$ . Между тем, диапазон изменения скорости потока обычно составляет не менее 50:1, диапазон диаметров измерительного патрубка для ряда промышленного ряда расходомеров составляет 12:1 (от 25 до 300 мм), диапазон изменения скорости звука составляет  $\sim 1,5:1$ , т.е. диапазон изменения квадрата скорости звука составляет 2,25:1. Кроме того, в диапазоне  $(0; \pi)$  должен поместиться размах сигнала, равный удвоенной амплитуде. Отсюда следует, что суммарный возможный диапазон изменения сдвига фаз сигналов приема для всех типоразмеров ряда расходомеров составляет не менее  $50 \times 12 \times 2,25 \times 2 = 2700:1$ . Обеспечить измерения в таком диапазоне с использованием одной и той же частоты зондирующего сигнала невозможно, так как обычно частота зондирующего сигнала составляет порядка  $(1 \dots 2)$  МГц, и при измерениях в трубопроводах большого диаметра возможна ситуация, когда размах сдвига фаз превышает  $\pi$ .

Для уменьшения размаха сдвига фаз возможно использование разных частот  $\omega$  - чем больше диаметр  $D$ , тем меньше должна быть частота  $\omega$ . Недостатком такого технического решения является необходимость иметь несколько вариантов исполнения блоков электроники и ультразвуковых излучателей, что снижает степень унификации расходомеров и, как следствие, повышает их стоимость.

2. При переключении мультиплексора к входу фазового детектора подключается другой опорный сигнал (сдвинутый относительно предыдущего на  $90^\circ$ ), что сопровождается скачкообразным изменением уровня постоянной составляющей выходного сигнала фазового детектора. Возникает переходной процесс, сопровождающийся пропуском некоторого количества выходных импульсов. В ряде случаев, например при точном измерении небольших объемов, подобный сбой является недопустимым.

Ожидаемый технический эффект изобретения заключается в расширении области применения и повышении точности измерений.

Указанный эффект достигается тем, что в вихреакустический расходомер, содержащий измерительный патрубок, расположенное в патрубке поперек потока тело обтекания, излучатель и приемник ультразвуковых колебаний, установленные диаметрально противоположно за телом обтекания, генератор сигнала ультразвуковой частоты, первый и второй делители частоты на два, первый и второй усилитель-формирователь, инвертор, первый фазовый детектор, первый фильтр верхних частот, фильтр нижних частот, первый аналого-цифровой преобразователь, мультиплексор с двумя входами, микроконтроллер, выходное устройство, дополнительно введены первый и второй делители частоты с переменным коэффициентом деления, третий делитель частоты на два, третий усилитель-формирователь, второй фазовый детектор, второй фильтр верхних частот, пиковый детектор, второй аналого-цифровой преобразователь.

Вход первого делителя частоты с переменным коэффициентом деления подключен к выходу первого усилителя-формирователя, а выход - к первым входам первого и второго фазового детектора, вход второго делителя частоты с переменным коэффициентом деления подключен к выходу задающего генератора, а выход - к входу

инвертора и к входу второго делителя частоты на два.

Управляющие входы делителей частоты с переменным коэффициентом деления подключены к одному и тому же выходу микроконтроллера, выход инвертора подключен к входу третьего делителя частоты на два, выходы второго и третьего делителей частоты на два подключены ко вторым входам первого и второго фазового детектора, выход второго фазового детектора подключен через фильтр верхних частот к третьему усилителю-формирователю, выходы второго и третьего усилителей-формирователей подключены к информационным входам мультиплексора, управляющий вход и выход мультиплексора подключены к микроконтроллеру, вход пикового детектора подключен к выходу первого фильтра верхних частот, а выход пикового детектора через второй аналого-цифровой преобразователь подключен к микроконтроллеру, при этом делители частоты с переменным коэффициентом деления имеют одинаковые коэффициенты деления.

Сущность изобретения поясняется чертежами, на которых представлены: на фиг. 1 - функциональная схема расходомера; на фиг. 2 - иллюстрация нормальной работы фазового детектора; на фиг. 3 - иллюстрация возникновения искажений выходного сигнала фазового детектора, возникающих при попадании постоянной составляющей сдвига фаз в окрестность точек  $n \cdot \pi$ ,  $n=0, 1, 2, 3, \dots$

Вихреакустический расходомер (фиг. 1) содержит измерительный патрубок 1, тело обтекания 2, излучатель 3 и приемник 4 ультразвуковых колебаний, задающий генератор 5, первый 6, второй 7 и третий 8 делители частоты на два, первый 9, второй 10 и третий 11 усилители-формирователи прямоугольных импульсов, инвертор 12, первый 13 и второй 14 делители частоты с переменным коэффициентом деления, первый 15 и второй 16 фазовые детекторы, первый 17 и второй 18 фильтры верхних частот, фильтр нижних частот 19, пиковый детектор 20, первый 21 и второй 22 аналого-цифровые преобразователи, мультиплексор на два входа 23, микроконтроллер 24, выходное устройство 25.

Расходомер работает следующим образом.

При прохождении жидкости через измерительный патрубок 1 за телом обтекания 2 образуется вихревая дорожка Кармана, в которой имеют место периодические колебания местной скорости потока с частотой, равной частоте вихреобразования. Колебания скорости преобразуются в электрические колебания путем зондирования вихревой дорожки ультразвуковым сигналом. Для этого с генератора 5 на первый делитель частоты на два 6 поступает сигнал, имеющий форму прямоугольных импульсов частоты  $2\omega$ :

$$U_{\Gamma} = U_m \cdot H(\sin 2\omega t), \quad (5)$$

где  $H(x)$  - функция Хевисайда:  $H(x)=1$  при  $x>0$  и  $H(x)=0$  при  $x<0$  [4]. Амплитуда сигнала в дальнейшем везде обозначается  $U_m$ .

С выхода делителя частоты на два 6 на излучатель 3 поступает сигнал частоты  $\omega$ :

$$U_{\Delta 1} = U_m \cdot H(\sin \omega t) \quad (6)$$

Излучателем 3 электрический сигнал (6) преобразуется в ультразвуковой зондирующий сигнал, который распространяется поперек потока, проходит через вихревую дорожку и поступает на приемник 4. При прохождении через вихри фаза ультразвукового сигнала получает дополнительное приращение - положительное или отрицательное - в зависимости от знака проекции вектора скорости вихря на направление распространения. Задержка по времени ультразвукового сигнала в потоке  $\Delta t$  составляет:



$$\Delta\tau = \frac{D}{C + V_{\approx}}, \quad (7)$$

где  $V_{\approx}$  выражается формулой (2).

5 Приемником 4 ультразвуковой сигнал преобразуется в электрический сигнал:

$$U_{\Pi} = U_m \cdot \sin \omega \cdot \Delta\tau = U_m \cdot \sin \left[ \omega \cdot \left( t - \frac{D}{C + V_{\approx}} \right) \right] \quad (8)$$

10 Сигнал (8) с выхода приемника поступает на вход первого усилителя-формирователя 9, на выходе которого формируется последовательность прямоугольных импульсов частоты  $\omega$ :

$$U_{y\phi 1} = U_m \cdot H \left[ \sin \left[ \omega \cdot \left( t - \frac{D}{C + V_{\approx}} \right) \right] \right], \quad (9)$$

15 С выхода первого усилителя-формирователя 9 сигнал (9) поступает на вход первого делителя 13 с целочисленным коэффициентом деления  $N=1, 2, 3, \dots$ , на выходе которого формируется сигнал поделенной частоты  $\omega/N$  со скважностью 2:

$$20 \quad U_{дч1} = U_m \cdot H \left[ \sin \left[ \frac{\omega}{N} \cdot \left( t - \frac{D}{C + V_{\approx}} \right) \right] \right] \quad (10)$$

Сигнал (5) генератора 5 частоты  $2\omega$  подается также на вход второго делителя 14 с коэффициентом деления  $N$  (равным коэффициенту деления первого делителя 13).

Выходной сигнал делителя 14 с частотой  $2\omega/N$

$$25 \quad U_{дч2} = U_m \cdot H \left[ \sin \left( \frac{\omega}{N} \cdot t \right) \right] \quad (11)$$

поступает на вход второго делителя частоты на два 7 и на вход инвертора 12, выход которого подключен к входу третьего делителя частоты на два 8. На выходах делителей частоты 7 и 8 формируются сигналы частоты  $\omega/N$  со скважностью 2, сдвинутые между собой по фазе на  $90^\circ$ :

$$U_{д2} = U_m \cdot H \left( \sin \frac{\omega}{N} t \right) \quad (12)$$

$$35 \quad U_{д3} = U_m \cdot H \left( \cos \frac{\omega}{N} t \right) \quad (13)$$

Сигналы (12) и (13) с выходов делителей 7 и 8 поступают на первые входы фазовых детекторов 15 и 16, на вторые входы которых поступает сигнал (10) с выхода делителя 13. Фазовый детектор 15, построенный, например, по схеме балансного модулятора, осуществляет перемножение сигнала (10) на сигнал (12). При этом образуются составляющие, аргументы которых равны сумме и разности фаз этих сигналов. Составляющая с суммой фаз дает сигнал с частотой  $2 \cdot \omega/N$ , которая отфильтровывается фазовыми детекторами. В итоге на выходе фазового детектора 15 формируется

45 напряжение

$$U_{\phi д1} = U_{\pi} \cdot \left\{ \frac{\Phi_1}{\pi} \right\}, \quad (14)$$

где фигурные скобки  $\{x\}$  обозначают дробную часть числа  $x$ ,  $U_{\pi}$  - максимальное выходное напряжение фазового детектора, соответствующее сдвигу фаз  $\pi$ , пропорциональное разности фаз сигналов (12) и (10):

$$\Phi_1 = \frac{\omega \cdot D}{N \cdot C} \cdot \left(1 - \frac{V_z}{C}\right) + \frac{\pi}{2} = \frac{\omega \cdot D}{N \cdot C} - \frac{\omega \cdot D \cdot V_z}{N \cdot C^2} + \frac{\pi}{2} \quad (15)$$

Аналогично фазовый детектор 16 осуществляет перемножение сигнала (10) на сигнал (13), в результате чего на выходе фазового детектора 16 формируется напряжение

$$U_{\Phi D 2} = U_{\pi} \cdot \left\{ \frac{\Phi_2}{\pi} \right\}, \quad (16)$$

пропорциональное разности фаз сигналов (13) и (10):

$$\Phi_2 = \frac{\omega \cdot D}{N \cdot C} \cdot \left(1 - \frac{V_z}{C}\right) = \frac{\omega \cdot D}{N \cdot C} - \frac{\omega \cdot D \cdot V_z}{N \cdot C^2}. \quad (17)$$

Из выражений (15) и (17) следует, что каждая из разностей фаз  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  представляет собой сумму медленно меняющейся (за счет изменения в процессе эксплуатации расходомера скорости звука  $C$ , являющейся функцией температуры) составляющей и осциллирующей за счет вихрей составляющей (зависимостью осциллирующей составляющей от скорости звука можно пренебречь). Постоянная часть разности  $\Phi_1$  равна набегу фазы в неподвижной среде плюс дополнительный сдвиг  $\pi/2$ :

$$\Phi_{1\approx} = \frac{\omega \cdot D}{N \cdot C} + \frac{\pi}{2}. \quad (18)$$

Постоянная часть разности  $\Phi_2$  равна набегу фазы в неподвижной среде:

$$\Phi_{2\approx} = \frac{\omega \cdot D}{N \cdot C} \quad (19)$$

Сдвигу фаз  $\pi/2$  соответствует напряжение  $U_{\pi}/2$ , т.е. напряжения  $U_{\Phi D 1}$  и  $U_{\Phi D 2}$  различаются между собой на величину  $U_{\pi}/2$ .

Переменные составляющие разностей фаз  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  одинаковы и составляют:

$$\Phi_{1\approx} = \Phi_{2\approx} = \frac{\omega \cdot D \cdot m \cdot V_0}{N \cdot C^2} \cdot \sin \Omega t. \quad (20)$$

Сравнение выражений (4) и (20) показывает, что за счет деления частоты переменная составляющая сдвига фаз уменьшается в  $N$  раз.

Формирование выходных напряжений фазовых детекторов 15 и 16 происходит в соответствии с характеристикой, которая для балансного модулятора имеет вид, приведенный на фиг. 2. Эта характеристика неоднозначна, однозначной она является на отрезках  $(n \cdot \pi; (n+1) \cdot \pi)$ ,  $n=0, 1, 2, 3, \dots$

Для нормальной работы вихреакустического расходомера необходимо, чтобы в процессе измерений сдвиг фаз  $\Phi_1$  или  $\Phi_2$  не выходил за пределы интервала  $(n \cdot \pi; (n+1) \cdot \pi)$ , как показано на фиг. 2. В противном случае возникают искажения сигнала, способные нарушить работоспособность расходомера, см. фиг. 3.

Выходные сигналы фазовых детекторов 15 и 16 поступают на вход фильтра нижних частот 19, а также на входы фильтров верхних частот 17 и 18.

С помощью фильтра нижних частот 19 выделяется постоянное напряжение:

$$U_{\text{ФНЧ}} = U_{\pi} \cdot \left\{ \frac{\Phi_{1\pm}}{\pi} \right\} \quad (21)$$

Максимальное значение напряжения  $U_{\pi}$  соответствует сдвигу фаз  $\pi$ . Напряжение  $U_{\text{ФНЧ}}$  поступает на вход аналого-цифрового преобразователя 21, который преобразовывает его в цифровой код, поступающий на первый вход микроконтроллера 23.

С помощью первого и второго фильтров верхних частот 17 и 18 выделяются переменные составляющие сигналов (14) и (16):

$$U_{\text{ФВЧ1}} = U_{\text{ФВЧ2}} = U_{\pi} \cdot \frac{\omega \cdot D \cdot V_{\approx}}{\pi \cdot N \cdot C^2} = U_{\pi} \cdot \frac{\omega \cdot D \cdot m \cdot V_0}{\pi \cdot N \cdot C^2} \cdot \sin \Omega t \quad (22)$$

С помощью второго и третьего усилителей-формирователей 10 и 11 переменные составляющие сигналов преобразуются в прямоугольные импульсы, которые поступают на входы мультиплексора с двумя входами 23, выход которого подключен к входу 2 микроконтроллера 24, а управляющий вход - к выходу 3 микроконтроллера 24. Кроме того, выходной сигнал первого фильтра верхних частот 17 поступает на вход пикового детектора 20, который преобразовывает амплитуду этого сигнала в постоянное напряжение  $U_{\text{ПД}}$ , которое, в свою очередь, преобразовывается аналого-цифровым преобразователем 22 в цифровой код, поступающий на четвертый вход микроконтроллера 23.

Микроконтроллер осуществляет анализ величины напряжений  $U_{\text{ФНЧ}}$  и  $U_{\text{ПД}}$ , поступающих с выходов аналого-цифровых преобразователей 21 и 22, следующим образом.

Анализ напряжения  $U_{\text{ФНЧ}}$ . Если величина напряжения  $U_{\text{ФНЧ}}$  удовлетворяет условию

$$\frac{4U_{\pi}}{5} \geq U_{\text{ФНЧ}} \geq \frac{U_{\pi}}{5} \quad , \quad (23)$$

это означает, что сдвиг фаз находится в рабочем диапазоне фазового детектора 15. В этом случае микроконтроллер 24 подает на мультиплексор 23 такой управляющий сигнал, которым подключает к входу 2 микроконтроллера 24 выходной сигнал усилителя-формирователя 10. Микроконтроллер 24 преобразовывает частоту выходного сигнала усилителя-формирователя 10 в цифровой код, который поступает на выходное устройство 25.

Если же выполняются условия

$$U_{\text{ФНЧ}} \leq \frac{U_{\pi}}{5} \quad (24)$$

или

$$U_{\text{ФНЧ}} \geq \frac{4U_{\pi}}{5} \quad , \quad (25)$$

это означает, что постоянная составляющая сдвига фаз приближается к особым точкам  $0^{\circ}$  или  $\pi$ . В этом случае в нормальных условиях работает второй фазовый детектор 16, и микроконтроллер 24 подает на мультиплексор 23 такой управляющий сигнал, которым подключает к входу 2 микроконтроллера 24 выходной сигнал усилителя-формирователя 11.

Таким образом:

1) на вход 2 микроконтроллера 24 всегда поступает сигнал, формируемый с участием нормально работающего фазового детектора;

2) при переключении мультиплексора 23 отсутствует переходный процесс и сопутствующая ему дополнительная погрешность, поскольку с помощью мультиплексора 23 к входу микроконтроллера 24 подключается один из постоянно существующих импульсных сигналов.

Анализ напряжения  $U_{ПД}$ . Если величина напряжения  $U_{ПД}$  превышает значение, соответствующее амплитуде сдвига фаз, например  $\pi/5$ , с управляющего выхода 5 микроконтроллера 24 на управляющие входы делителей 12 и 13 поступает кодовый сигнал, по которому коэффициент деления увеличивается на одну единицу. При этом амплитуда переменной составляющей соответственно уменьшается. Далее процесс измерений продолжается, и если амплитуда сдвига фаз вновь превышает  $\pi/5$ , коэффициент деления увеличивается еще на одну единицу и т.д. Таким образом, величина коэффициента деления частоты  $N$  автоматически устанавливается такой, чтобы при максимальном расходе  $Q=Q_{\max}$  размах колебаний фазы сигналов на выходах фазовых детекторов 15 и 16 не превышал  $2\pi/5$ , т.е. амплитуда колебаний фазы не превышала  $\pi/5$ :

$$\frac{\omega \cdot D \cdot m \cdot Q_{\max}}{S \cdot N \cdot C^2} \approx \frac{\pi}{5}, \quad (26)$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения измерительного патрубка.  
Отсюда получаем значение коэффициента деления частоты  $N$ :

$$N = \frac{10f \cdot D \cdot m \cdot Q_{\max}}{S \cdot C^2}, \quad (27)$$

где  $f = \omega/2\pi$ .

Частота  $f$  ультразвукового зондирующего сигнала обычно составляет (1...2) МГц. Рассчитаем примерное значение максимального коэффициента деления  $N$ . Для этого рассмотрим расходомер с максимальным диаметром патрубка  $D=300$  мм ( $S=7,07$  дм<sup>2</sup>),  $f=2 \cdot 10^6$  Гц,  $C=1,17 \cdot 10^3$  м/с (рабочая жидкость - бензин),  $Q_{\max}=2545$  м<sup>3</sup>/ч= $0,707$  м<sup>3</sup>/с.

Подставляя численные значения величин в формулу (27), получим:

$$N = \frac{10f \cdot D \cdot m \cdot Q_{\max}}{S \cdot C^2} = \frac{10 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot 0,25 \cdot 0,707}{0,0707 \cdot 1,17^2 \cdot 10^6} = 5,48 \quad (28)$$

Ближайшее целое число составляет 6. Таким образом, диапазон изменения коэффициента деления должен составлять приблизительно 1:6.

Из вышеизложенного следует, что по сравнению с устройством-прототипом заявляемое устройство обеспечивает:

1) оптимальное использование рабочего диапазона фазового детектора при любом значении амплитуды переменной составляющей разности фаз приемного и опорного сигналов (обусловленной модуляцией ультразвукового сигнала вихревыми структурами и несущей полезную информацию) за счет предварительного деления частоты этих сигналов с автоматической установкой такого коэффициента деления, при котором на максимальном расходе размах колебаний разности фаз приемного и опорного сигналов составляет приблизительно  $2\pi/5$ ;

2) измерение расхода и количества без потери точности в широком диапазоне изменения скорости звука в контролируемой среде  $C$  за счет исключения в принципе пропусков выходных импульсов при сменах опорного сигнала, происходящих в процессе

измерений при работе, например, в широком интервале температур.

Проведенные на расходомерном стенде испытания показали, что применение предлагаемого технического решения обеспечивает оптимальный режим работы вихреакустического расходомера при диаметре измерительного патрубка от 25 до 300 мм при любом значении скорости звука и температуры контролируемой среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

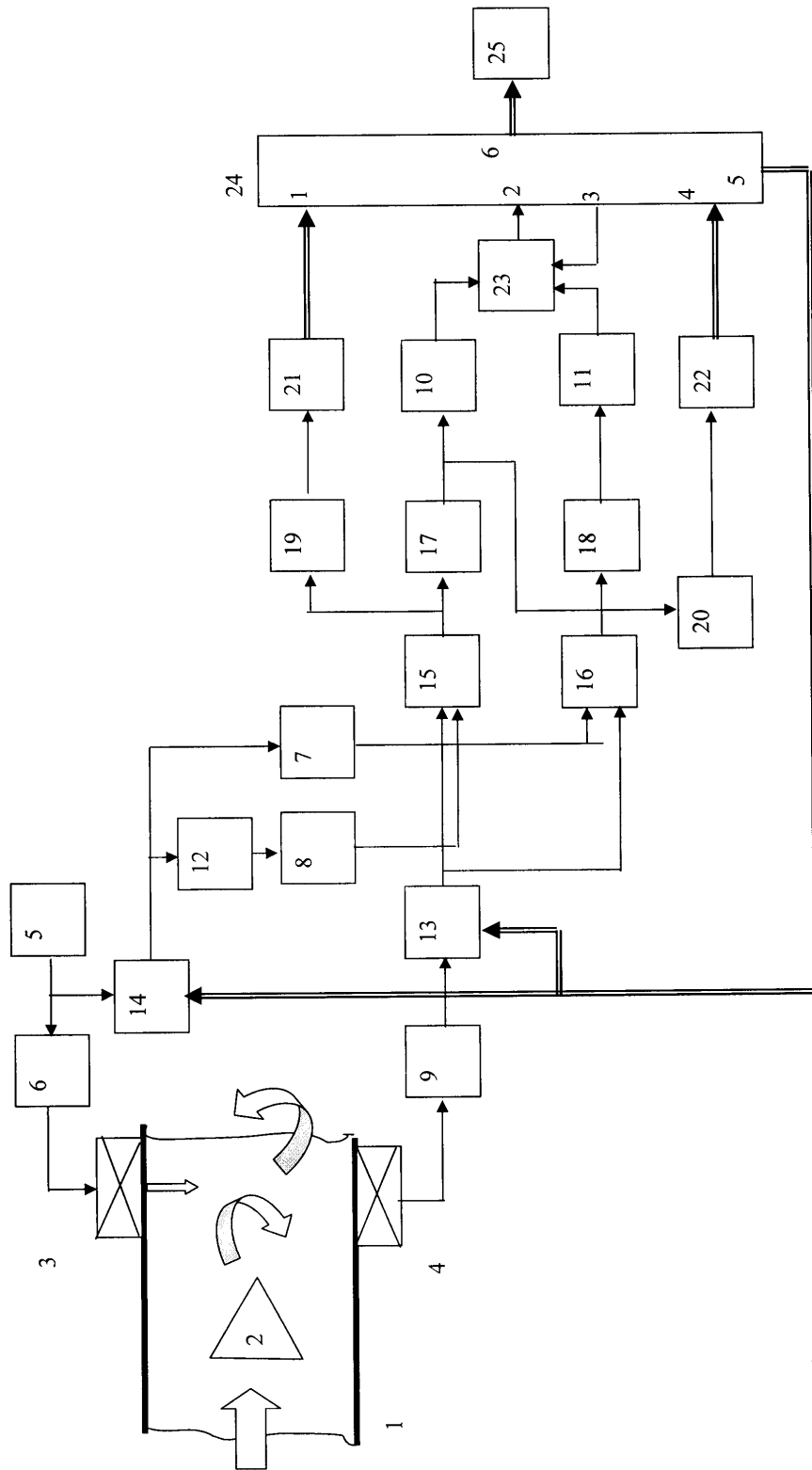
1 Патент США №4.924.710 C2, МПК G01F 1/32, НКИ 78/861.238, опубл. 15.05.1990.

2 Патент США №5.728.947, МПК G01F 1/32, НКИ 73/861.22, опубл. 17.04.1998.

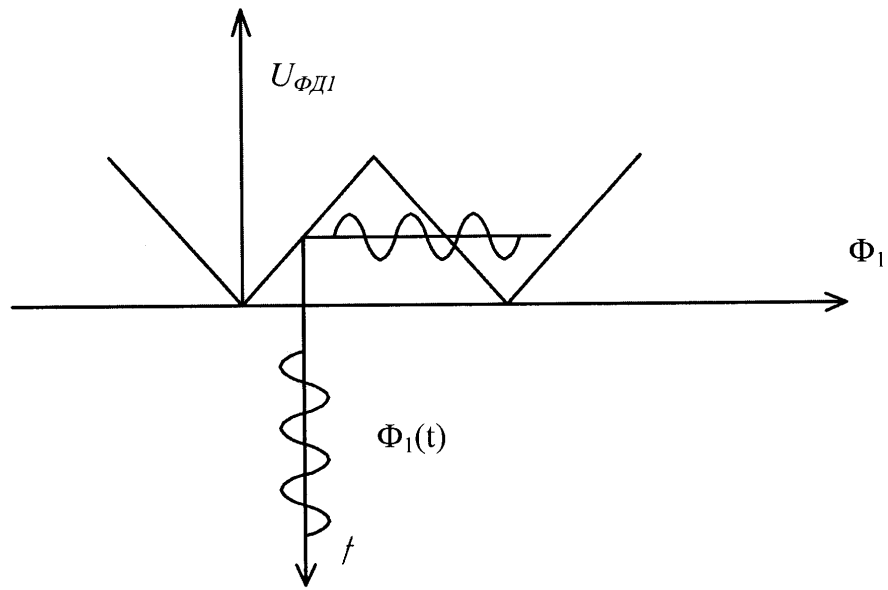
3 Волков И.К., Канатников А.Н. Интегральные преобразования и операционное исчисление: Учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. - 2-е изд. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - с. 228.

#### (57) Формула изобретения

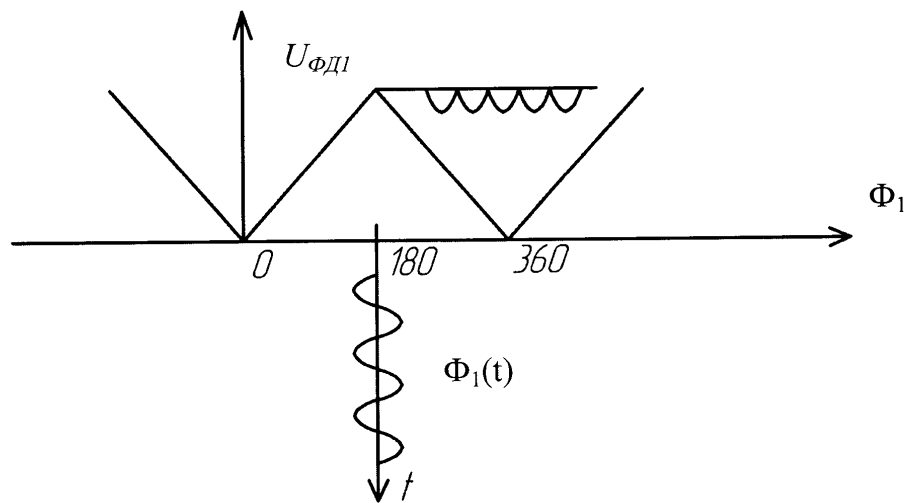
Вихреакустический расходомер, содержащий измерительный патрубок, расположенное в патрубке поперек потока тело обтекания, излучатель и приемник ультразвуковых колебаний, установленные диаметрально противоположно за телом обтекания, генератор сигнала ультразвуковой частоты, первый и второй делители частоты на два, первый и второй усилитель-формирователь, инвертор, первый фазовый детектор, первый фильтр верхних частот, фильтр нижних частот, первый аналого-цифровой преобразователь, мультиплексор с двумя входами, микроконтроллер, выходное устройство, отличающийся тем, что в него дополнительно введены первый и второй делители частоты с переменным коэффициентом деления, третий делитель частоты на два, третий усилитель-формирователь, второй фазовый детектор, второй фильтр верхних частот, пиковый детектор, второй аналого-цифровой преобразователь, вход первого делителя частоты с переменным коэффициентом деления подключен к выходу первого усилителя-формирователя, а выход - к первым входам первого и второго фазового детектора, вход второго делителя частоты с переменным коэффициентом деления подключен к выходу задающего генератора, а выход - к входу инвертора и к входу второго делителя частоты на два, управляющие входы делителей частоты с переменным коэффициентом деления подключены к одному и тому же выходу микроконтроллера, выход инвертора подключен к входу третьего делителя частоты на два, выходы второго и третьего делителей частоты на два подключены ко вторым входам первого и второго фазового детектора, выход второго фазового детектора подключен через фильтр верхних частот к третьему усилителю-формирователю, выходы второго и третьего усилителей-формирователей подключены к информационным входам мультиплексора, управляющий вход и выход мультиплексора подключены к микроконтроллеру, вход пикового детектора подключен к выходу первого фильтра верхних частот, а выход пикового детектора через второй аналого-цифровой преобразователь подключен к микроконтроллеру, при этом делители частоты с переменным коэффициентом деления имеют одинаковые коэффициенты деления.



Фиг. 1 – Блок-схема вихревого расходомера



Фиг. 2 – Форма выходного сигнала фазового детектора при нормальной работе



Фиг.3 – Форма выходного сигнала фазового детектора при работе в окрестности  $180^\circ$