

Изобретение относится к области измерительной техники, в частности к измерительным устройствам, используемым для промышленного изменения расхода газа.

Известно устройство для измерения расхода газа (А.с. СССР №1746222, кл. G01F1/00, 1990). Устройство содержит установленное в трубопроводе сужающее устройство, преобразователь давления, преобразователь перепада давления, датчик температуры, вторичный преобразователь температуры, выполненный в виде резисторного измерительного моста, дифференциальный усилитель, три диода и светодиод, ограничивающий резистор, схему преобразования, включающую аналого-цифровой преобразователь (АЦП), три умножающих цифроаналоговых преобразователя (ЦАП), крмпаратор напряжений, инвертор, генератор тактовых импульсов, две двухвходовые логические схемы "или", двоичный реверсивный счетчик.

Такое устройство решает уравнение вида

$$N_{\text{вых}} = K \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P}{T}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{вых}}$ - двоичный код на выходе реверсивного счетчика, пропорциональный расходу газа;

K - коэффициент масштаба и размерности;

ΔP - перепад давления на сужающем устройстве;

T - абсолютная температура газа;

P - давление газа.

Данное устройство решает уравнение (1) без учета изменения коэффициента расширения газа ε и коэффициента сжимаемости газа $K_{\text{сж}}$, что обуславливает узкий диапазон измерения перепада давления и давления газа, при которых устройство определяет его расход с приемлемой точностью.

К недостаткам устройства следует также отнести невозможность оперативного изменения коэффициента K , входящего в уравнение (1), в зависимости от характеристик используемых датчиков и диафрагмы.

Кроме того, для определения интегрального расхода газа необходимо дополнительное устройство.

Наиболее близким устройством по технической сущности к заявляемому является расходомер газа (Патент Российской Федерации №2069045, кл. G01F1/34, 1/40, опубл. 10.11.96).

Такой расходомер газа содержит сужающее устройство, преобразователь давления в электрический сигнал (ПДС), преобразователь перепада давления в электрический сигнал (ППДС), АЦП, светодиод, датчик температуры, соединенный последовательно с постоянным резистором и включенный в одно из плеч резисторного измерительного моста, другие плечи которого составляют постоянные резисторы, к одной диагонали резисторного измерительного моста приложено постоянное напряжение, а вторая диагональ подсоединена ко входу дифференциального усилителя (ДУ), блок преобразователя сигнала давления в напряжение постоянного тока (ПСДН), блок преобразователя сигнала перепада давления в напряжение постоянного тока (ПСППДН), аналоговый мультиплексор (МХ), однокристалльный микроконтроллер (ОМК), блок подавления дребезга (БПД), блок формирования сигнала сброса (БФС), кнопка "сброс", кнопка "шаг", тумблер "тест", тумблер "шаг", два параллельных периферийных адаптера (ППА), блок индикации статического типа (БИ), дешифратор (ДС), шесть светодиодов, системная шина (СШ), энергонезависимое статическое оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), причем выход ПДС соединен со входом ПСДН, выход которого соединен с первым входом аналогового МХ, выход ППДС соединен со входом ПСПДН, выход которого соединен со вторым входом аналогового МХ, третий вход которого соединен с выходом ДУ, а нулевой вход аналогового МХ соединен с опорным напряжением $U_{\text{оп}}$ известного значения, выход аналогового МХ соединен с аналоговым входом АЦП, вход запуска которого соединен с первой линией первого порта ОМК, выход готовности АЦП соединен со второй линией первого порта ОМК, вход счетчика которого и вход прерывания соединены с выходом БПД, входы которого соединены с первым и вторым выводами кнопки "шаг", третий вывод которой заземлен, вход сброса ОМК соединен с выходом БФС, вход которого соединен с выводом нормально разомкнутой кнопки "сброс", другой вывод которой заземлен, третья линия первого порта ОМК соединена с выводом тумблера "тест", другой вывод которого заземлен, четвертая линия первого порта ОМК соединена с выводом тумблера "шаг", другой вывод которого заземлен, цифровые выходы АЦП соединены с линиями от нуля по седьмую порта В и линиями от нуля по первую порта С первого ППА, линии от нуля по третью порта А первого ППА связаны с адресными входами аналогового МХ, линии порта С с четвертой по шестую первого ППА соединены со входами ДС, линии портов А, В, С, второго ППА соединены со входом БИ статического типа, энергонезависимое статическое ОЗУ связано СШ с первым и вторым ППА и ОМК, каждый выход ДС "Qu", "t", "Om" "P", "T", "тест", "ошибка" соединен с катодом одного из семи светодиодов, аноды которых подключены к источнику положительного напряжения.

Такой расходомер решает уравнение вида

$$Q_m = K \left[1 - (0,41 + 0,35m^2) \right] \cdot \frac{\Delta P_{\text{max}} \cdot N_{\Delta p}}{k \cdot P_{\text{max}} \cdot N_p} \times \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{max}} \cdot P_{\text{max}} \cdot N_{\Delta p} \cdot N_p}{T_{\text{max}} \cdot 2^n \cdot N_t}}, \quad (2)$$

где $N_{\Delta p}$, N_p , N_t - цифровые коды соответствующие перепаду давления на сужающем устройстве, абсолютному давлению газа, абсолютной температуре газа соответственно, причем цифровой код разрядности n может изменяться в диапазоне от 0 до $2^n - 1$.

ΔP_{max} , P_{max} , T_{max} - численные значения перепада давления на сужающем устройстве, абсолютного

давления газа, абсолютной температуры газа соответственно, при которых соответствующий ему цифровой код максимален и равен $2^n - 1$.

m - относительное отверстие сужающего устройства;

k - показатель адиабаты газа;

K - постоянный коэффициент.

Такой расходомер, решает уравнение (2) без учета изменения коэффициента сжимаемости газа $K_{сж}$, что обуславливает узкие диапазоны изменения давления и температуры газа, при которых расходомер вычисляет его расход с достаточной точностью.

Недостатком данного расходомера является также отсутствие возможности быстрого и удобного измерения значений величин K , m , ΔP_{max} , P_{max} , T_{max} при изменении параметров датчиков газа, либо сужающего устройства и трубопровода.

В основу изобретения поставлена задача создания расходомера газа, в котором введение новых блоков и связей между ними позволило бы повысить точность измерения расхода газа и за счет этого улучшить эксплуатационные характеристики расходомера.

Поставленная задача решается тем, что в расходомер газа, содержащий сужающее устройство, преобразователь давления в электрический сигнал (ПДС), преобразователь перепада давления в электрический сигнал (ППДС), преобразователь сигнала давления в напряжение постоянного тока (ПСДН), преобразователь сигнала перепада давления в напряжение постоянного тока (ПСПДН), датчик температуры, соединенный последовательно с постоянным резистором и включенный в одно из плеч резисторного измерительного моста, другие плечи которого составляют постоянные резисторы, к одной диагонали резисторного измерительного моста приложено постоянное напряжение, а вторая диагональ подсоединена ко входу дифференциального усилителя (ДУ), аналоговый мультиплексор (МХ), однокристалльный микроконтроллер (ОМК), системную шину (СШ), энергозависимое запоминающее устройство (ЗУ), блок индикации (БИ), светодиод, кнопку "сброс", тумблер "тест" введены блок контроллера клавиатуры и индикации (ККИ), блок клавиатуры (КЛВ), тумблер "программа", причем выход МХ соединен с аналоговым входом ОМК, управляющие входы МХ соединены с линиями портов P1.4 - P1.5, нормально разомкнутая кнопка "сброс", одним выводом соединена с входом "сброс" (RST) ОМК, тумблер "программа" одним выводом соединен с портом P1.1 ОМК, тумблер "тест" одним выводом соединен с портом P1.2 ОМК, вторые выводы кнопки "сброс", тумблеров "тест" и "программа" заземлены, порт P1.3 ОМК соединен с анодом светодиода, второй вывод которого заземлен, ККИ через СШ связан с ОМК, однонаправленная шина связи ККИ с БИ связывает ККИ со входами БИ, двунаправленная шина связи ККИ с КЛВ связывает ККИ с КЛВ.

Введение новых блоков и связей между ними позволяет повысить точность измерения расхода газа, поскольку учитывается изменение коэффициента сжимаемости газа в зависимости от изменения его параметров.

Расходомер газа поясняется чертежом, на котором изображена его структурная схема, содержащая сужающее устройство 1, установленное в трубопроводе, ПДС 2, ППДС 3, датчик температуры 4, резисторный измерительный мост 5, состоящий из резисторов 6, 7, 8, 9, ДУ 10, ПСДН 11, ПСПДН 12, аналоговый МХ 13, ОМК 14, кнопки "сброс" 15, тумблеры "программа" 16 и "тест" 17, энергозависимое ОЗУ 18, СШ 19, ККИ 20, БИ 21, КЛВ 22, светодиод 23, причем выход ПДС 2 связан со входом ПСДН 11, выход которого соединен с первым входом МХ 13, выход ППДС 3 связан со входом ПСПДН 12, выход которого соединен со вторым входом МХ 13, датчик температуры 4 соединен последовательно с резистором 6 и включен в одно из плеч резисторного измерительного моста 5, другие плечи которого составляют резисторы 7, 8, 9, к одной диагонали резисторного измерительного моста приложено $U_{н1}$ постоянное напряжение, а вторая диагональ связана со входом ДУ 10, выход которого соединен с третьим входом МХ 13, нулевой вход $U_{0п}$ которого связан с опорным источником напряжения известного уровня, выход МХ 13 соединены с аналоговым входом А ОМК 14, управляющие входы МХ 13 соединены с выходом портов P1.4 - P1.5 ОМК 14, нормально разомкнутая кнопка "сброс" одним выводом соединена с входом RST ОМК, тумблер "программа" одним выводом соединен с портом P1.1 ОМК, тумблер "тест" одним выводом соединен с портом P1.2 ОМК, вторые выводы кнопки "сброс", тумблеров "тест" и "программа" заземлены, порт P1.3 ОМК соединен с анодом светодиода, второй вывод которого заземлен, ККИ через СШ связан с ОМК, однонаправленная шина связывает ККИ со входами БИ, двунаправленная шина связывает ККИ с КЛВ.

В заявляемом устройстве такие блоки как ПДС, ППДС, датчик температуры, ДУ, ПСДН, ПСПДН, МХ, ОМК, ЗУ, ККИ, БИ, КЛВ, СШ, резисторный измерительный мост являются стандартными, которые взяты из таких работ:

1. Фолненберри Л. Применение операционных усилителей и линейных ИС. - М.: Мир, 1985. - 572с.

В этой работе дифференциальный усилитель описан на с.20 - 23, а резисторный измерительный мост на с.388 - 389.

2. Пухальский Г.И., Новосельцева Т.Я. Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах. - М.: Радио и связь, 1990. - 304с.

В этой работе аналоговый мультиплексор описан на с.109 - 113, ОЗУ на с.215 - 227. Вариант же подключения резервного питания в ОЗУ для сохранения информации при отключении питания на расходомер описано в работе Шевкопляс Б.В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения: Справочник. - М.: Радио и связь, 1990. - 512с. на с.59 - 62.

3. Сташин В.В. и др. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 224с.

В этой работе формирование СШ описано на с.50 - 162, построение БИ и КЛВ на с.170 - 172, а в качестве ОМК со встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) можно, например,

использовать ОМК фирмы INTEL 8XC51GB.

4. Гарет П. Аналоговые устройства для микропроцессоров и мини-ЭВМ. - М.: Мир, 1981. - 268с.

В этой работе вариант блока преобразователя сигнала давления и перепада давления в напряжение постоянного тока показан на с.179.

5. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 320с.

В этой работе преобразователи давления в электрический сигнал описаны на с.151, преобразователь перепада давления в электрический сигнал на с.153 - 154, датчик температуры на с.42 - 51.

Расходомер газа обеспечивает решение уравнения расхода

$$Q_m = K \cdot \varepsilon \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P}{T \cdot K_{сж}}}, \quad (3)$$

где Q_m - мгновенный расход газа при нормальных условиях;

K - постоянный коэффициент;

ε - коэффициент расширения газа на сужающем устройстве, вычисляемый по соотношению

$$\varepsilon = 1 - (0,41 + 0,35 m^2) \frac{\Delta P}{P k}, \quad (4)$$

где m - относительное отверстие сужающего устройства;

k - показатель адиабаты газа;

ΔP - перепад давления на сужающем устройстве;

P - абсолютное давление газа;

T - абсолютная температура газа;

$K_{сж}$ - коэффициент сжимаемости газа, вычисляемый по соотношению из работы: Кремлевский П.П.

Расходомеры и счетчики количества. - Л.: Машиностроение, 1989. - 701с., с.214.

$$K_{сж} = 1 - (0,000074791 +$$

$$+ 0,005548358 \cdot r) \cdot \frac{P}{T}, \quad (5)$$

где r - молекулярная доля метана в газе.

Перепад давления P вычисляется расходомером по соотношению

$$\Delta P = \frac{\Delta P_{max} \cdot N \Delta p}{2^n}, \quad (6)$$

где ΔP_{max} - численное значение перепада давления на сужающем устройстве, 1 при котором соответствующий ему цифровой код $N \Delta p$ максимален и равен $2^n - 1$, n - разрядность АЦП.

Абсолютное давление газа P вычисляется расходомером по соотношению

$$P = \frac{P_{max} \cdot N_p}{2^n}, \quad (7)$$

где P_{max} - численное значение абсолютного газа, при котором соответствующий ему цифровой код N_p максимален и равен $2^n - 1$. При равенстве сопротивлений резисторов 6, 7, 8, 9 резисторного измерительного моста 5, дифференциальный сигнал U (как следует из книги Фолкенберри Л. Применение операционных усилителей и линейных ИС. - М.: Мир, 1985. - 572с.) будет равен

$$U_T = U_{n,1} [R_T / (4R + 2R_T)], \quad (8)$$

где $U_{n,1}$ - напряжение, подаваемое на одну из диагоналей моста;

R_T - сопротивление терморезистивного датчика температуры 4;

R - сопротивление резисторов 6 - 9.

При $4R \gg 2R$ можно записать

$$U_T = U_{n,1} \cdot R_T / 4R, \quad (9)$$

Тогда напряжение U_T на выходе ДУ 10 будет равно

$$U_T = K_g \cdot U_{n,1} \cdot R_T / 4R, \quad (10)$$

где K_g - коэффициент усиления ДУ 10.

Если в качестве датчика температуры использовать термометр сопротивления типа ТСМ, то его сопротивление R_t при температуре $t^\circ C$ равно

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (11)$$

где R_0 - сопротивление датчика при $0^\circ C$.

α - температурный коэффициент сопротивления.

Если же построить по градуировочным таблицам (Боронихин А.С. Контрольно-измерительные приборы. - М.: Энергия, 1969. - 178с.) зависимость $R_t = f(T)$, то сопротивление датчика температуры ТСМ с погрешностью менее десятой доли процента можно описать соотношением

$$R_t = K_T' \cdot T, \quad (12)$$

где K_T' - постоянный коэффициент,

T - температура газа, К.

Учитывая (12), соотношение (10) можно переписать в виде

$$U_T = K_g \cdot K_T' \cdot U_{n,1} \cdot T / 4R. \quad (13)$$

Уравнение (13) можно переписать в виде

$$U_T = K_T \cdot T,$$

где

$$K_T = K_g \cdot K_T' \cdot U_{n.1}/4R, \quad (14)$$

следовательно, учитывая (14) получим

$$T = \frac{T_{\max} \cdot N_T}{2^n}, \quad (15)$$

где T_{\max} - численное значение абсолютной температуры газа, при которой соответствующий ей цифровой код N_T на выходе АЦП максимален и составляет $2^n - 1$.

Для получения полного уравнения, решаемого расходомером газа, в уравнение (3) подставим уравнения (4), (5), (6), (7), (15).

Тогда уравнения (3) можно переписать в виде

$$Q_M = K[1 - (0,41 + 0,35m^2) \times \frac{\Delta P_{\max} \cdot N_{\Delta p}}{k \cdot P_{\max} \cdot N_{\Delta p}}] \times$$

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{\max} \cdot P_{\max} \cdot N_{\Delta p} \cdot N_p \cdot 2^{-n}}{T_{\max} \cdot N_T - (0,000074791 + 0,005548358 \cdot r) \cdot P_{\max} \cdot N_p}} \quad (16)$$

Проанализировав уравнение (16) видно, что при вычислении расходомером мгновенного расхода газа переменными параметрами являются $N_{\Delta p}$, N_p , N_T , которые могут изменяться в диапазоне от 0 до $2^n - 1$.

Следовательно, программно задав в процессе оперативной постройки расходомера численные значения коэффициента масштаба и размерности K , относительно отверстия m , показателя адиабаты газа k , а также ΔP_{\max} , P_{\max} , T_{\max} при известной разрядности АЦП, входящей в ОМК при полученных значениях $N_{\Delta p}$, N_p , N_T , можно вычислить расход газа Q_M при нормальных условиях.

Расходомер газа работает следующим образом.

При наличии сигнала сброса на входе RST ОМК 14 или нажатии кнопки "сброс" 15, внутреннее АЦП ОМК 14 преобразует опорное напряжение $U_{оп}$ заведомо известных значений на нулевом входе МХ 13 в цифровой код $N_{тест}$. Если $U_{тест}$ отличается от заданного значения, то ОМК 14 через порт P1,3 выдает сигнал, вызывающий свечение автодиода 23, что позволяет протестировать правильность ввода аналоговых сигналов в расходомер.

В зависимости от состояния кнопки "программа" 16 и "тест" 17 расходомер может находиться в одном из режимов, показанных в таблице.

Первый режим - режим программной настройки расходомера, устанавливается при включенном тумблере "программа" 16, "тест" 17 и кратковременном нажатии кнопки "сброс" 15. В данном режиме происходит последовательный ввод в КЛВ 22 параметров K , k , m , r , ΔP_{\max} , P_{\max} , T_{\max} , входящих в уравнение 16 с занесением введенных параметров в ОЗУ 18.

После ввода всех параметров расходомер автоматически переходит в основной режим 2.

В этом режиме вычисляются численные значения ΔP , P , T , ε , $K_{сж}$ соотношениям (3), (7), (15), (4), (5) соответственно с учетом, что ΔP_{\max} , P_{\max} , T_{\max} были введены в первом режиме, который предшествует второму, $N_{\Delta p}$, N_p , N_T , получены путем подачи соответствующих адресных кодов с порта P1.4 - P1.5 ОМК 14 на МХ 13.

Затем, по соотношению (16) вычисляется мгновенный расход Q_M , ОМК 15 определяет длительность данного цикла Δt вычисления Q_M как произведение числа прерываний от внутреннего таймера ОТК 14 в данном цикле на известный интервал времени между соседними сигналами на прерывание от таймера. Новые значения интегрального расхода газа $Q_{и}$ и времени работы $\tau_{и}$ и от момента запуска расходомера вычисляются по соотношениям:

$$Q_{и} = Q_{и}' + Q_M \cdot \Delta t, \quad (17)$$

$$\tau_{и} = \tau_{и}' + \Delta t, \quad (18)$$

где $Q_{и}'$ - старое значение интегрального расхода газа;

$\tau_{и}'$ - старое значение времени работы.

Третий режим - тестовый, устанавливается при включенном тумблере "тест" 17 и отсутствии сигнала сброса на входе ОМК 14. В данном режиме можно, например, оперативно просмотреть коды, соответствующие сигналам с блоков 11, 12, 10, что необходимо для настройки и проверки расходомера.

Четвертый режим - режим обнуления интегрального расхода $Q_{и}$ и времени работы $\tau_{и}$, устанавливается при кратковременном нажатии кнопки "сброс" 15 и включенном тумблере "программа" - 16, что соответствует первоначальному запуску расходомера.

При обрыве линии передачи сигнала давления между блоками 2 и 11, либо перепада давления между блоками 3 и 12 на выходе ПСДН 11 либо ПСПДН сформируется нулевой уровень напряжения, что приведет к формированию на выходе внутреннего АЦП ОМК 14 кодов $N_p = 0$, $N_{\Delta p} = 0$.

В результате загорается светодиод 23, сигнализирующий ошибку.

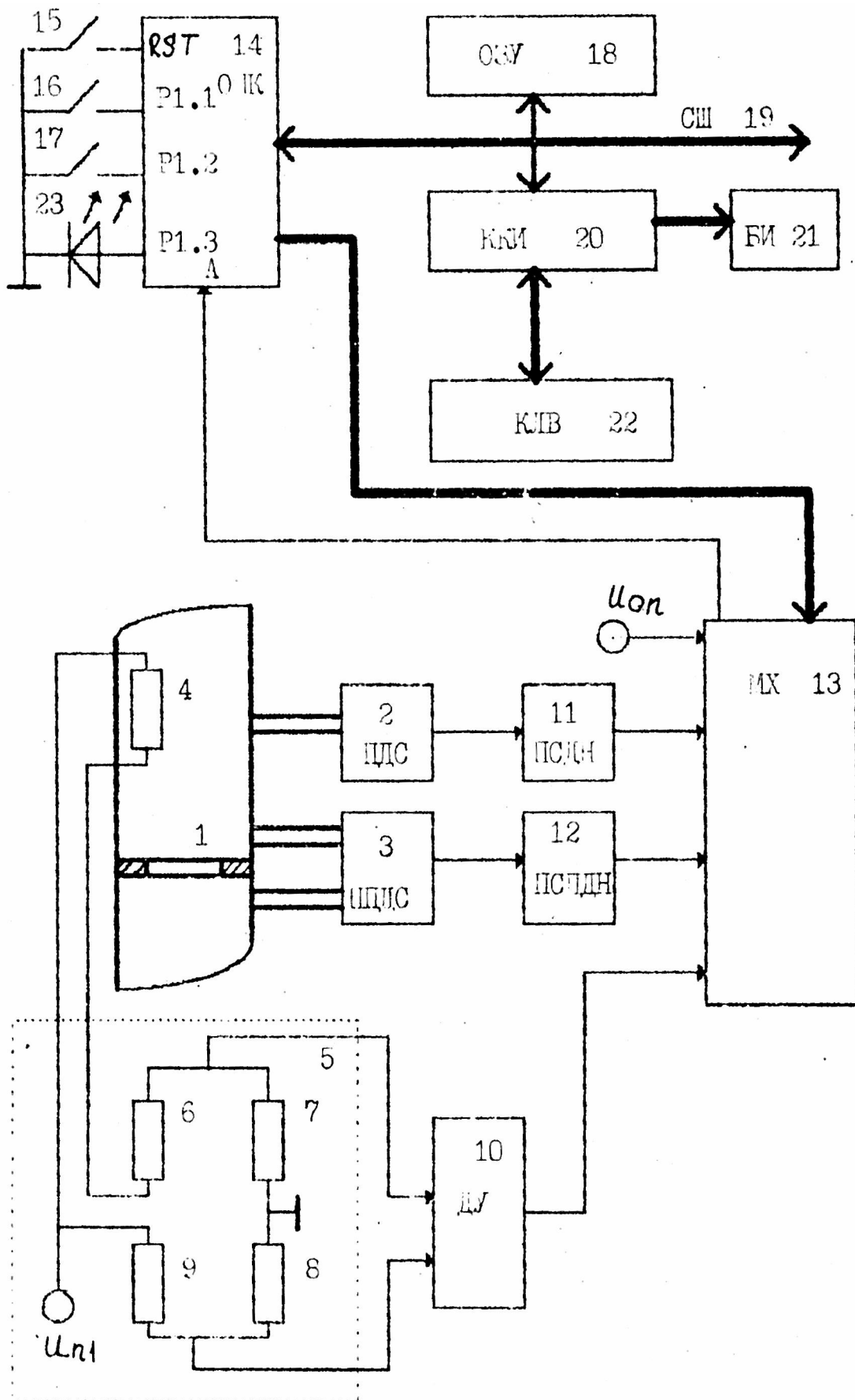
При обрыве датчика температуры 4, потенциал узла, соединяющий резисторы 6 и 7 будет нулевым, а потенциал узла, соединяющий резисторы 9 и 8 будет равен $U_{n.1}/2$ (поскольку сопротивление резисторов 9,8 одинаково). Разностный сигнал усиливается ДУ 10 и на его выходе будет высокий потенциал. Это приведет при преобразовании сигнала с третьего входа МХ 13 к значению $N_T = 2^n - 1$. В этом случае ОМК

14 также включит светодиод 23, сигнализирующий "ошибку".

Т а б л и ц а

№ режима	Наличие кратковременного сигнала "сброс"	Кнопка "программа" 16	Кнопка "тест" 17	Режим
1	есть	вкл	вкл	Режим программной настройки расходомера
2	нет	х	х	Основной режим
3	нет	выкл.	вкл.	Тестовый режим
4	есть	вкл.	выкл.	Режим обнуления интегральных параметров

Примечание: х – состояние безразлично.



Фиг.