

ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ СРЕД

Предложен метод и устройство, реализующее этот метод, исключая влияние износа электродов и межэлектродного пространства на метрологические характеристики влагомеров. Применяя известные емкостные датчики с помощью предлагаемого алгоритма преобразования можно перейти от емкостных измерителей состава дисперсных материалов к чисто диэлектрическим измерителям. В этом случае метрологические характеристики измерителей не зависят от конструктивных параметров их датчиков. В предлагаемом устройстве исключено влияние на процесс измерения всех неинформативных показателей.

A method is offered and the device bringing into effect this method which excludes the impact of electrode wear and inter-electrode space on metrological parameters of moisture indicators is presented.

It is shown that by use of the known capacitance sensors with the help of the proposed algorithm of transformation it is possible to switch from the capacitance meters of dispersion material composition to pure dielectric meters. In this situation metrological parameters do not depend on part specifications of their sensors. In addition the impact of all non-diagnostic markers is excluded in this device.

В измерительной технике широко используются различного рода измерители состава всевозможных материалов, в том числе и сыпучих. Например, в горнообогатительной отрасли применяют измерители влажности сыпучих сред, измерители содержания той или иной составляющей в потоке многокомпонентных сред и т.д. При этом из всего многообразия методов выбирается какой-либо конкретный, в котором измеряемый физический параметр среды имеет наиболее тесную корреляцию с контролируемым технологическим параметром. Среди них нашли свое место и диэлектрические измерители влажности, работающие в средневолновом и коротковолновом ($f = 0,3-30$ МГц) диапазонах частот. Как правило, они базируются на использовании значительного превосходства величины диэлектрической проницаемости воды и диэлектрических проницаемостей других составляющих в контролируемых средах, как твердых, так и газообразных.

Однако, в одних источниках [1] они называются диэлектрическими, а в других [3] – емкостными измерителями влажности.

Те и другие измерители являются емкостными, если рассматривать их практическую реализацию. В них осуществляется один и тот же алгоритм преобразования, который может быть представлен в виде

$$W_m = \varepsilon_m - C_m - B,$$

где W_m , ε_m , C_m – соответственно, влажность, диэлектрическая проницаемость, электрическая емкость контролируемого материала в датчике; B – выходная величина прибора.

В конечном итоге выходная величина пропорциональна измеряемой электрической емкости датчика, заполненного контролируемым материалом, которая в упрощенном виде для всех конструкций датчиков может быть представлена выражением:

$$C_m = \varepsilon_m \times K,$$

где K – приведенный конструктивный параметр датчика, который зависит от формы и размеров как электродов, так и межэлектродного пространства.

В диэлектрических измерителях состава сыпучих сред, устанавливаемых в технологических потоках, датчики постоянно

подвергаются как физическому износу, так и другим видам воздействия, что приводит к изменению параметра K . Это, в свою очередь, отражается на метрологических характеристиках измерительных приборов, из-за чего приходится часто менять датчики и переконструировать всю измерительную систему.

Известен способ минимизации влияния параметра K на процесс измерения [2]. На примере емкостного датчика с плоскопараллельными электродами (рис.1) показано, что выполнив электроды со скосом внутрь диэлектрика под некоторым углом α , можно в некоторой степени добиться желаемого эффекта.

Величина угла α определяется выражением

$$\alpha = \operatorname{arccctg} \frac{2ab}{d(b + 1,113d + 2,227h)},$$

где a , b , h – соответственно, высота, ширина, толщина электродов; d – расстояние между электродами; $a/d > 0,25$; $a = b$.

В этой ситуации при износе датчика расстояние между электродами увеличивается и, соответственно, увеличивается площадь электродов, что приводит к стабилизации конструктивного параметра K .

Следует заметить, что в реальных условиях износ межэлектродного пространства происходит не так, как принято априори в представленном способе. Характер этого износа неравномерен по площади электродов и зависит от многих, не поддающихся учету, факторов, что в равной мере относится и к датчикам всех известных конструкций.

Рассмотрим способ устранения влияния параметра K на процесс преобразования $W_M - B$. В конечном итоге процесс преобразования сводится к измерению диэлектрической проницаемости контролируемого материала помещенного в датчик.

В предлагаемом [4] способе предусматривается полезную информацию снимать посредством обычных емкостных первичных преобразователей. Сначала измеряется электрическая емкость пустого (не заполненного контролируемым материалом) датчика, величина которой определяется из выражения:

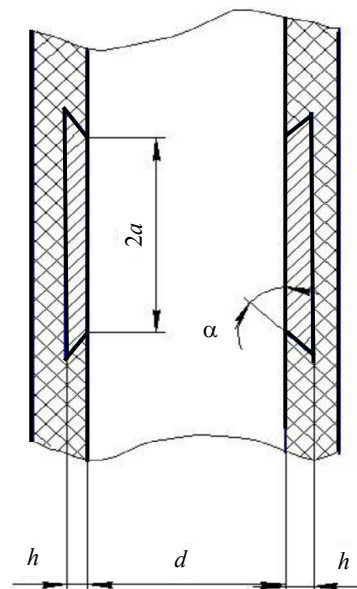


Рис.1. Емкостный датчик с плоскопараллельными электродами

$$C_{\Pi} = C_0 + C_{\text{монт}} + C_{\text{пар}}, \quad (1)$$

где C_0 – исходная рабочая (геометрическая) емкость датчика; $C_{\text{монт}}$ – электрическая емкость подводящих проводов, включающая все виды монтажа; $C_{\text{пар}}$ – паразитная емкость, включающая все виды паразитных емкостей; $C_0 = \epsilon_b K$; ϵ_b – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха, $\epsilon_b \oplus 1$; K – приведенный конструктивный параметр датчика.

Затем датчик заполняется контролируемым материалом и вновь измеряется электрическая емкость

$$C_3 = C_M + C_{\text{монт}} + C_{\text{пар}}, \quad (2)$$

где C_3 – общая электрическая емкость заполненного датчика; C_M – электрическая емкость, внесенная материалом на ту часть электродов, которая считается рабочей; $C_{\text{монт}}$, $C_{\text{пар}}$ – остались без изменения; $C_M = \epsilon_M K$; ϵ_M – диэлектрическая проницаемость внесенного в датчик материала.

Вычитая (1) из (2) и учитывая, что $\epsilon_b = 1$, получим

$$\Delta C_M = C_M - C_0 = (\epsilon_M - 1)K. \quad (3)$$

Как видно из выражения (3), выходная информация, отображаемая величиной ΔC_M ,

не зависит от всех видов сопутствующих емкостей ($C_{\text{монт}}$, $C_{\text{пар}}$).

В процессе эксплуатации датчика его электроды подвергаются износу, что приводит к изменению параметра K , далее к изменению крутизны преобразования датчика и, следовательно, к увеличению погрешности измерений. Поэтому после изготовления датчика определяется его исходная рабочая емкость $C_0 = \epsilon_0 K$. В этом выражении ϵ_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума может быть заменена с достаточной для технических измерений степенью точности на ϵ_v .

Имея величину $C_{\text{п}}$ из выражения (1) и определенную экспериментально C_0 , можно определить величину емкости всех неинформативных составляющих $C_{\text{ни}} = C_{\text{монт}} + C_{\text{пар}}$, которая может быть представлена в виде

$$C_{\text{ни}} = C_{\text{п}} - C_0. \quad (4)$$

Величины $C_{\text{ни}}$ и K запоминаются и вводятся в алгоритм реализации предлагаемого способа. Износ датчика приводит к изменению его конструктивного параметра K и его рабочей емкости C_0 . Текущие значения этих

параметров (C_0' и K') могут быть представлены в виде

$$C_0' = C_{\text{п}}' - C_{\text{ни}} = \epsilon_v K' = K', \quad (5)$$

где $C_{\text{п}}'$ – текущее значение электрической емкости пустого датчика.

Далее следует определить и запомнить коэффициент изменения конструктивного параметра датчика, который может быть определен из выражения

$$k = C_0 / C_0' = K / K'. \quad (6)$$

После измерения текущего значения электрической емкости заполненного датчика (C_3') выходную информацию можно представить выражением

$$\begin{aligned} \Delta C_{\text{м}} &= (C_3' - C_{\text{п}})k = \\ &= [(\epsilon_{\text{м}} - 1)K']k = (\epsilon_{\text{м}} - 1)K. \end{aligned} \quad (7)$$

Как видно из выражения (7), выходная информация есть функция только диэлектрической проницаемости контролируемого материала и не зависит от величины текущего значения конструктивного параметра датчика K' . Следовательно, износ датчика не отражается на погрешности измерений. Таким образом, используя емкостные измерения в приведенном алгоритме, можно перейти от емкостных измерителей состава контролируемых сыпучих сред к диэлькометрам.

Современный уровень микроэлектроники и схемотехники, а также разработка соответствующих конструкций датчиков позволяют реализовать изложенное в промышленных приборах.

На рис.2 представлена структурная электрическая схема диэлькометрического влагомера сыпучего материала.

Влагомер состоит из датчика 1, выход которого соединен со входом высокочастотного генератора с формирователем сигнала 2, а выход последнего со входом устройства управления счетом 3. Выход устройства 3 заведен на вход устройства управления реверсом счета 4, первый выход которого подсоединен на входы прямого счета реверсивных счетчиков 5 и 6, а второй его выход – на вход обратного счета реверсивного счетчика 5.

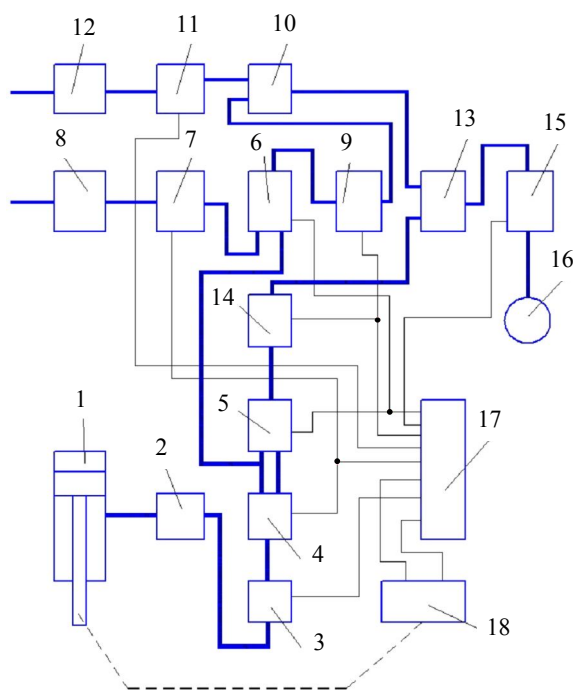


Рис.2. Структурная электрическая схема диэлькометрического влагомера сыпучих материалов

Вход обратного счета счетчика 6 через ключ 7 подсоединен к выходу задатчика числа 8 (числа, соответствующего величине электрической емкости неинформативных составляющих $C_{ни}$), а выход заведен на вход запоминающего устройства 9. Выход устройства 9 подключен на второй вход делителя 10. При этом первый вход делителя 10 через ключ 11 связан с выходом задатчика числа 12 (числа, соответствующего исходному значению конструктивного параметра датчика K), а его выход заведен на второй вход умножителя 13, первый вход которого через запоминающее устройство 14 подключен к выходу реверсивного счетчика 5. Выход умножителя 13 через запоминающее устройство 15 связан со входом регистратора 16. Представленные на рис.2 цепи на рис.1 показаны толстой сплошной линией, так как отображают информационный канал. Остальные цепи выполнены тонкой сплошной линией, так как отображают управляющие сигналы. Выходы блока управления 17 соединены, соответственно, с управляющими входами: первый и третий со входами исполнительного механизма 18, второй – со входом устройства управления счетом 3, четвертый – со входами устройства управления реверсом счета 4 и входом ключа 7, пятый – со входом ключа 11, шестой – со входами запоминающих устройств 9 и 14, седьмой – со входом запоминающего устройства 15, восьмой – со входами реверсивных счетчиков 5 и 6. Исполнительный механизм механически соединен со штоком датчика 1.

Влагомер работает следующим образом. Перед установкой его в технологический поток в задатчике 12 записывается число, пропорциональное значению конструктивного параметра K датчика, которое получается расчетным путем. После установки влагомера на технологическую линию в задатчике 8 записывается число, пропорциональное суммарному значению электрической емкости всех неинформативных параметров $C_{ни}$.

Цикл работы задается блоком управления 17. С приходом команды с первого выхода блока 17 на первый вход исполнитель-

ного механизма 18 осуществляется перемещение поршня датчика 1 в верхнее положение. Датчик освобождается от отработанной пробы контролируемого материала. На выходе измерительного генератора 2 формируется сигнал частотой f_1 , пропорциональный электрической емкости пустого датчика. После полной разгрузки датчика 1 со второго выхода блока управления 17 поступает команда на управляющий вход устройства управления счетом 3 строго определенной длительности t . В результате этого определенное количество импульсов от генератора 2 через устройство управления счетом 3 и устройство управления реверсом счета 4 одновременно поступает на первые входы реверсивных счетчиков 5 и 6 и фиксируется в виде числа N_1 .

Затем с третьего выхода блока 17 поступает команда на второй вход исполнительного механизма 18. Поршень датчика перемещается вниз, а внутренняя полость заполняется контролируемым материалом. С выхода генератора 2 снимается сигнал частотой t_2 пропорциональный электрической емкости заполненного контролируемым материалом датчика 1. На управляющий вход устройства управления счетом 3 со второго выхода блока управления 17 поступает команда длительностью t и синхронно с ней с четвертого выхода этого блока подается команда на управляющие входы устройства управления реверсом счета 4 и ключа 7.

В результате сигнал от генератора 2 через устройства 3 и 4 подается на второй вход (вход обратного счета) реверсивного счетчика 5 в виде числа N_2 , на выходе которого фиксируется число $\Delta N = N_1 - N_2$, пропорциональное значению $C_3 - C_{п.}$ Это число фиксируется запоминающим устройством 14. Кроме того, на второй вход (вход обратного счета) реверсивного счетчика 6 поступает сигнал через ключ 7 от задатчика числа 8 в виде числа, пропорционального значению $C_{ни}$. На выходе реверсивного счетчика 6 формируется число K' , пропорциональное текущему значению конструктивного параметра датчика 1, которое фиксируется запоминающим устройством 9. После этого с

пятого выхода блока управления 17 подается управляющий сигнал на ключ 11, который передает информацию в виде числа, пропорционального исходному значению конструктивного параметра K датчика 1 от задатчика числа K 12 на первый вход делителя 10.

Затем с шестого выхода блока управления 17 подается команда одновременно на управляющие входы запоминающих устройств 9 и 14. В результате этого на первый вход умножителя 13 подается с запоминающего устройства 14 сигнал, пропорциональный разности текущих значений электрических емкостей пустого и заполненного датчика, а с запоминающего устройства 9 на второй вход делителя 10 сигнал в виде числа, пропорционального текущему значению конструктивного параметра K' датчика 1. С выхода делителя 10 на второй вход умножителя 13 подается сигнал, пропорциональный коэффициенту изменения k конструктивного параметра K датчика 1. С выхода умножителя 13 по команде с седьмого выхода блока управления 17 через запоминающее устройство 15 на регистратор 16 подается сигнал, пропорциональный только лишь диэлектрической проницаемости контролируемого материала и независимый от

текущего значения конструктивного параметра датчика. В завершение цикла работы устройства с восьмого выхода блока управления 17 подается команда на управляющие входы реверсивных счетчиков 5 и 6, которые обнуляются. После этого цикл работы измерителя влажности повторяется.

Таким образом, удается в качестве информативного параметра при измерениях влажности использовать диэлектрическую проницаемость контролируемой среды, которая не зависит от конструктивного параметра датчика. Это, в свою очередь, значительно повышает как метрологические показатели влагомера, так и снижает экономические затраты на его эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлинер М.А. Измерения влажности. М.: Энергия, 1973. 328 с.
2. Галушкин С.С. Стабилизация параметров емкостных датчиков для сыпучих материалов / С.С.Галушкин, Е.С.Кричевский // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. Т. XXIX. 1986. № 10. С. 66-70.
3. Кричевский Е.С. Высокочастотный контроль влажности при обогащении полезных ископаемых. М.: Недра, 1972. 368 с.
4. Пат. 2168719 РФ. Способ измерения влажности и устройство для его реализации / С.С.Галушкин // Изобретение. 2001. № 16.