



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2010138444/28, 20.09.2010**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.09.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **20.09.2010**(45) Опубликовано: **20.02.2012** Бюл. № 5(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 69990 U1, 10.01.2008. RU 53774 U1, 27.05.2006. RU 2232709 C2, 20.07.2004. RU 2251524 C2, 10.05.2005. EP 0496254 A1, 29.07.1992. JP 1307619 A, 12.12.1989. JP 55022169 A, 16.02.1980.**

Адрес для переписки:

**105064, Москва, а/я 380, ООО "НПП "ЭГО",
И.Г. Фёдорову**

(72) Автор(ы):

**Володин Сергей Егорович (RU),
Каминский Леонид Станиславович (RU),
Неговелов Семён Николаевич (RU),
Фёдоров Игорь Германович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Общество с ограниченной
ответственностью "Научно-
производственное предприятие "ЭГО" (RU)****(54) ДАТЧИК ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ**

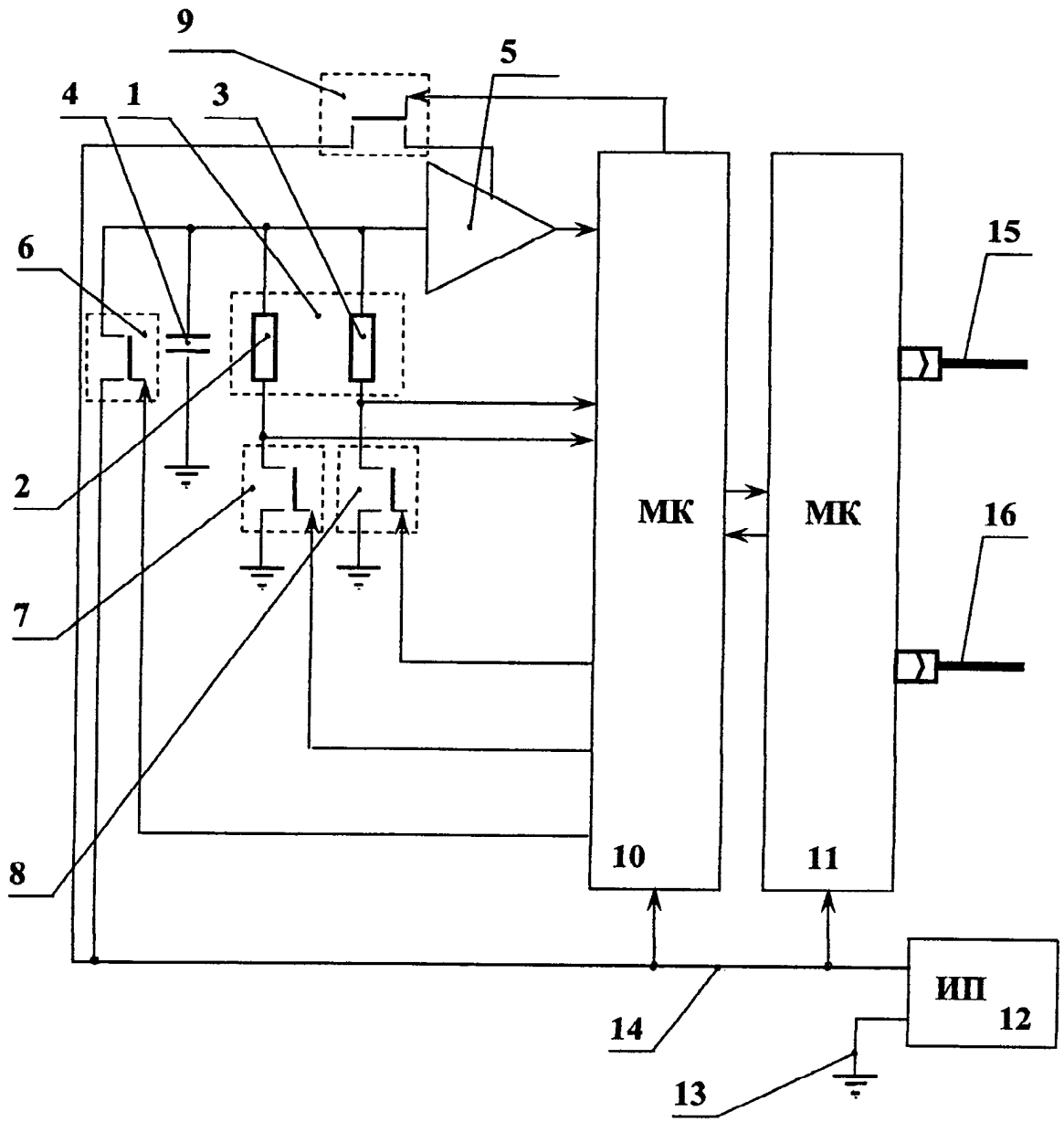
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано в системах, использующих резисторы в качестве чувствительных элементов, в частности в системах контроля грузоподъемных кранов. Датчик физической величины содержит не менее чем два резистора, по крайней мере, один из которых изменяет свое сопротивление при изменении физической величины, конденсатор; по крайней мере, один компаратор, по крайней мере, четыре электронных ключа, время-цифровой преобразователь и блок формирования выходного цифрового сигнала.

Микроконтроллер время-цифрового преобразователя снабжен запоминающим устройством и приспособлен для управления электронными ключами, преобразования времен разряда конденсатора через резисторы в соответствующие цифровые сигналы, передачи их в запоминающее устройство, сравнения запомненных результатов измерений, формирования по результатам сравнения выходного цифрового сигнала. Изобретение позволяет повысить точность измерения и снизить потребление датчиком энергии питания от батареи. 10 з.п. ф-лы, 9 ил.

RU
2 4 4 2 9 6 4
C 1

RU
2 4 4 2 9 6 4
C 1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01D 5/16 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2010138444/28, 20.09.2010

(24) Effective date for property rights:
20.09.2010

Priority:

(22) Date of filing: 20.09.2010

(45) Date of publication: 20.02.2012 Bull. 5

Mail address:

105064, Moskva, a/ja 380, OOO "NPP "EhGO",
I.G. Fedorovu

(72) Inventor(s):

**Volodin Sergej Egorovich (RU),
Kaminskij Leonid Stanislavovich (RU),
Negovellov Semen Nikolaevich (RU),
Fedorov Igor' Germanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju
"Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatje "EhGO"
(RU)**

(54) **PHYSICAL QUANTITY SENSOR**

(57) Abstract:

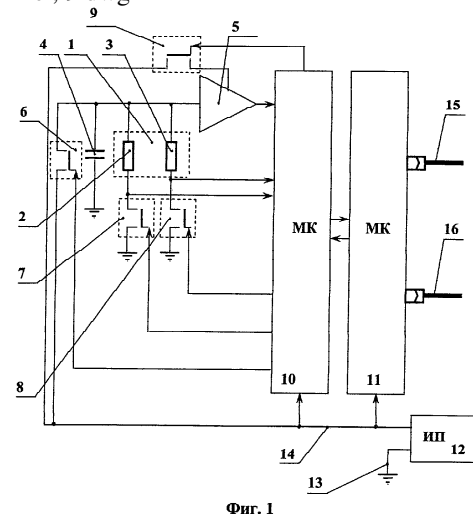
FIELD: it engineering.

SUBSTANCE: physical quantity sensor contains no less than two resistors at least one of which is changing its resistance if the physical quantity is changed, a condenser; at least one comparator, at least four electronic keys, time-number converter and a shaping unit for the output digital signal. A microcontroller of the time-number converter is equipped with a recording device and is designed for electronic key control, the capacitor discharge time conversion with the use of resistors into the relevant digital signals, their transmission to the recording device, comparison of the recorded measurement results, shaping based on the results of comparison of the output digital signals.

EFFECT: enhanced measurement precision and

reduced the sensor's energy consumption.

11 cl, 9 dwg



Фиг. 1

RU 2 442 964 C1

RU 2 442 964 C1

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано в измерительных, сигнальных, регулирующих или управляющих системах, использующих в качестве чувствительных элементов датчиков резисторы, изменяющие свое активное сопротивление при изменении контролируемой физической величины, например в системах контроля, управления и безопасности грузоподъемных кранов.

Известен датчик усилия, содержащий упругий силовоспринимающий элемент с тензорезисторами, соединенными в электрический мост, и блок обработки сигналов, к которому подключен электроразъем для соединения датчика с регистрирующей аппаратурой (RU 53774 U1, 27.05.2006). В датчике осуществляется преобразование с помощью электрического моста контролируемой физической величины в электрический аналоговый сигнал, преобразование аналогового сигнала в цифровой сигнал и преобразование цифрового сигнала в последовательный код с передачей результатов измерения в регистрирующую аппаратуру по проводной линии связи. Недостатком такого типа датчиков является сложность передачи сигналов в регистрирующую аппаратуру при установке датчиков на подвижных элементах конструкции, например на выдвижной секции стрелы грузоподъемного крана или на его поворотной платформе, так как при этом необходимо применение вращающихся токосъемных устройств и специальных кабелей.

Известен также датчик физической величины, содержащий информационно-измерительный блок, выполненный на основе микроконтроллера, к которому подключен один из первичных преобразователей параметров крана, блок формирования и блок приема последовательных цифровых сигналов, и блок сопряжения этих сигналов с проводной мультиплексной линией связи (RU 2232709 C2, 20.07.2004). Датчики выполнены в виде модулей, использующих различные первичные преобразователи:

в модулях-датчиках длины стрелы и азимута могут быть использованы потенциометры, подключенные к микроконтроллеру через аналого-цифровые преобразователи;

модуль-датчик угла наклона стрелы может быть выполнен на основе акселерометра, подключенного к микроконтроллеру;

модуль-датчик (датчики) усилия или давления может быть выполнен в виде тензометрического датчика силы или тензометрических датчиков давления, установленных в штоковой и поршневой полостях гидроцилиндра подъема стрелы и подключенных к соответствующим микроконтроллерам через аналого-цифровые преобразователи.

В этих модулях-датчиках осуществляется преобразование контролируемой физической величины в электрический аналоговый сигнал, преобразование аналогового сигнала в цифровой сигнал и преобразование цифрового сигнала в последовательный код с передачей результатов измерения в пункт приема по проводной мультиплексной линии связи. Применение мультиплексной линии связи для обмена информацией между модулями системы безопасности грузоподъемного крана позволяет значительно уменьшить количество соединительных проводов. Однако для передачи сигналов между модулями, находящимися на не выдвигаемой и выдвигаемой частях конструкции, все равно требуется применение вращающихся токосъемных устройств и специальных кабелей, что не позволяет устранить полностью отказы из-за потери контакта в токосъемных устройствах.

Известен также датчик физической величины, содержащий информационно-

измерительный блок, выполненный на основе микроконтроллера, к которому подключен один из первичных преобразователей параметров крана, блок формирования и блок приема последовательных цифровых сигналов, беспроводной модем для передачи данных в информационно-управляющий модуль и приема командных сигналов, и автономный источник питания (RU 2251524 C2, 10.05.2005).

Наличие в конструкции датчика микроконтроллера и беспроводного модема упрощает реализацию связей между датчиком и информационно-измерительным модулем, оснащенным аналогичным модемом для приема и передачи телеметрической информации, и повышает надежность передачи информации при установке датчика на подвижных элементах конструкции крана. Однако данный датчик предусматривает передачу результатов измерений в информационно-измерительный модуль только по беспроводной линии связи, и поэтому он не может быть использован, при необходимости, без каких-либо конструктивных доработок, в измерительных, сигнальных, регулирующих или управляющих системах с кабельными линиями связи между модулями, так как протоколы передачи данных по проводным и по беспроводным каналам имеют совершенно разную структуру, кодировку и методы контроля правильности обмена и способы обеспечения помехозащищенности, обусловленные именно особенностями среды передачи сигнала - по проводам или по радио.

Наиболее близким к заявленному датчику физической величины по совокупности существенных признаков является датчик усилия на грузозахватном органе грузоподъемного крана, содержащий упругий силовоспринимающий элемент с закрепленными на нем тензорезисторами, соединенными в электрический мост и блок формирования выходного цифрового сигнала, выполненный с возможностью подключения к нему индикатора с помощью локальной проводной линии связи и/или устройства для передачи данных на пункт приема информации по беспроводной линии связи, и источник питания (RU 69990 U1, 10.01.2008).

В этом датчике осуществляется преобразование контролируемой физической величины в аналоговый электрический сигнал с помощью электрического моста (моста Уитстона). Однако датчики, имеющие в своем составе классический электрический мост, обладают рядом недостатков, обусловленных особенностями данного моста:

по причине очень малого изменения сопротивления тензорезисторов при нагружении датчика усилия, реализующего данный способ, и малого значения напряжения на выходе тензомоста, приблизительно 9-10 бит разрешения аналого-цифрового преобразователя (АЦП) теряются. Поэтому для получения на выходе датчика цифрового сигнала требуемой точности (0,1-0,5%) требуется использование высококачественного АЦП с разрешением не менее 21 бит и помехозащищенного инструментального усилителя с повышенными требованиями к топологии печатной платы, размещению и монтажу элементов на печатной плате. Но работать с сигналами в диапазоне нескольких десятков нановольт крайне трудно: на результат накладываются всевозможные посторонние электромагнитные излучения, колебания температуры, микровибрации датчиков, нелинейность шкалы тензорезисторов и помехи, возникающие на плате в моменты переключения окружающей логики. Кроме того, высокоточные АЦП очень нестабильны при высоких частотах преобразования (≈ 1 кГц и выше);

зависимостью точности измерений от точности поддержания уровня напряжения питания моста Уитстона. При использовании классического моста Уитстона

существует прямая зависимость точности измерений от точности поддержания уровня напряжения питания моста. Для работы классического моста Уитстона необходим высокостабильный источник питания с заранее заданным и известным уровнем выходного напряжения и очень жесткими требованиями к точности поддержания

5 уровня выходного напряжения. Напряжение автономного источника питания (батарейки) по мере ее эксплуатации снижается. При снижении напряжения до значения ниже определенной величины стабилизатор напряжения питания моста не сможет обеспечить заданный уровень, поэтому выходной сигнал с моста будет

10 содержать неконтролируемую и неисправимую ошибку. Кроме того, как показывают осциллограммы напряжений цепей питания датчика и его отдельных узлов, в моменты включения приемопередающего модуля датчика (радиомодема) в режим передачи происходит кратковременное, но резкое снижение напряжения питания не только автономного источника питания, но и вторичных цепей питания узлов датчика, в том

15 числе и тензомоста. Результатом такого «провала» напряжения также является неконтролируемая и неисправимая ошибка выходного сигнала с тензомоста. Никакие разумные емкости и фильтры в цепях питания не позволяют избавиться от таких «провалов» в силу наличия внутреннего сопротивления источника питания;

20 зависимостью уровня выходного сигнала классического моста Уитстона от температуры, при которой происходит измерение. При изменении температуры происходит разбалансировка моста. Известны устройства аппаратной температурной компенсации, но они в большинстве случаев не дают желаемого результата в широком диапазоне рабочих температур промышленного оборудования (от -40 до +

25 55°C). При наличии в составе датчика микроконтроллера наилучшие результаты, в частности для цифрового датчика, дает определение и запоминание в памяти микроконтроллера поправочных температурных коэффициентов. Определение таких коэффициентов - длительная, трудоемкая и недешевая процедура, которая

30 выполняется индивидуально для каждого экземпляра датчика;

повышенным энергопотреблением, вызванным в основном недопустимо большим (для автономных источников питания, таких как батарейки, аккумуляторы, солнечные элементы) расходом электроэнергии на питание моста Уитстона, что резко

35 ограничивает и даже делает невозможным длительное (месяц, квартал, полугодие и т.д.) функционирование датчика. Сопротивление классического моста Уитстона при использовании распространенных тензорезисторов лежит в пределах 350-1000 Ом. Тензочувствительность большинства существующих тензометрических мостов лежит в пределах 1-2 мВ/В. Для получения приемлемых значений выходного сигнала

40 тензомоста Уитстона (10-20 мВ) напряжение, подводимое к мосту, должно составлять не менее 10-15 В. При этом ток, потребляемый непосредственно мостом, будет лежать в пределах 10-60 мА. Марганцевощелочные АА-элементы имеют емкость около 3,2 А/ч. Если из восьми таких элементов собрать батарею напряжением 12 В, то только для питания моста ее емкости хватит не более чем на 90-300 часов непрерывной

45 работы, т.е. на 3-12 суток. Но кроме моста необходимо питание электронных компонентов датчика (инструментального усилителя, микропроцессора и радиомодема), в результате чего время функционирования автономного датчика с одним комплектом батареек станет еще меньше. Это приводит к необходимости использования в датчике источника питания повышенной емкости для обеспечения

50 необходимого ресурса без замены гальванических элементов, так как в ряде случаев их замена крайне сложна, в частности, на грузоподъемных кранах с выдвигаемым или поворотным оборудованием. Увеличение емкости источника питания влечет за собой

увеличение массы, габаритов и стоимости. Попытки снизить энергопотребление моста Уитстона путем подачи напряжения на диагональ питания периодически, кратковременными импульсами на короткое время измерения оказываются безуспешными, так как при подаче питания 10-12 В тензорезисторы моста в течение
5 некоторого времени (1-5 сек) разогреваются, а в процессе разогрева изменяются не только значения их сопротивлений, но и тензочувствительность. Проведение измерений в это время некорректно и приводит к дополнительным ошибкам. Уменьшить напряжение с целью уменьшения степени разогрева тензорезисторов при
10 использовании классического моста Уитстона нельзя, так как это приведет к уменьшению уровня выходного сигнала, который и без того очень маленький и имеет уровень в единицы милливольт;

в случае выхода моста Уитстона из строя необходимо переключение на резервный мост (если он есть), а это сама по себе непростая задача - коммутация очень слабых
15 сигналов; кроме того, после такого переключения требуется калибровка датчика эталонными грузами.

Задачей, на решение которой направлено заявленное изобретение, является повышение точности измерений физической величины за счет:

20 прямого преобразования времени разряда конденсатора через активное электрическое сопротивление чувствительного элемента (резистора) в цифровой сигнал;

статистической обработки результатов измерения;

25 обеспечения независимости полученного результата измерения от напряжения источника электропитания;

снижения зависимости результатов измерения от температуры окружающей среды.

Еще одной задачей изобретения является уменьшение энергозатрат при передаче данных в пункт приема по беспроводной линии связи с использованием автономного
30 источника электропитания.

Дополнительные решаемые задачи и преимущества заявленного изобретения будут понятны из последующего описания.

Поставленные технические задачи решаются тем, что в датчик физической
35 величины, содержащий не менее чем два резистора, по крайней мере, один из которых изменяет свое сопротивление при изменении физической величины, блок формирования выходного цифрового сигнала, выполненный с возможностью
подключения к нему индикатора с помощью локальной проводной линии связи и/или
40 устройства для передачи данных на пункт приема информации по беспроводной линии связи, и источник питания, согласно изобретению введены: конденсатор; по
крайне мере, один компаратор, снабженный источником опорного напряжения; по
крайне мере, четыре электронных ключа; и время-цифровой преобразователь, при
этом время-цифровой преобразователь и блок формирования выходного цифрового
45 сигнала выполнены на основе двух микроконтроллеров, один из выходов источника питания подключен к шине нулевого потенциала, а другой выход соединен с шиной
питания микроконтроллеров и питающими входами первого и второго электронных
ключей, управляющие входы которых подключены соответственно к первому и
второму выходам микроконтроллера время-цифрового преобразователя, выход
50 первого электронного ключа подключен к одному из выводов конденсатора, к входу
компаратора и через первый и второй резисторы - к соответствующим входам
микроконтроллера время-цифрового преобразователя и питающим входам
соответственно третьего и четвертого электронных ключей, управляющие входы

которых подключены к соответствующим выходам микроконтроллера время-цифрового преобразователя, второй вывод конденсатора и выходы третьего и четвертого электронных ключей соединены с шиной нулевого потенциала, выход второго электронного ключа подключен к входу питания компаратора, выход которого подключен к третьему входу микроконтроллера время-цифрового преобразователя, связанного двухсторонним каналом обмена данными с микроконтроллером блока формирования выходного цифрового сигнала, микроконтроллер время-цифрового преобразователя снабжен встроенным или внешним запоминающим устройством и приспособлен для управления электронными ключами, преобразования времен разряда через указанные резисторы в соответствующие промежуточные цифровые сигналы, передачи промежуточных результатов измерений в запоминающее устройство, сравнения запомненных промежуточных результатов измерений, формирования по результатам сравнения запомненных промежуточных результатов измерений выходного цифрового сигнала, соответствующего значению измеренной физической величины, статистической обработки результатов измерений, определения фактической ошибки измерения и преобразования выходного цифрового сигнала в последовательный или параллельный код, а микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала выполнен с возможностью подключения к нему дополнительной проводной линии связи с пунктом приема данных и приспособлен для преобразования выходного цифрового сигнала в цифровой последовательный код проводной и/или беспроводной линии связи с пунктом приема информации и, кроме того, для согласования протоколов передачи данных по проводной и/или беспроводной линии связи.

Достижению технического результата способствуют также частные существенные признаки изобретения.

Микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала снабжен встроенным или внешним запоминающим устройством в виде энергонезависимой памяти и дополнительно приспособлен для записи в запоминающее устройство с помощью компьютера, либо другого внешнего устройства, допустимой ошибки измерения, определения рассогласования между фактической и допустимой ошибками измерения по величине и знаку, формирования пакетов для передачи данных по беспроводной линии связи и выбора частоты их передачи в зависимости от рассогласования между фактической и допустимой ошибками измерения.

Датчик содержит, по крайней мере, три дополнительных электронных ключа, дополнительный конденсатор и два дополнительных резистора, по крайней мере, один из которых изменяет свое сопротивление при изменении температуры, а микроконтроллер время-цифрового преобразователя дополнительно приспособлен для определения времен разряда дополнительного конденсатора через дополнительные резисторы, для определения значения температуры и для коррекции значения измеряемой величины с учетом измеренного значения температуры.

Источник питания выполнен автономным.

В качестве автономного источника питания использован аккумулятор, снабженный блоком подзарядки.

Блок подзарядки выполнен в виде солнечного элемента или с периодической подзарядкой от внешнего источника питания.

Устройство для передачи данных на пункт приема по беспроводной линии связи выполнено в виде приемопередающего модуля, подключенного к микроконтроллеру блока формирования выходного цифрового сигнала через локальную проводную

линию связи в виде переходного кабеля.

Приемопередающий модуль включает в себя радиочастотный приемопередатчик с антенной и, по крайней мере, один микроконтроллер со встроенным или внешним запоминающим устройством в виде энергонезависимой памяти, при этом
5 микроконтроллер приспособлен для определения и хранения в запоминающем устройстве его индивидуального адреса и адреса приемопередающего модуля на пункте приема информации.

Датчик дополнительно содержит устройство контроля электрического напряжения автономного источника питания, а микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала снабжен встроенным или внешним аналого-цифровым преобразователем, на основе которого выполнено устройство контроля электрического напряжения, и дополнительно приспособлен для формирования
10 цифрового информационного сигнала при снижении значения напряжения ниже допустимого значения для передачи в пункт приема информации как сигнал тревоги.

Датчик снабжен двумя дополнительными электронными ключами, питающие входы которых подключены к автономному источнику питания, управляющие входы - к выходам микроконтроллера блока формирования выходного цифрового сигнала, а выходы - к шине питания микроконтроллера время-цифрового преобразователя и шине питания приемопередающего модуля, при этом микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала дополнительно приспособлен для управления питанием микроконтроллера время-цифрового преобразователя и приемопередающего модуля от автономного источника питания.
15

В качестве микроконтроллера приемопередающего модуля использован микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала.
20

Сущность заявленного технического решения заключается в том, что в заявленном датчике физической величины вместо традиционной мостовой измерительной схемы
30 используется схема последовательного измерения времени разряда предварительно заряженного конденсатора через, по крайней мере, два резистора (сначала через первый резистор, потом через второй), по крайней мере, один из которых изменяет свое сопротивление при изменении значения физической величины. Времена разряда конденсатора через резисторы могут быть определены с высокой точностью
35 микроконтроллером время-цифрового преобразователя (разрешение цифрового сигнала, т.е., фактически, значение младшего значащего бита соответствует интервалу времени ≈ 14 пикосекунд ($14 \cdot 10^{-12}$ с), таким образом, если считать разрешение составляет половину младшего значащего разряда (МЗР), то это разрешение ($\tau_{\text{МЗР}}$)
40 равно $7 \cdot 10^{-12}$ с). Один из резисторов, чувствительный к изменению физической величины, изменяет свое активное сопротивление. В качестве другого резистора может быть использован либо высокостабильный резистор, не изменяющий свое сопротивление при изменении физической величины, либо резистор, изменяющий при
45 изменении физической величины свое сопротивление в противоположном первому резистору направлении. Резисторы заранее подбираются таких номиналов, что при некотором начальном, среднем или номинальном значении физической величины значения сопротивлений двух резисторов равны. Конденсатор после заряда до напряжения, равного напряжению источника питания, разряжается до некоторого
50 порогового значения. После достижения порогового значения напряжения на конденсаторе разряд прекращается и начинается заряд до напряжения источника питания. Интервал времени, в течение которого происходил разряд, определяется тем же микроконтроллером время-цифрового преобразователя. Значение этого интервала

в виде цифрового кода запоминается в памяти микроконтроллера время-цифрового преобразователя.

Как известно, время разряда связано со значениями емкости конденсатора и сопротивления резистора соотношением:

$$T=R \cdot C,$$

где T - постоянная времени, с, это - время разряда конденсатора до напряжения, равного 36,8% от начального значения;

R - сопротивление резистора, Ом;

C - емкость конденсатора, Ф.

Практически чаще используется другая приближенная формула:

$$\tau=0,7 \cdot R \cdot C,$$

где τ - время разряда конденсатора до напряжения, равного $\approx 0,5$ начального значения.

Затем осуществляется повторный заряд конденсатора до напряжения, равного напряжению источника питания, и последующий разряд конденсатора через второй резистор до того же порогового значения, последующее определение и запоминание интервала времени разряда конденсатора через второй резистор. Затем в микроконтроллере время-цифрового преобразователя определяется разность между полученными временами, по ее величине и знаку определяется изменение значения физической величины и новое ее значение.

Если при начальном значении физической величины сопротивления обоих резисторов равны, то равны и величины времен разряда конденсатора через резисторы, а их разность равна нулю, т.е. физическая величина имеет свое исходное начальное значение.

Если же значение физической величины изменилось, то изменится время разряда конденсатора через резистор (резисторы), сопротивление которого (которых) также изменилось. При этом в микроконтроллере время-цифрового преобразователя разность времен разрядов станет отличной от нуля. При этом в случае использования второго резистора с обратной зависимостью его сопротивления от изменения физической величины результирующий сигнал будет больше, чем в случае использования высокостабильного резистора в качестве второго резистора. Но в любом случае по ее величине и знаку определяется зависимое от ее значения изменение значения физической величины и новое ее значение.

Математически это описывается следующим образом. Например, для измерения деформаций металлических конструкций и силовых нагрузок на них широко используются проволочные тензорезисторы. Начальное значение сопротивления проволочного тензорезистора при отсутствии деформации материала, на который он наклеен, составляет, например, $R_0=350$ Ом. Сопротивление высокостабильного резистора остается всегда постоянным, равным $R_0=350$ Ом, кроме того, он может быть и вообще не наклеен на деформируемый материал. Максимальное изменение сопротивления тензорезистора ΔR при деформации материала составляет обычно не более 0,2% от его номинального значения, т.е. $\Delta R=2 \cdot 10^{-3} \cdot R_0=0,7$ Ом. Сопротивление резистора при деформации материала $R_1=R_0+\Delta R=350,7$ Ом. Время разряда конденсатора τ_0 через высокостабильный резистор равно $\tau_0=0,7 \cdot R_0 \cdot C$, а время разряда конденсатора τ_1 через тензорезистор при деформации материала:

$$\tau_1=0,7 \cdot R_1 \cdot C=0,7 \cdot (R_0+\Delta R) \cdot C$$

После вычитания первого уравнения из второго и преобразования результата получается формула:

$$\delta R = \Delta R / R_0 = (\tau_1 - \tau_0) / (0,7 \cdot R_0 \cdot C),$$

где δR - относительное изменение сопротивления тензорезистора при деформации материала.

При максимальной относительной деформации материала $\delta L_{\text{макс}}$, составляющей обычно 10^{-3} , максимальное относительное изменение сопротивления тензорезистора $\delta R_{\text{макс}} = (\Delta R / R_0)_{\text{макс}} = 2 \cdot 10^{-3}$, т.е. в пределах упругих деформаций можно считать, что относительная деформация равна

$$\delta L = 0,5 \cdot \delta R = 0,5 \cdot (\Delta R / R_0).$$

А относительная деформация в свою очередь связана с величиной действующей силы (или давления) линейной зависимостью:

$$P = K_{\delta L} \cdot \delta L,$$

где $K_{\delta L}$ - масштабный коэффициент, зависящий от деформируемого материала, его размеров и упругих свойств материала. На практике определяется опытным путем, хотя существуют расчетные формулы для тел простейшей формы.

А так как δL линейно связана с $\Delta \tau = (\tau_1 - \tau_0)$, то в итоге получается формула для расчета действующей силы:

$$P = K \cdot \Delta \tau,$$

где K - масштабный коэффициент.

При максимальной относительной деформации материала $\delta L_{\text{макс}}$, составляющей обычно 10^{-3} , максимальное относительное изменение сопротивления тензорезистора $\delta R_{\text{макс}} = (\Delta R / R_0)_{\text{макс}} = 2 \cdot 10^{-3}$, т.е. в пределах упругих деформаций можно считать, что $\delta L = 0,5 \cdot \delta R = 0,5 \cdot (\Delta R / R_0)$.

Пусть емкость разрядного конденсатора составляет 200 нФ, т.е. $200 \cdot 10^{-9}$ Ф. При максимальной деформации $\delta R_{\text{макс}} = 2 \cdot 10^{-3}$ разность времен $\Delta \tau_{\text{макс}} = (\tau_1 - \tau_0)_{\text{макс}}$ или $\Delta \tau_{\text{макс}} = \delta R_{\text{макс}} \cdot 0,7 \cdot R_0 \cdot C = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot 350 \cdot 200 \cdot 10^{-9} \approx 10^{-7}$ с.

Учитывая что разрешение составляет половину младшего значащего разряда двоичного числа, как было указано ранее, равно $\tau_{\text{МЗР}} = 7 \cdot 10^{-12}$ с, максимальное значение разности времен разряда $\Delta \tau_{\text{макс}}$ для данного примера составляет $\Delta \tau_{\text{макс}} \approx 10^{-7}$ с или $10^{-7} / (2 \cdot 7 \cdot 10^{-12}) = 7000$ младших значащих разрядов, что эквивалентно ≈ 13 -битному числу. При использовании в качестве второго резистора тензорезистора с обратным первому изменением сопротивления при деформации, как это делается в обычных тензомостах, значение $\Delta \tau_{\text{макс}}$ будет примерно в 2 раза больше и соответственно составит ≈ 14000 младших значащих разрядов, что эквивалентно уже ≈ 14 -битному числу. Такова же будет и разрядность результата единичного измерения - деформации или силы, действующей на деформируемый материал. Этой точности в большинстве случаев тензоизмерений более чем достаточно для решения большинства практических прикладных задач. Надо отметить, что тензоизмерения являются одним из самых тяжелых видов измерений по причине очень малых изменений исходных значений сопротивлений (не более 0,2%). В других случаях можно ожидать более высокую точность результата измерения. Поэтому при дальнейшем описании изобретения будет рассматриваться в качестве примера измерение деформации (нагрузки) с помощью тензорезисторов.

В этом и заключается сущность предлагаемого технического решения - замена измерения очень слабого сигнала мостового преобразователя, требующего наличия высокостабильного источника напряжения питания моста и его последующего преобразования в цифровой сигнал дорогим, высокоточным, многоразрядным АЦП с

очень низким уровнем шумов, измерением времен разряда конденсатора последовательно через два резистора, сопротивление, по крайней мере, одного из которых зависит от значения измеряемой физической величины, сравнением этих времен разряда и определением по результатам этого сравнения значения измеряемой физической величины.

Для реализации предлагаемого датчика не требуется прецизионный и высокостабильный источник питания, не требуется высокоточный многоразрядный АЦП и даже требуемое минимальное количество резисторов здесь в два раза меньше, чем при использовании известного датчика. При всем этом точность получаемого результата оказывается выше, чем у известного датчика.

Так как в предлагаемом датчике предусматривается заряд одного и того же конденсатора от источника питания, его последовательный разряд через два резистора и последующее сравнение времен разряда, то нет никакой необходимости иметь высокостабильный источник питания. Учитывая то что время разряда очень мало зависит от колебаний напряжения источника питания, а при использовании автономного источника питания оно вообще не зависит от этих колебаний, потому что процесс заряда конденсатора сглаживает кратковременные колебания напряжения, вызванные, например, кратковременным включением и выключением отдельных блоков предлагаемого датчика, в конце процесса заряда напряжение на конденсаторе практически не изменяется. А так как происходит сравнение времен разряда конденсатора от напряжения источника питания до одного и того же напряжения, составляющего, например, половину напряжения источника питания, то сами времена разряда и результат их сравнения совершенно не зависят от напряжения источника питания и его стабильности. Снижение напряжения автономного источника во времени протекает на много порядков медленнее процессов заряда и разряда и, благодаря операции сравнения времен разряда в микроконтроллере время-цифрового преобразователя, никак не влияет на точность результата измерения. Более того, некоторое снижение напряжения автономного источника питания по мере его использования приводит к снижению уровня шумов результатов измерений и повышению точности. По этой же причине на точность измерения практически не оказывает никакого воздействия старение конденсатора и резисторов во времени и связанное с этим некоторое изменение их номиналов.

Операции последовательного заряда и разряда конденсатора через резисторы приводят к еще одному очень неожиданному, но важному результату. Помимо того что мостовая схема требует для своего питания высокостабильный и прецизионный источник питания с напряжением не менее 10-15 В, ток, потребляемый мостовой схемой, обычно составляет 10-60 мА. При питании датчика от сети или вторичного источника питания это не вызывает никаких проблем. Проблемы начинаются при использовании автономного источника питания. Это и величина напряжения питания, потому что приходится собирать батарею из отдельных элементов, при этом растет внутреннее сопротивление источника питания и, что более важно для автономного источника, потеря энергии на нем. Но самое неприятное - это ток, потребляемый таким датчиком. При таком токе потребления емкости около 3,2 А/ч марганцевощелочного АА-элемента хватит не больше, чем на 3-12 суток. Для автономного датчика это недопустимо маленький срок.

При использовании предлагаемого технического решения, во-первых, нет необходимости иметь источник такого высокого напряжения, достаточно напряжения 3,6 В, которое дают выпускаемые в настоящее время литиевые батарейки.

Измерительная схема сохраняет свою работоспособность при снижении напряжения питания до ≈ 2 В, и то в основном потому, что это - нижний предел питания для других электронных компонентов (микроконтроллеры, компараторы и т.д.). Этого напряжения (2-3,6 В) достаточно и для питания всей электронной части датчика. Во-вторых, ток, потребляемый конденсатором при зарядке, очень мал и составляет в среднем 300 мкА. Учитывая что разряд конденсатора продолжается дольше чем заряд, так как конденсатор разряжается через резисторы номиналом 350-1000 Ом, а заряд идет практически напрямую от источника, внутреннее сопротивление которого в десятки и сотни раз меньше, а также то, что конденсатор разряжается не до конца, интегрально ток, потребляемый измерительной зарядно-разрядной цепью, не превышает 50-100 мкА. Это в сотни раз меньше, чем в известном датчике.

Электронная схема обработки сигналов потребляет в известном датчике от 100 мкА до 10 мА в зависимости от режима работы. Так как в предлагаемом датчике заряды и разряды чередуются, и электроника тоже работает активно не все время, а в основном обработка полученных времен разряда идет во время заряда конденсатора, то потребление при непрерывной работе электроники составит 300-1000 мкА. Такой потребляемый ток позволяет использовать малогабаритные литиевые батарейки в качестве автономного источника питания со сроком службы без замены (при непрерывной работе) в течение не менее чем 120-180 дней. Такой срок для автономного датчика может считаться вполне достаточным.

Сопротивление практически всех существующих резисторов, в том числе используемых для измерения физических величин, как правило, заметно зависит от температуры резистора, т.е. фактически от температуры окружающей среды, в которой выполняются измерения. Поэтому практически все измерительные цепи, использующие резисторы в качестве чувствительных элементов, имеют в своем составе цепи термокомпенсации. Конечно температура среды не меняется так быстро, как измеряемая величина, и, как правило, ее влияние на изменение сопротивления меньше, чем измеряемой физической величины, поэтому измерять ее достаточно только в отдельные моменты времени и считать, что между измерениями она остается постоянной. Но если в известном датчике изменение температуры всегда приводило к дополнительной разбалансировке измерительного моста и изменению выходного напряжения даже для совершенно идентичных идеальных резисторов, то при использовании в предлагаемом датчике двух чувствительных к изменению физической величины резисторов разность времен разряда через эти резисторы зависит от изменения температуры значительно (на несколько порядков) в меньшей степени, и эта зависимость в основном обусловлена лишь небольшими различиями температурных коэффициентов сопротивления двух резисторов, обусловленных технологическими особенностями их изготовления, например, тем, что используются резисторы из разных партий поставки. Для большинства практических задач влиянием этого фактора можно пренебречь. А если его все-таки надо учитывать, то его учет в силу его малости представляет гораздо меньшие трудности как в аппаратном решении с помощью дополнительных резисторов в измерительной цепи датчика, так и в программном с использованием микроконтроллера время-цифрового преобразователя.

В предлагаемом датчике процесс измерения, т.е. процесс разряда конденсатора через резисторы, протекает достаточно быстро. Так, например, при тензоизмерениях и номиналах резисторов 350-1000 Ом и емкости конденсатора в диапазоне 30-300 нФ ($30-300 \cdot 10^{-9}$ Ф) время разряда через один резистор составляет $\approx 8-75$ мкс, через оба

резистора - $\approx 16-150$ мкс, то с учетом времени, необходимого для зарядки конденсатора, за 1 с может быть выполнено от ≈ 5000 до ≈ 50000 измерений. Т.е. время одиночного измерения $T_{\text{еи}}$ может составлять $\approx 20-200$ мкс. Такая частота измерений явно избыточна для большинства практических задач, так как обычные скорости измерения большинства физических величин с помощью резисторов гораздо меньше, и их измерения достаточно делать от 2 до 10 раз в секунду. При этом появляется реальная возможность использовать избыточность измерений для дополнительного повышения точности, т.е. проводить не один замер, а много, запоминать все промежуточные результаты, а затем методами математической статистики определять среднее значение (математическое ожидание) и дисперсию или среднееквадратическое отклонение результата от его математического ожидания. Кроме того, выполнение операции определения времен разряда конденсатора последовательно через два резистора и преобразования времен разряда в соответствующие промежуточные цифровые сигналы с последующим их сравнением, по крайней мере, два раза, с запоминанием результатов сравнения и формированием выходного цифрового сигнала с учетом всех запомненных результатов сравнения реально позволяет снизить влияние случайных шумов на результат измерения и значительно повысить точность. Так, при наличии в микроконтроллере блока обработки сигналов 12-разрядного счетчика числа измерений можно выполнять 4096 измерений с последующим осреднением их результатов. При этом по сравнению с одиночным измерением среднееквадратическое значение ошибки измерения с осреднением может быть уменьшено в $\sqrt{4096}=64$ раза, что эквивалентно увеличению разрешения результата на 6 разрядов. Т. е. разрешение результата составляет при этом уже не 12-13 разрядов, а практически 14-17 разрядов, что позволяет создавать измерительную систему с не менее чем 10000-100000 делений, не добавляя к ее аппаратному решению никаких высокоточных прецизионных элементов. При использовании известного устройства для статистической обработки множества измерений необходимо квантование аналогового выходного сигнала тензомоста и его последующее высокочастотное аналого-цифровое преобразование, недостатки которого были описаны выше. Кроме того, для большинства известных АЦП при высоких частотах преобразования характерны провалы в разрешении при высоких частотах преобразования.

Ранее отмечалось, что для использования известного датчика необходимо иметь четыре резистора, соединенные в мост Уитстона. В предлагаемом датчике достаточно двух резисторов. Однако в данном датчике можно также использовать четыре резистора, образующие две пары. Конденсатор при этом будет последовательно заряжаться и разряжаться через эти две пары резисторов и времена разряда будут сравниваться для каждой пары, затем по результатам сравнения определяется результат или результаты измерения. Это может быть результат осреднения измерений по временам разряда через все четыре резистора, если они установлены в одной точке или рядом, по крайней мере, в окрестности, в которой физическая величина имеет одно конкретное значение. Это могут быть два результата, каждый для своего места установки чувствительных резисторов, т.е. при этом получают два значения физической величины в разных разнесенных точках среды. Предлагаемый датчик в этом случае позволяет использовать во второй паре резисторы с отличным от первой пары номиналом независимо от взаимного их расположения.

Все перечисленные варианты допускают также многократные измерения с последующей статистической их обработкой, как это было описано ранее. Это также приводит к дополнительному повышению точности измерений в $\sqrt{2}\approx 1,41$ раз

увеличению разрешения или дает ≈ 1 дополнительный разряд в разрешении.

Использование двух пар резисторов имеет еще одно дополнительное преимущество. Это - повышение надежности за счет резервирования. Вторая пара резисторов может быть использована при выходе первой пары из строя, т.е. выполнять функции «горячего» резерва, переход на измерения с ее использованием может быть осуществлен практически мгновенно при получении информации микроконтроллером время-цифрового преобразователя о неисправности или выходе из строя первой пары резисторов. При этом не требуется калибровка этой второй пары, так как она может быть выполнена при изготовлении датчика.

Таким же образом можно использовать не только две, а и большее количество, например четыре пары резисторов. Количество определяется только возможностями микроконтроллера время-цифрового преобразователя. Установка дополнительных пар резисторов приводит к дополнительному повышению точности и/или надежности, хотя при этом несколько возрастает время одного измерения $T_{и}$.

Преобразование выходного сигнала (до передачи в пункт приема) в цифровой последовательный код проводной и/или беспроводной линии связи позволяет использовать предлагаемое техническое решение при разработке цифровых датчиков, использующих как нестандартный протокол обмена данными, так и стандартные, широко распространенные протоколы, например, RS232, RS422, RS485 и др. При этом данные цифровые датчики остаются универсальными и допускают использование их без каких-либо конструктивных доработок в системах контроля, управления и безопасности грузоподъемных кранов как с кабельными линиями связи между элементами данной системы, так и с беспроводными или комбинированными линиями связи.

Определение в процессе измерения фактической ошибки измерения и рассогласования между фактической и заранее заданной допустимой ошибками измерения по величине и знаку позволяет установить частоту передачи результатов измерения по беспроводной линии связи в зависимости от рассогласования между фактической и допустимой ошибками измерения, т.е. фактически определять частоту включения приемопередатчика в режим передачи, и совсем отключать режим передачи (переводить приемопередатчик в «спящий» режим), когда измеряемая величина не изменяется или изменяется в пределах требуемой ошибки измерения, тем самым исключая излишнее чрезмерное и ненужное энергопотребление от автономного источника питания и увеличивая срок его службы без замены. Процедура, связанная с определением рассогласования между фактической и допустимой ошибками измерения, в настоящее время не представляет трудностей. Допустимая ошибка измерения, например, одного из параметров грузоподъемного крана (усилия на грузозахватном органе), может быть задана заранее, до начала измерений, т.е. перед первым включением системы контроля, управления и безопасности крана, на основе требований к точности работы данной системы и алгоритма решения системой задачи обеспечения безопасной и безаварийной работы крана. Допустимая ошибка измерения может быть задана как статистическая, например среднеквадратическое отклонение ошибки оценки значения измеряемого параметра, так и как предельно допустимое значение ошибки измерения какого-либо параметра крана. При этом ошибка может быть задана не только как значение измеряемого параметра, а и как минимально допустимое число значащих разрядов результата, которые обеспечивают требуемую точность работы данной системы. Такой подход часто используется в цифровых системах на основе микроконтроллеров.

При работе крана фактическая ошибка измерения определяется характером и скоростью изменения измеряемого параметра работы крана, алгоритмом измерительного процесса, качеством работы электронной аппаратуры датчика и т.д. Если при работе крана измеряемый параметр изменяется медленно или остается неизменным, то ошибка его определения остается неизменной или уменьшается. Если же параметр меняется быстро, то ошибка его определения увеличивается.

Соответственно изменяется и разность между указанными ошибками. Если фактическая ошибка измерения выше допустимой, то частота включения режима передачи увеличивается, а интервал между двумя соседними включениями уменьшается, и наоборот. При отсутствии груза или изменения его веса фактическая ошибка измерения резко уменьшается, и включение передатчика может осуществляться с большими интервалами, например одна минута и более. Такой подход исключает излишние включения передачи сигнала по беспроводной линии связи и позволяет свести к минимуму энергопотребление приемопередатчика и измерительного преобразователя. Кроме того, при этом может быть снижена частота работы измерительного преобразователя, что также сказывается благоприятно на экономии ресурса батареи.

Измерение дополнительной физической величины (температуры окружающей среды, значение которой используют для корректировки значения измеряемой физической величины) позволяет повысить точность измерения основной физической величины. Несмотря на то что предлагаемый датчик позволяет получать результаты, в очень малой степени зависящие от температуры, при которой производится измерение, благодаря последовательному разряду конденсатора через резисторы с практически одинаковой температурой, некоторая зависимость результата от температуры имеет место. В силу малости этой зависимости ее учет в микроконтроллере время-цифрового преобразователя не представляет трудностей. Однако для того чтобы в случае необходимости учесть температуру, необходимо ее знать или измерять в месте установки датчика. Предлагаемое техническое решение позволяет легко это сделать, используя тот же самый принцип, а именно последовательный заряд и разряд конденсатора сначала через терморезистор, например с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), а затем через резистор с отрицательным ТКС. В качестве второго резистора может быть также использован высокостабильный резистор, сопротивление которого не зависит от температуры. Т.е. в данном случае температура среды и является тем самым измеряемым значением физической величины. Только эта величина в данном датчике является дополнительной, которая измеряется для того, чтобы учесть влияние ее на результат измерения другой, основной физической величины. Кроме того, предлагаемый датчик может быть также использован для измерения именно температуры, как основной измеряемой физической величины.

Выполнение источника питания автономным позволяет отказаться от организации кабельной линии связи с датчиком при его установке на подвижном элементе конструкции, так как при этом отпадает надобность в применении вращающихся токосъемных устройств и специальных кабелей.

Выполнение устройства для передачи данных на пункт приема по беспроводной линии связи в виде приемопередающего модуля, подключенного к микроконтроллеру блока формирования выходного цифрового сигнала через локальную проводную линию связи в виде переходного кабеля, позволяет организовать радиоканал передачи данных с минимальным искажением радиосигнала путем удаления

приемопередатчика от затеняющих металлических элементов.

Снабжение приемопередающего модуля, по крайней мере, одним микроконтроллером со встроенным или внешним запоминающим устройством в виде энергонезависимой памяти, при этом микроконтроллер приспособлен для
5 определения и хранения в запоминающем устройстве его индивидуального адреса и адреса приемопередающего модуля на пункте приема информации, позволяет исключить при работе датчика влияние и помехи со стороны аналогичных датчиков, так как приемопередающие модули после этого «привязаны» конкретно друг к другу,
10 составляют «пару» для совместной работы, для них выбран конкретный частотный диапазон приема и передачи.

Снабжение микроконтроллера блока формирования выходного цифрового сигнала встроенным или внешним аналого-цифровым преобразователем, на основе которого
15 выполнено устройство контроля электрического напряжения, позволяет периодически измерять напряжение источника питания приемопередающего модуля и при снижении значения напряжения ниже допустимого значения дополнительно формировать с помощью данного микроконтроллера цифровой информационный сигнал для передачи его в управляющее устройство как сигнал тревоги.

Снабжение датчика двумя дополнительными электронными ключами, питающие входы которых подключены к автономному источнику питания, управляющие входы - к выходам микроконтроллера блока формирования выходного цифрового
20 сигнала, а выходы - к шине питания микроконтроллера время-цифрового преобразователя и шине питания приемопередающего модуля, при этом микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала дополнительно
25 приспособлен для управления питанием микроконтроллера время-цифрового преобразователя и приемопередающего модуля от автономного источника питания, позволяет сократить энергопотребление датчика за счет отключения отдельных
30 блоков в то время, когда контролируемая величина не изменяется или изменяется очень медленно.

Использование в качестве микроконтроллера приемопередающего модуля микроконтроллера блока формирования выходного цифрового сигнала позволяет
35 сократить количество электронных компонентов и уменьшить тем самым стоимость датчика.

На фиг.1 и 2 приведены два примера исполнения предлагаемого датчика физической величины; на фиг.3 и 4 схематически показан силовоспринимающий элемент балочного типа без нагрузки и с нагрузкой Р; на фиг.5 приведена диаграмма,
40 поясняющая процесс заряда и разряда конденсатора через резисторы; на фиг.6 показана функциональная схема, реализующая процессы заряда и разряда конденсатора последовательно через два резистора; на фиг.7 показана схема предварительного подсчета импульсов при разряде конденсатора; на фиг.8 показан процесс многократных зарядов и разрядов конденсатора через две пары резисторов с
45 последующей статистической обработкой результатов отдельных измерений за период измерений $T_{и}$; на фиг.9 показан в растянутом масштабе процесс заряда и последующего разряда в течение времени $T_{сн}$, принятого за время единичного измерения.

По первому примеру исполнения, приведенному на фиг.1, датчик физической величины, например, усилия на грузозахватном органе грузоподъемного крана, содержит упругий силовоспринимающий элемент 1 с закрепленными на нем двумя тензорезисторами 2 и 3; конденсатор 4; компаратор 5, снабженный источником

опорного напряжения (не показан); четыре электронных ключа 6-9; время-цифровой преобразователь, выполненный на основе микроконтроллера 10, блок формирования выходного цифрового сигнала, выполненный на основе микроконтроллера 11, и стационарный источник 12 питания.

5 Один из выходов источника 12 питания подключен к шине 13 нулевого потенциала, а другой выход соединен с шиной 14 питания микроконтроллеров 10 и 11 и питающими входами электронных ключей 6 и 9, управляющие входы которых подключены соответственно к первому и второму выходам микроконтроллера 10.

10 Выход электронного ключа 6 подключен: к одному из выводов конденсатора 4, к входу компаратора 5 и через резисторы 2 и 3 - к первому и второму входам микроконтроллера 10 и питающим входам электронных ключей 7 и 8, управляющие входы которых подключены к третьему и четвертому выходам микроконтроллера 10.

15 Второй вывод конденсатора 4 и выходы электронных ключей 7 и 8 соединены с шиной 13 нулевого потенциала. Выход электронного ключа 9 подключен к входу питания компаратора 5. Выход компаратора 5 подключен к третьему входу микроконтроллера 10, связанного двухсторонним каналом обмена данными с микроконтроллером 11.

20 Блок формирования выходного цифрового сигнала имеет два выхода, выполненные, например, в виде разъемов, для подключения к ним соответственно индикатора с помощью локальной проводной линии 15 связи и дополнительной проводной линии 16 связи с пунктом приема данных.

25 Микроконтроллер 10 время-цифрового преобразователя снабжен встроенным или внешним запоминающим устройством (не показано) и приспособлен для управления электронными ключами 6-9, определения времен разряда конденсатора 4 через резисторы 2 и 3, преобразования времен разряда через указанные резисторы в соответствующие промежуточные цифровые сигналы, передачи промежуточных результатов измерений в запоминающее устройство, сравнения запомненных промежуточных результатов измерений, формирования по результатам сравнения запомненных промежуточных результатов измерений выходного цифрового сигнала, соответствующего значению измеренной физической величины, статистической обработки результатов измерений, и преобразования его в последовательный или параллельный код.

30 Микроконтроллер 11 блока формирования выходного цифрового сигнала приспособлен для преобразования выходного цифрового сигнала в цифровой последовательный код проводной линии 16 связи с пунктом приема информации и, кроме того, для согласования протоколов передачи данных по этой линии связи.

40 По второму примеру исполнения, приведенному на фиг.2, датчик усилия на грузозахватном органе грузоподъемного крана дополнительно снабжен устройством для передачи данных на пункт приема по беспроводной линии связи в виде приемопередающего модуля 17, автономным источником 18 питания, устройством контроля напряжения источника питания, и двумя дополнительными электронными ключами 19 и 20, а микроконтроллер 11 блока формирования выходного цифрового сигнала снабжен встроенным или внешним запоминающим устройством в виде энергонезависимой памяти и встроенным или внешним аналого-цифровым преобразователем, на основе которого выполнено устройство контроля электрического напряжения.

50 Приемопередающий модуль 17 подключен к микроконтроллеру 11 через локальную проводную линию 21 связи в виде переходного кабеля. Питающие входы

дополнительных электронных ключей 19 и 20 подключены к автономному источнику 18 питания, управляющие входы - выходам микроконтроллера 11, а выходы - к шине питания микроконтроллера 10 и шине питания приемопередающего модуля 17.

5 Микроконтроллер 11 блока формирования выходного цифрового сигнала снабжен встроенным или внешним запоминающим устройством в виде энергонезависимой памяти и встроенным или внешним аналого-цифровым преобразователем, на основе которого выполнено устройство контроля электрического напряжения, и
10 дополнительно приспособлен для:

записи в запоминающее устройство с помощью компьютера, либо другого внешнего устройства, допустимой ошибки измерения;

определения рассогласования между фактической и допустимой ошибками измерения по величине и знаку;

15 формирования пакетов для передачи данных по беспроводной линии связи и выбора частоты их передачи в зависимости от рассогласования между фактической и допустимой ошибками измерения;

управления питанием микроконтроллера 10 время-цифрового преобразователя и приемопередающего модуля 17 от автономного источника 18 питания;

20 формирования цифрового информационного сигнала при снижении значения напряжения ниже допустимого значения для передачи в пункт приема информации как сигнал тревоги.

Приемопередающий модуль 17 включает в себя радиочастотный приемопередатчик с антенной и, по крайней мере, один микроконтроллер со встроенным или внешним запоминающим устройством в виде энергонезависимой памяти, при этом указанный микроконтроллер приспособлен для определения и хранения в запоминающем устройстве его индивидуального адреса и адреса приемопередающего модуля на
30 пункте приема информации. Конструкция приемопередающего модуля не является предметом изобретения. Он может быть выполнен на основе, например, радиомодуля компании Chipcon.

Возможны также и другие примеры исполнения заявленного датчика, например, когда датчик содержит, по крайней мере, три дополнительных электронных ключа, дополнительный конденсатор и два дополнительных резистора, по крайней мере, один из которых изменяет свое сопротивление при изменении температуры, а микроконтроллер время-цифрового преобразователя дополнительно приспособлен для определения времен разряда дополнительного конденсатора через
40 дополнительные резисторы, для определения значения температуры и для коррекции значения измеряемой величины с учетом измеренного значения температуры.

Для реализации предлагаемого датчика в качестве резисторов 2 и 3 могут быть использованы тензорезисторы фирмы "ZEMIC" (КНР) или другие тензорезисторы подобного типа, например тензорезисторы ЗАО "Весоизмерительная компания "Тензо-
45 М".

В качестве конденсатора 4 может быть использован поливинилсульфидный конденсатор, характеризующийся стабильностью и малыми потерями.

В роли ключей 6-9 могут быть использованы также электронные ключи, входящие в состав микроконтроллера 10.

50 В качестве микроконтроллера 10 для время-цифрового преобразования могут быть использованы выпускаемые в настоящее время так называемые время-цифровые преобразователи (ВЦП). Используя современные технологии CMOS по скорости

прохождения сигнала, разработаны и производятся ВЦП и микроконтроллеры, содержащие ВЦП, с использованием линий задержки. Это, например, специализированные микроконтроллеры, такие, например, как TDC-F1, TDC-GPX, TDC-GP2 и другие фирмы Asam (Германия), содержащие ВЦП. Комбинация линий задержки, синхронизирующей и вычислительной части этих микроконтроллеров, позволили создать недорогие, компактные ВЦП с разрешением в пикосекундном диапазоне. В основе принципа измерения ВЦП лежит подсчет абсолютного числа прохождений фронтов импульсов измеряемого сигнала через линии задержки.

В качестве компаратора 5 может быть использована микросхема 74HC1G14 фирмы Philips Semiconductors с низким уровнем шумов. Компаратор 5 может быть также собран по дифференциальной схеме с высоким коэффициентом подавления помех источника питания на биполярных транзисторах типа 2N5087. Многие микроконтроллеры содержат встроенные компараторы, но, к сожалению, эти встроенные компараторы предназначены для других задач (контроль напряжения источника питания) и поэтому их точность для решения задачи измерения явно недостаточна.

Блок формирования выходного цифрового сигнала (при передаче информации внешним потребителям по проводной или беспроводной линии связи) может быть реализован, например, на основе микроконтроллера MSP430F149 фирмы "Texas Instruments" (США).

Для реализации системы беспроводной передачи данных можно использовать радиомодули компании Chipcon.

В качестве микроконтроллера приемопередающего модуля 17 может быть использован микроконтроллер 11 блока формирования выходного цифрового сигнала.

Для питания элементов датчика может быть использован, например, литиевый гальванический элемент или аккумулятор в сочетании с солнечным элементом для его подзарядки или с периодической подзарядкой от внешнего источника питания.

Измерение усилия на грузозахватном органе грузоподъемного крана с помощью предлагаемого датчика осуществляется следующим образом.

Под действием нагрузки P упругий силовоспринимающий элемент 1 датчика усилия деформируется, вместе с ним происходит деформация наклеенных на него тензорезисторов 2 и 3. Тензорезистор 2 сопротивлением R_2 , равным, например, 350 Ом, наклеен на поверхность упругого элемента, которая при нагружении растягивается, и его сопротивление при этом увеличивается на величину ΔR_2 . Тензорезистор 3 сопротивлением R_3 , равным, например, 350 Ом, наклеен на

поверхность упругого элемента, которая при нагружении сжимается, и его сопротивление при этом уменьшается при максимальном нагружении на величину $\Delta R_3 = \Delta R_2 = \Delta R = 0,7$ Ом. Это - идеальный вариант «полумоста» из тензорезисторов 2 и 3, при котором выходной сигнал тензометрического преобразователя максимальный.

Практические конструкции упругих силовоспринимающих элементов не всегда предполагают равенство деформаций растяжения и сжатия и, следовательно, равенство по величине изменений сопротивлений обоих тензорезисторов 2 и 3, т.е. реальна ситуация, при которой $\Delta R_2 \neq \Delta R_3$. Более того, возможна измерительная цепь, состоящая из одного тензорезистора, например, 2, и обычного высококачественного и высокостабильного резистора 3, который никуда не наклеен и не изменяет своего сопротивления при нагружении упругого элемента, т.е. $\Delta R_3 = 0$. Эти ситуации не меняют сути рассматриваемого вопроса, они лишь приводят к уменьшению выходного сигнала и к снижению точности и разрешающей способности тензодатчика.

В ненагруженном состоянии упругого силовоспринимающего элемента $R_2=R_3=350$ Ом. Подобрать изначально сопротивления резисторов 2 и 3 абсолютно равными практически никогда не удастся, но существуют операции и процедуры балансировки, многократно и подробно описанные в технической литературе и патентах (см.,

например: Г.Виглеб. «Датчики. Устройство и

применение». - М.: Мир, 1989, с.62-76; «Контрольно-измерительные приборы и инструменты»: учебник. /С.А.Зайцев и др., М.: ИЦ «Академия», 2008; «Методы практического конструирования при нормировании сигналов с датчиков»: по материалам семинара «Practical design techniques for sensor signal conditioning»/ М., Автекс, 1999, с.2-1 - 3-45), поэтому здесь не рассматриваются.

При измерении датчиком физической величины (усилия на грузозахватном органе грузоподъемного крана) конденсатор 4 вначале переводится электронными ключами 6-8 по командам микроконтроллера 10 в режим заряда (кривая 22) от источника 12 (18) питания, затем в режим разряда (кривая 23) через тензорезистор 2, после этого снова в режим заряда (кривая 22) от источника питания, после чего в режим разряда (кривая 24) через тензорезистор 3. Эта перекоммутация осуществляется с помощью электронных ключей 6-8, обозначенных условно на фиг.6 как переключатель 25. Срабатывание переключателя 25 организовано командами микроконтроллера 10.

Единичный цикл измерения состоит из следующих этапов:

А. Измерение нагрузки (силы, давления):

1. Заряд (кривая 22) конденсатора 4 емкостью C , равной, например, 200 нФ, от источника 12 (18) питания до напряжения источника питания $U_{пит}$, равного 3,0 В, начинается после срабатывания электронных ключей 6-8 по командам микроконтроллера 10.

2. Разряд (кривая 23) конденсатора 4 через тензорезистор 2 от напряжения $U_{пит}$ до напряжения $U_{разр}=0,5 \cdot U_{пит}$, при котором электронные ключи 6-8 разрывают цепь разряда, передача N_2 импульсов 26, сформированных за интервал времени разряда T_2 конденсатора 4 через тензорезистор 2, в ВЦП микроконтроллера 10, расчет в микроконтроллере 10 в цифровом виде времени разряда T_2 конденсатора 4 через тензорезистор 2. Тактовые импульсы могут формироваться тактовым генератором микроконтроллера 10 или внешним кварцевым генератором, подключенным к этому микроконтроллеру. Лучше использовать внешний кварцевый генератор, так как встроенные генераторы имеют, как правило, более высокий уровень шумов.

3. Заряд (кривая 22) конденсатора 4 от источника 12 (18) питания до напряжения $U_{пит}$ начинается после срабатывания электронных ключей 6-8 по командам микроконтроллера 10.

4. Разряд (кривая 24) конденсатора 4 через тензорезистор 3 от напряжения $U_{пит}$ до напряжения $U_{разр}=0,5 \cdot U_{пит}$, при котором электронные ключи 6-8 разрывают цепь разряда, передача N_3 импульсов 26, сформированных генератором тактовых импульсов за интервал времени T_3 разряда конденсатора 4 через тензорезистор 3, в ВЦП микроконтроллера 10, расчет в микроконтроллере 10 в цифровом виде времени разряда T_3 конденсатора 4 через тензорезистор 3.

5. Вычисление разности времен разряда конденсатора 4 через резисторы 2 и 3 $\Delta T = T_2 - T_3$, и запоминание в памяти микроконтроллера 10.

6. Вычисление в микроконтроллере 10 действующей на упругий элемент датчика силы P (или давления) по формуле:

$$P = K \cdot \Delta T,$$

где K - масштабный коэффициент пересчета разности времен ΔT в значение нагрузки (силы, давления) P .

Выше был описан рабочий режим датчика. При передаче информации с датчика по беспроводной линии связи питание датчика осуществляется от автономного источника 18 питания. С целью экономии энергопотребления в периоды времени, когда происходит заряд конденсатора 4 (кривая 22) и компаратор 5 не работает, с него снимается питание при срабатывании электронного ключа 9 по команде со второго выхода микроконтроллера 10. В момент окончания заряда и перехода в режим разряда (кривые 23 и 24) питание на компаратор 5 подается при срабатывании электронного ключа 9 по команде микроконтроллера 10. Такая коммутация необходима, так как компаратор 5 потребляет относительно большую долю энергии в общем энергопотреблении датчика. Ток, потребляемый компаратором 5, лежит в пределах 150-250 мкА, в то время как все остальные электронные компоненты (микроконтроллеры 10 и 11, приемопередающий модуль 17) потребляют 100-300 мкА при напряжении питания 3,3 В.

Б. Осреднение результата по нескольким замерам

Несмотря на высокое разрешение результата измерения физической величины (силы P в данном примере) при использовании предлагаемого датчика сам результат может содержать случайную шумовую составляющую, вызванную тепловыми шумами, внутренними шумами электронной схемы, шумами источника питания и т.д. Часть этой ошибки может быть частично устранена дополнительными калибровками аппаратуры. Однако полностью избавиться от этих шумов не удастся. Гораздо больший эффект дает осреднение результата по нескольким замерам. При этом сначала выполняются несколько последовательных M циклов заряда и разряда конденсатора 4 через резисторы 2 и 3 с запоминанием промежуточных значений ΔT_i ($i=1 \div M$). Количество M этих циклов ограничено только требованиями к быстродействию процесса измерения и обновления результатов, объемом памяти микроконтроллера и разрядностью адресов. Так, при 12-ти разрядной шкале возможно получить $M=2^{12}=4096$ единичных измерений и затем определять среднее значение ΔT_{cp} как

$$\Delta T_{cp} = (\sum \Delta T_i) / M,$$

а затем определить силу P по формуле $P = K \cdot \Delta T_{cp}$.

При этом среднеквадратическое отклонение ошибки определения силы P от ее среднего значения уменьшится в $\sqrt{4096}=64$ раза. Соответственно, разрешение результата увеличится на 6 разрядов. Это - очень высокий показатель, особенно учитывая, что он получен без усложнения схемы и введения в нее дополнительных высокоточных и дорогих компонентов. На самом деле для большинства практических задач такое количество единичных замеров для осреднения избыточно. Как правило, для многих практических задач может оказаться достаточным проведение четырех измерений (четыре разряда конденсатора через резистор 2 и четыре разряда - через резистор 3). Уже при таком их числе удастся снизить шум измерений в 2 раза. Поэтому при решении практических задач удобнее считать единичным измерением проведение четырех измерений с последующим их осреднением и время этого измерения T_{ei} , равное

$$T_{ei} = 8 \cdot T_{zap} + 4 \cdot T_2 + 4 \cdot T_3,$$

считать единичным измерением. В последней формуле T_{zap} - время заряда конденсатора. На практике оно составляет $\approx 30\%$ от времени разряда.

При необходимости дальнейшего повышения точности результата можно проводить дополнительное осреднение, считая эти четыре измерения единичным

измерением, повторяя его L раз, и тогда общее время измерения $T_{и}$ будет равно

$$T_{и} = L \cdot T_{еи}$$

В. Осреднение результата по замерам разрядов конденсатора через две и более пар резисторов

В этом случае осреднение может проводиться по результатам замеров последовательных разрядов конденсатора через несколько пар резисторов, например через две или через четыре, при этом в каждую пару должен входить, по крайней мере, один резистор, чувствительный к изменению физической величины. Использование нескольких пар резисторов приводит к тем же результатам, что и описанное в предыдущем пункте осреднение по нескольким замерам времен разряда с одной пары резисторов, т.е. фактическая избыточность измерений приводит к повышению точности результата. Однако использование нескольких пар резисторов дает некоторые дополнительные преимущества. Во-первых, резервирование измерительных цепей. В случае выхода из строя одного или двух резисторов одной измерительной цепи и обнаружения этой неисправности микроконтроллером 10 время-цифрового преобразователя есть возможность «горячего» (без выключения) отключения неисправной пары и перехода на вторую пару резисторов. Наличие четырех измерительных пар позволяет в этом случае создать очень высоконадежный датчик с трехкратным резервированием измерительной цепи. Во-вторых, при таком переходе не требуется никакой дополнительной калибровки измерительного устройства. В-третьих, появляется возможность использовать в разных измерительных парах резисторы с разными номиналами, что также может быть очень полезно при использовании резисторов различных производителей и может благотворно сказаться на точности измерения быстротекущих процессов.

Г. Измерение температуры окружающей среды в месте проведения измерений

Хотя предлагаемое техническое решение позволяет частично устранить влияние изменения температуры среды на результат измерения, в ряде случаев для повышения точности учет температуры оказывается необходим. Но температура сама по себе является физической величиной, от величины которой зависит сопротивление большинства резисторов. И существуют специальные резисторы, у которых эта зависимость имеет ярко выраженный и стабильный характер. Это - терморезисторы. Они выпускаются разных типов как с положительным ТКС, так и с отрицательным ТКС. Выпускаются также термостабильные резисторы, сопротивление которых не изменяется в широком диапазоне температур. Предлагаемый датчик предназначен как раз для измерения таких величин, для которых существуют резисторы, чувствительные к их изменению. Конечно полученная и использованием данного датчика точность определения температуры явно избыточна, поэтому никакого осреднения в данном случае проводить не нужно, достаточно единичное измерение, причем это измерение можно проводить для уменьшения общего энергопотребления достаточно редко, например один раз в 5-10 секунд, а в ряде случаев и еще реже. Для измерения нужна также измерительная цепь, состоящая также из двух резисторов и конденсатора, но в качестве первого резистора используется терморезистор, с положительным ТКС номиналом 500 Ом, а в качестве второго резистора используется или высокостабильный резистор, или резистор с отрицательным ТКС с тем же номиналом 500 Ом. Естественно для измерения датчиком физической величины температуры как вспомогательной физической величины используется, как правило, дополнительный конденсатор и два дополнительных резистора, по крайней мере, один из которых - терморезистор. И дополнительные конденсатор, и резисторы имеют, как

правило, номиналы, отличные от соответствующих номиналов основной измерительной цепи. И также необходимы три дополнительных электронных ключа для управления процессами заряда и разряда дополнительного конденсатора через дополнительные резисторы. И частота запуска процесса измерения, как правило,
5 ниже, чем при измерении основной физической величины.

Последовательность операций при измерении температуры t следующая:

1. Заряд дополнительного конденсатора емкостью C , равной, например, 10 нФ, от источника 12 (18) питания до напряжения $U_{\text{пит}}$ начинается после переключения по командам микроконтроллера 10 дополнительных электронных ключей.
10

2. Разряд дополнительного конденсатора через первый дополнительный терморезистор от напряжения $U_{\text{пит}}$ до напряжения $U_{\text{разр}}=0,5 \cdot U_{\text{пит}}$, при котором дополнительные электронные ключи разрывают цепь разряда, передача импульсов 26 за интервал времени разряда дополнительного конденсатора через первый дополнительный терморезистор в ВЦП микроконтроллера 10, расчет в микроконтроллере 10 в цифровом виде времени разряда дополнительного конденсатора через первый дополнительный терморезистор.
15

3. Заряд дополнительного конденсатора от источника 12 (18) питания до напряжения $U_{\text{пит}}$ начинается после переключения по командам микроконтроллера 10 дополнительных электронных ключей.
20

4. Разряд дополнительного конденсатора через второй дополнительный терморезистор от напряжения $U_{\text{пит}}$ до напряжения $U_{\text{разр}}=0,5 \cdot U_{\text{пит}}$, при котором дополнительные электронные ключи разрывают цепь разряда, передача импульсов 26 за интервал времени разряда дополнительного конденсатора через второй дополнительный терморезистор в ВЦП микроконтроллера 10, расчет в микроконтроллере 10 в цифровом виде времени разряда дополнительного конденсатора через второй дополнительный терморезистор.
25

5. Вычисление разности времен разряда (ΔT) дополнительного конденсатора через дополнительные резисторы, и запоминание в памяти микроконтроллера 10.
30

6. Вычисление в микроконтроллере 10 температуры t окружающей среды по формуле:

$$t=t_0+K_t \cdot \Delta T,$$

где K - масштабный коэффициент пересчета разности времен ΔT в изменение значения температуры t ;
35

t_0 - значение температуры, при которой сопротивление дополнительных резисторов равны.
40

Затем производится коррекция измеренного значения физической величины, в данном случае силы P , с учетом фактического значения температуры. Устройства температурной коррекции тензоизмерений хорошо известны и описаны в патентной и технической литературе, поэтому здесь не излагаются.

Д. Преобразование выходного сигнала (до передачи в пункт приема) в цифровой последовательный код проводной и/или беспроводной линии связи
45

Полученное в результате измерения значение нагрузки P далее преобразуется микроконтроллером 11 блока формирования выходного цифрового сигнала в последовательный код для передачи внешним потребителям. Для этого блок формирования выходного цифрового сигнала преобразует полученный код в последовательный интерфейс для конкретного режима, например, в RS232, RS422, RS485, CAN и др. при передаче информации по кабелю на внешнее удаленное устройство, в последовательный код для передачи по радиоканалу или в интерфейс I_2c
50

при передаче сигнала на свой собственный индикатор.

Преобразование выходного сигнала (до передачи в пункт приема) в цифровой последовательный код проводной и/или беспроводной линии связи позволяет использовать предлагаемое техническое решение при разработке цифровых датчиков, использующих как нестандартный протокол обмена данными, так и стандартные, широко распространенные протоколы, например, RS232, RS422, RS485, CAN и др. При этом данные цифровые датчики остаются универсальными и допускают использование их без каких-либо конструктивных доработок в системах контроля, управления и безопасности грузоподъемных кранов как с кабельными линиями связи между элементами данной системы, так и с беспроводными или комбинированными линиями связи.

Микроконтроллер 11 блока формирования выходного цифрового сигнала может также задавать частоту передачи сигнала внешним потребителям, а при использовании автономного источника 18 питания он задает режимы работы датчика (например, рабочий, ждущий или спящий) для обеспечения энергосбережения и увеличения срока службы автономного источника питания. В ждущем или спящем режиме работы датчика микроконтроллер 11 периодически отключает питание микроконтроллера 10 и приемопередающего модуля 17 с помощью электронных ключей 19 и 20.

Предлагаемый датчик позволяет, как было описано ранее, определять не только значение измеряемой величины (в нашем примере силы P), но и среднеквадратическое отклонение отклонения этого значения от его математического ожидания, т.е. фактическую ошибку измерения. Это значение может оказаться очень важным при определении частоты обновления и передаче информации внешним потребителям. Можно до начала измерений, например, при настройке датчика или системы безопасности крана, задать микроконтроллеру 11 блока формирования выходного цифрового сигнала допустимое значение ошибки измерения. Допустимая ошибка измерения каждого измеряемого параметра работы крана, в том числе и силы P , может быть задана заранее на основе требований к точности работы системы и алгоритма решения системой задачи обеспечения безопасной и безаварийной работы крана. Эта ошибка может быть задана как статистическая, например среднеквадратическая ошибка оценки значения измеряемого параметра. В процессе измерений также вычисляется разность между фактической ошибкой измерений и допустимой. Если при работе крана сила P изменяется медленно или остается неизменной, то ошибка ее определения остается неизменной или уменьшается. Если же параметр меняется быстро, то точность его определения снижается. Соответственно изменяется и разность между ошибками. Эта разность определяется микроконтроллером 11 блока формирования выходного цифрового сигнала, в котором также производится определение требуемой частоты включения приемопередатчика приемопередающего модуля 17 в режим передачи. Если фактическая ошибка измерения ниже допустимой, то частота включения режима передачи уменьшается, а интервал между двумя соседними включениями увеличивается, и наоборот. При отсутствии груза или изменения его веса фактическая ошибка измерения резко уменьшается, и включение передатчика может осуществляться с большими интервалами, например одна минута и более. Такой подход исключает излишние включения передачи сигнала по радиоканалу и позволяет свести к минимуму энергопотребление приемопередатчика и всего модуля. Кроме того, при этом может быть снижена частота измерения, что также сказывается

благоприятно на экономии ресурса батареи.

Предлагаемый датчик физической величины может быть изготовлен промышленным способом с использованием современных электронных компонентов и технологий.

5

Формула изобретения

1. Датчик физической величины, содержащий не менее чем два резистора, по крайней мере, один из которых изменяет свое сопротивление при изменении физической величины, блок формирования выходного цифрового сигнала, выполненный с возможностью подключения к нему индикатора с помощью локальной проводной линии связи и/или устройства для передачи данных на пункт приема информации по беспроводной линии связи, и источник питания, отличающийся тем, что в него введены: конденсатор; по крайней мере, один компаратор, снабженный источником опорного напряжения; по крайней мере, четыре электронных ключа; и время-цифровой преобразователь, при этом время-цифровой преобразователь и блок формирования выходного цифрового сигнала выполнены на основе двух микроконтроллеров, один из выходов источника питания подключен к шине нулевого потенциала, а другой выход соединен с шиной питания микроконтроллеров и питающими входами первого и второго электронных ключей, управляющие входы которых подключены соответственно к первому и второму выходам микроконтроллера время-цифрового преобразователя, выход первого электронного ключа подключен к одному из выводов конденсатора, к входу компаратора и через первый и второй резисторы - к соответствующим входам микроконтроллера время-цифрового преобразователя и питающим входам соответственно третьего и четвертого электронных ключей, управляющие входы которых подключены к соответствующим выходам микроконтроллера время-цифрового преобразователя, второй вывод конденсатора и выходы третьего и четвертого электронных ключей соединены с шиной нулевого потенциала, выход второго электронного ключа подключен к входу питания компаратора, выход которого подключен к третьему входу микроконтроллера время-цифрового преобразователя, связанного двухсторонним каналом обмена данными с микроконтроллером блока формирования выходного цифрового сигнала, микроконтроллер время-цифрового преобразователя снабжен встроенным или внешним запоминающим устройством и приспособлен для управления электронными ключами, преобразования времен разряда через указанные резисторы в соответствующие промежуточные цифровые сигналы, передачи промежуточных результатов измерений в запоминающее устройство, сравнения запомненных промежуточных результатов измерений, формирования по результатам сравнения запомненных промежуточных результатов измерений выходного цифрового сигнала, соответствующего значению измеренной физической величины, статистической обработки результатов измерений, определения фактической ошибки измерения и преобразования его в последовательный или параллельный код, а микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала выполнен с возможностью подключения к нему дополнительной проводной линии связи с пунктом приема данных и приспособлен для преобразования выходного цифрового сигнала в цифровой последовательный код проводной и/или беспроводной линии связи с пунктом приема информации и, кроме того, для согласования протоколов передачи данных по проводной и/или беспроводной линии связи.

50

2. Датчик по п.1, отличающийся тем, что микроконтроллер блока формирования

выходного цифрового сигнала снабжен встроенным или внешним запоминающим устройством в виде энергонезависимой памяти и дополнительно приспособлен для записи в запоминающее устройство с помощью компьютера, либо другого внешнего устройства, допустимой ошибки измерения, определения рассогласования между фактической и допустимой ошибкой измерения по величине и знаку, формирования пакетов для передачи данных по беспроводной линии связи и выбора частоты их передачи в зависимости от рассогласования между фактической и допустимой ошибкой измерения.

3. Датчик по п.1, отличающийся тем, что он содержит, по крайней мере, три дополнительных электронных ключа, дополнительный конденсатор и два дополнительных резистора, по крайней мере, один из которых изменяет свое сопротивление при изменении температуры, а микроконтроллер время-цифрового преобразователя дополнительно приспособлен для определения времен разряда дополнительного конденсатора через дополнительные резисторы, для определения значения температуры и для коррекции значения измеряемой величины с учетом измеренного значения температуры.

4. Датчик по п.1, отличающийся тем, что источник питания выполнен автономным.

5. Датчик по п.4, отличающийся тем, что в качестве автономного источника питания использован аккумулятор, снабженный блоком подзарядки.

6. Датчик по п.5, отличающийся тем, что блок подзарядки выполнен в виде солнечного элемента или с периодической подзарядкой от внешнего источника питания.

7. Датчик по п.4, отличающийся тем, что устройство для передачи данных на пункт приема по беспроводной линии связи выполнено в виде приемопередающего модуля, подключенного к микроконтроллеру блока формирования выходного цифрового сигнала через локальную проводную линию связи в виде переходного кабеля.

8. Датчик по п.7, отличающийся тем, что приемопередающий модуль включает в себя радиочастотный приемопередатчик с антенной и, по крайней мере, один микроконтроллер со встроенным или внешним запоминающим устройством в виде энергонезависимой памяти, при этом микроконтроллер приспособлен для определения и хранения в запоминающем устройстве его индивидуального адреса и адреса приемопередающего модуля на пункте приема информации.

9. Датчик по п.4, отличающийся тем, что он дополнительно содержит устройство контроля электрического напряжения автономного источника питания, а микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала снабжен встроенным или внешним аналого-цифровым преобразователем, на основе которого выполнено устройство контроля электрического напряжения, и дополнительно приспособлен для формирования цифрового информационного сигнала при снижении значения напряжения ниже допустимого значения для передачи в пункт приема информации как сигнала тревоги.

10. Датчик по п.7, отличающийся тем, что он снабжен двумя дополнительными электронными ключами, питающие входы которых подключены к автономному источнику питания, управляющие входы - к выходам микроконтроллера блока формирования выходного цифрового сигнала, а выходы - к шине питания микроконтроллера время-цифрового преобразователя и шине питания приемопередающего модуля, при этом микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала дополнительно приспособлен для управления питанием микроконтроллера время-цифрового преобразователя и

приемопередающего модуля от автономного источника питания.

11. Датчик по п.7, отличающийся тем, что в качестве микроконтроллера приемопередающего модуля использован микроконтроллер блока формирования выходного цифрового сигнала.

5

10

15

20

25

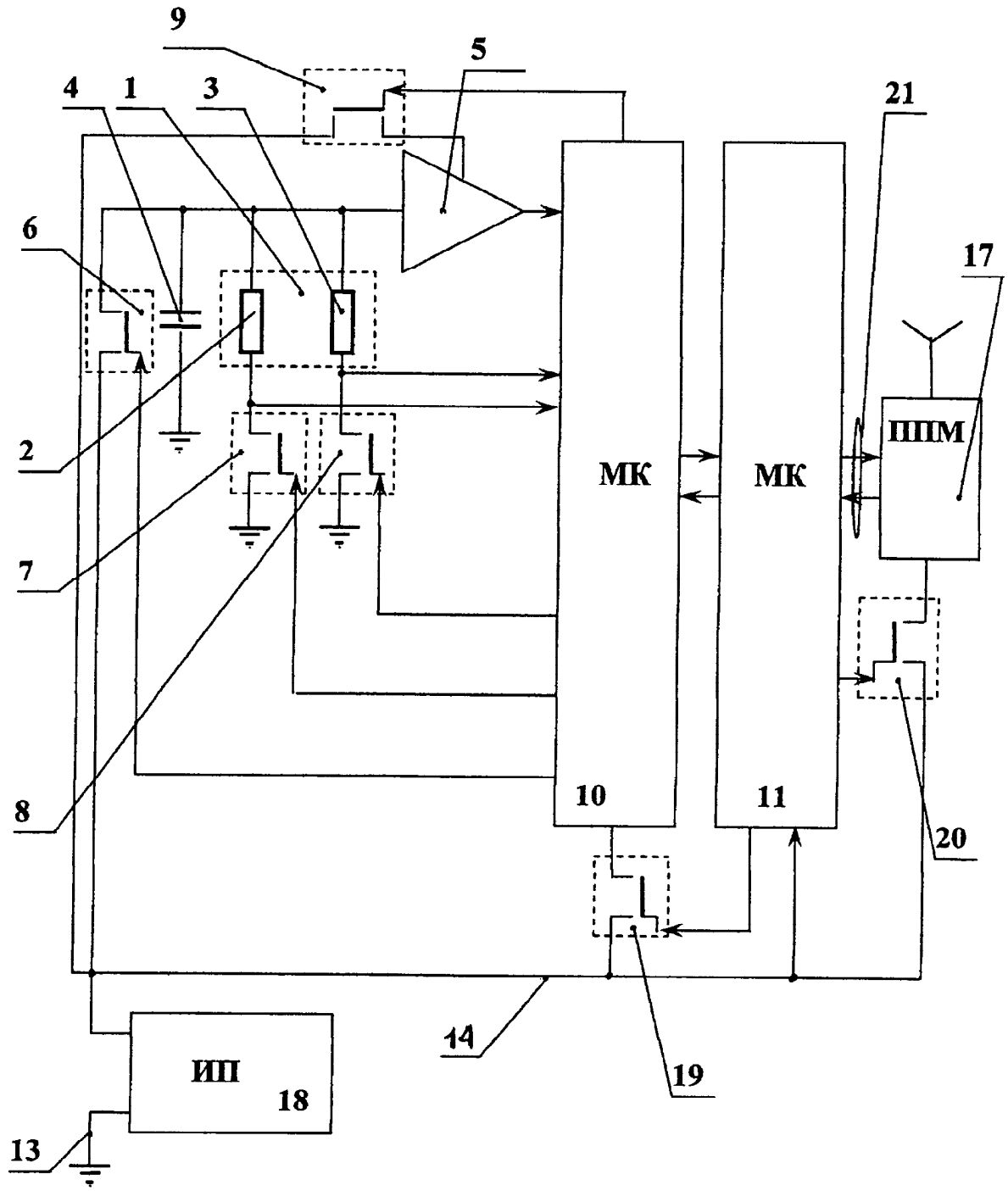
30

35

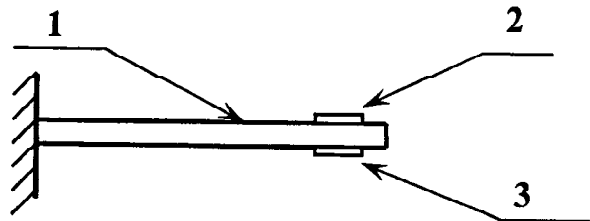
40

45

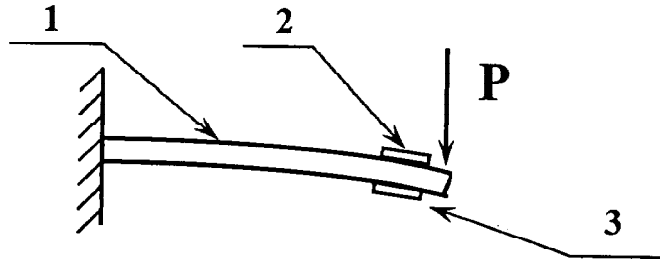
50



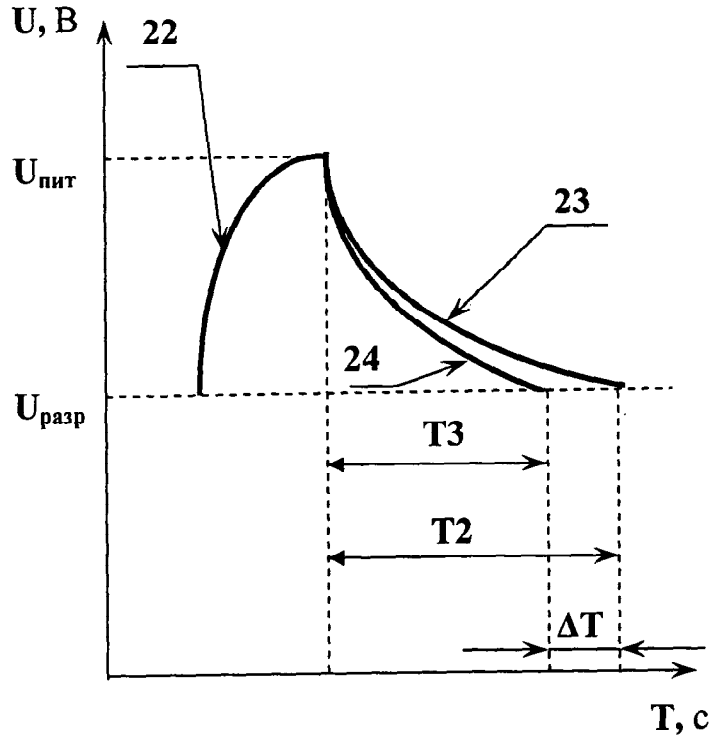
Фиг. 2



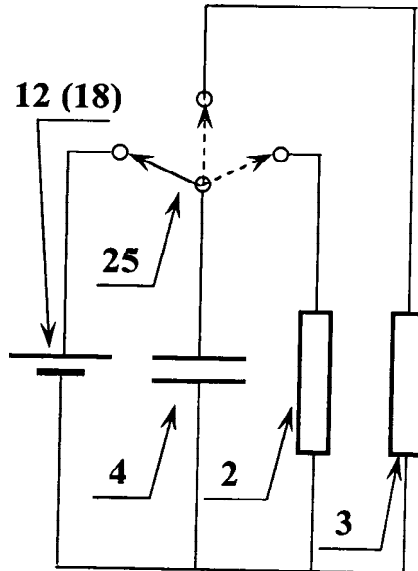
Фиг. 3



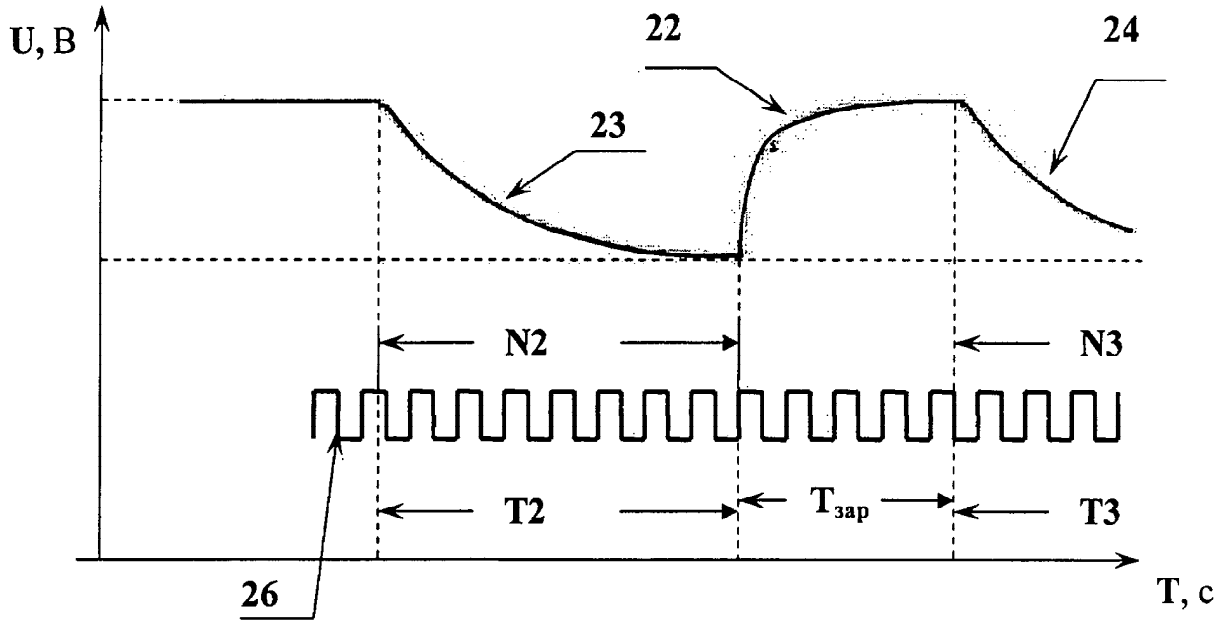
Фиг. 4



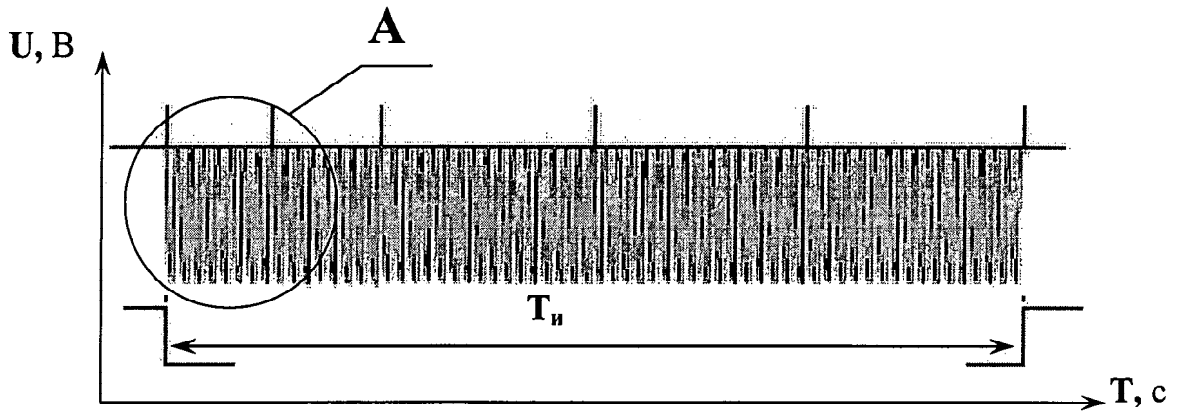
Фиг. 5



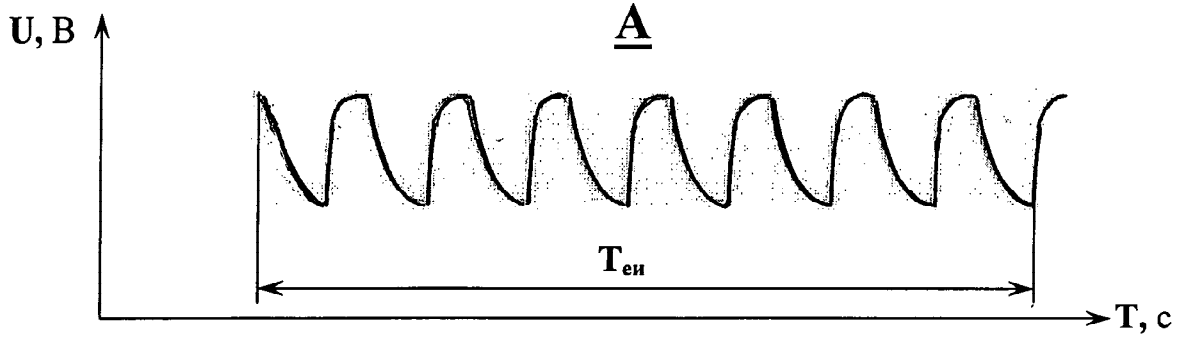
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9