

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ЕМКОСТНОЙ ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА

В.К. Федотов, А.И. Тищенко, В.А. Бевзов, В.С. Афонин

Для повышения качества выпускаемой продукции необходим контроль основных характеристик сырья на всех стадиях технологического процесса. И если до недавнего времени был достаточен выборочный контроль, то сегодня стоит вопрос о непрерывном автоматическом контроле, как характеристик сырья, так и режимов технологического процесса, что потребовало создания измерительных приборов непрерывного действия. Сказанное относится и к зерноперерабатывающей отрасли, в частности для измерения влажности зерна в потоке. Существующие электронные влагомеры зерна предназначены, в основном, для выборочного измерения влажности [1-2]. При контроле влажности зерна в потоке появляются дополнительные погрешности, связанные с особенностью технологического процесса и свойствами контролируемого продукта. В частности, одним из основных мешающих факторов при измерении зерна с повышенной влажностью являются активные потери. Большое количество работ [3-4], посвященных устранению этой погрешности подтверждает наличие данной проблемы.

В ЗАО «Новые технологии» (г. Барнаул) была предпринята еще одна попытка разработать влагомер зерна свободного от указанного недостатка.

Измерительный преобразователь влагомера содержит LC-автогенератор с измерительным конденсатором в колебательном контуре. Поскольку емкость измерительного конденсатора является функцией диэлектрической проницаемости вещества, находящегося между его электродами, которая в свою очередь зависит от влажности этого вещества, то с изменением влажности вещества происходит изменение емкости измерительного конденсатора и, как следствие, изменение частоты генератора. Указанный принцип положен в основу емкостных влагомеров, широко используемых при контроле влажности зерна, в том числе и в потоке. Однако существующие емкостные влагомеры имеют общий недостаток – их погрешность существенно зависит от электрических потерь (электропроводности) контролируемой массы, от расположения элементов технологического

оборудования относительно электродов измерительного конденсатора, от изменения емкостной и электрической связи контролируемой массы с общей точкой измерительной схемы (точка заземления).

Для устранения указанного недостатка за основу был взят измерительный преобразователь [6], содержащий высокочастотный автогенератор 1 (рисунок 1), выполненный по схеме двухтактного автогенератора, к симметричному выходу которого подключены два колебательных контура 2 и 3. Контур содержит соответственно индуктивности L_1 , L_2 и общий измерительный конденсатор 4 с электродами 5 и 6, причем коэффициент связи между контурами $K_{св} \rightarrow 0$. Между электродами измерительного конденсатора 4 расположено контролируемое вещество 7. Частота измерительного автогенератора 1 определяется общей индуктивностью L_1 , L_2 и емкостью C измерительного конденсатора 4. Емкость измерительного конденсатора, в свою очередь, зависит от диэлектрической проницаемости ε контролируемого вещества 7. На рис.2 дополнительно показано сопротивление утечки Z_k контролируемого вещества до общей точки измерительной цепи. Сопротивление утечки Z_k в процессе измерения является непостоянной величиной и зависит как от проводимости контролируемого вещества (потерь, наличия примесей и пр.), так и от расположения металлических и электропроводящих элементов технологического оборудования относительно объема контролируемого вещества. Резонансные частоты каждого из контуров определяются формулами:

$$\omega_1 = 1/\sqrt{L_1 C_1}; \quad \omega_2 = 1/\sqrt{L_2 C_2}, \quad (1)$$

где L_1 , L_2 – соответственно индуктивность первого и второго колебательных контуров;

C_1 , C_2 – соответственно емкость между электродами 5,6 с контролируемым веществом 7.

Частоты связи автогенератора определяются выражением:

$$\Omega_{1,2} = (\omega_1 + \omega_2)^2 \pm \sqrt{(\omega_1 + \omega_2)^2 - 4\omega_1^2 \omega_2^2 (1 - K_{св}^2)}, \quad (2)$$

$$\text{где } K_{св} = \sqrt{K_1 K_2} \quad (3)$$

здесь K_1 – степень связи первого контура со вторым, определяется отношением напряжений на элементе связи к напряжению на полной реактивности первого контура при разомкнутом втором контуре; K_2 – степень связи второго контура с первым, определяется аналогичным образом, т.е.

$$K_1 = \frac{\Delta U}{UC_1 + \Delta U}; \quad K_2 = \frac{\Delta U}{UC_2 + \Delta U}. \quad (4)$$

При $\omega_1 = \omega_2 = \omega_0$ получим:

$$\Omega_1 = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 + K_{св}}}; \quad \Omega_2 = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - K_{св}}}. \quad (5)$$

Из выражений (5) следует, что частота автогенератора будет изменяться в зависимости от величины сопротивления контакта Z_k , которое является элементом связи между контурами; при $K_{св} \rightarrow 1$ частота автогенератора будет неустойчива, при $K_{св} \rightarrow 0$ получим $\Omega_1 \rightarrow \omega_1$ и $\Omega_2 \rightarrow \omega_2$, т.е. при $\omega_1 = \omega_2 = \omega_0$ получим $\Omega_{1,2} \rightarrow \omega_0$. Таким образом, условие $K_{св} = 0$ является наиболее желательным при работе высокочастотного диэлькометрического измерителя неэлектрических величин. Определим условие, при котором выполняется требование $K_{св} = 0$ измерительного автогенератора. Для этого, предполагая, что добротности контуров одинаковы, определим напряжение на элементе связи контура, выполненного в виде уравновешенного моста (рисунок 2). Из рисунка следует, что:

$$\Delta U = \frac{I_1}{j\omega C_1 - I_2 j\omega L_1} = \frac{C_1 U}{C_1 + C_2} - \frac{L_1 U}{L_1 + L_2}, \quad (6)$$

а также:

$$UC_1 = \frac{C_2 U}{C_1 + C_2}; \quad UC_2 = \frac{C_1 U}{C_1 + C_2}. \quad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (4) получим:

$$K_1 = \frac{C_2 L_2 - C_1 L_1}{2C_2 L_2 + L_1(C_2 - C_1)}; \\ K_2 = \frac{C_2 L_2 - C_1 L_1}{C_1 L_1 + C_2 L_2}. \quad (8)$$

Формула (3) с учетом выражений (8) запишется так:

$$K_{св} = \sqrt{\frac{(C_2 L_2 - C_1 L_1)^2}{L_1 L_2 (C_2^2 - C_1^2) + 2C_2 L_2^2 (C_1 + C_2)}}.$$

Из полученного выражения следует, что коэффициент связи $K_{св}$ равен нулю при $C_2 L_2 = C_1 L_1$, т.е. при использовании идентичных элементов в колебательном контуре, а это достаточно просто осуществляется практически. Условие $K_{св} = 0$ предполагает, что контролируемое вещество 7 и общая точка колебательного контура находятся под нулевым потенциалом.

Таким образом, реализация измерительного преобразователя по схеме автогенератора, выполненного в виде двухтактного генератора с двумя идентичными колебательными контурами, позволяет исключить влияние нестабильности электрической связи Z_k контролируемого вещества и общей точки измерительной цепи. Данное техническое решение положено в основу высокочастотного емкостного датчика влажности зерна. Реализация прибора осуществляется на базе указанного измерительного преобразователя и устройства измерения частоты.

Работа измерительного преобразователя осуществляется следующим образом. Сначала измеряют частоту измерительного автогенератора 1 с помощью частотомера, реализованного на основе микроконтроллера фирмы ATMEL AT90S2313. Затем вводят в измерительный конденсатор 4 контролируемое вещество 7. В зависимости от диэлектрической проницаемости вещества (то есть от его влажности) изменяется емкость измерительного конденсатора, а следовательно и частота измерительного генератора. По изменению частоты судят о контролируемом параметре. При этом электрическая проводимость контролируемого вещества и сопротивление утечки на общую точку измерительной цепи влиять не будут, т.к. само вещество будет находится под нулевым потенциалом относительно этой общей точки.

Далее в лаборатории экспериментально набираются данные о соответствии влажности зерна частоте генератора. Данные в виде таблицы заносятся в память микроконтроллера и в дальнейшем используются им при работе. При необходимости эти данные могут быть изменены.

Макет такого влагомера был испытан в Целинном районе на Воеводской мельнице производительностью по зерну 50 т/сут.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ЕМКОСТНОЙ ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА

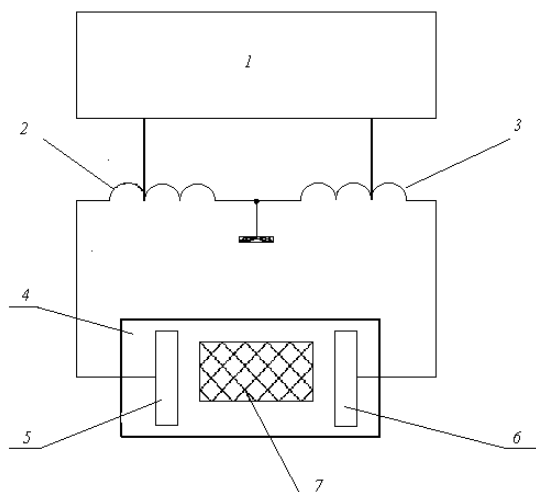


Рисунок 1 – Измерительный преобразователь

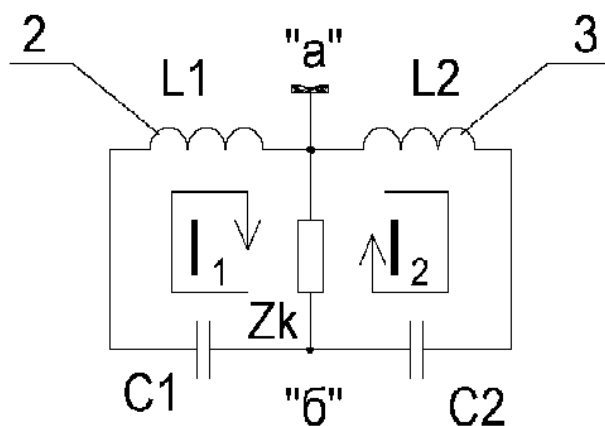


Рисунок 2 – Колебательный контур измерительного преобразователя

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поточный влагомер «Фауна П», <http://www.agrolepta.ru/Fauna-P.htm>.
2. Дубров Н., Невзолин Б., Каплий В. Влагомеры сыпучих материалов. В помощь радиолюбителю. Вып. 50. – М.: Изд-во ДОСААФ, 1975. – С. 50.
3. Краусп В., Рязов А. Прибор контроля влажности зерна // Радио. – 1971. – № 12. – С. 28-29.
4. Вахрушев В., Созин В. Измеритель температуры, освещенности и влажности почвы // Радио. – 1978. – №5. – С. 26-27.
5. Авторское свидетельство № 371414. Емкостный датчик контроля диаметра микропровода.