

Р.П. МИГУЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент каф. ИИТС,
О.Ю. КРОПАЧЕК, канд. техн. наук, старший преподаватель каф. ТОЭ,
М.Н. МАЛЬКО, канд. техн. наук, доцент каф. САУ,
А.М. ГАЙДАШ, ассистент каф. ВМ (г. Харьков)

ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

В статті досліджено модель вимірювального перетворювача вологості сиплячих матеріалів. Проаналізовані можливі моделі сиплячих матеріалів та схеми вимірювання вологості, синтезована модель перетворювача, проведені доведення адекватності теоретичної моделі перетворювача реальному об'єкту

In clause the technique of analytical synthesis of models of the observer of multizoned through passage units is considered. Three models of the observer are synthesized on the basis of static thermal physical model press of cultures with oil. The opportunity of definition of optimum model for research of the characteristics of the chosen object is shown depending on the put tasks. The prospects of the further researches are planned

Постановка проблемы. Измерение влажности сыпучих материалов является чрезвычайно важной задачей в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Поэтому доказательство актуальности выбранной темы для исследований излишние.

Однако, как следует из справочных данных, очень важной и малоисследованной задачей при оценке влажности сыпучих материалов является задача экспресс-измерений. В настоящее время существует достаточно большое количество разнообразных измерительных устройств и преобразователей, но, практически, все из них сложные, дорогие и не решают задачу быстрой оценки количественного значения влажности [1, 2]. Поэтому насущной необходимостью являются разработка и исследование влагометрических преобразователей, на основе которых возможно создание быстродействующих устройств.

Любые исследования технических устройств основываются на построении и детальном исследовании моделей устройств. Синтез моделей является неотъемлемой частью работы над анализом метода или устройства.

Анализ литературы. Анализ методов измерения влажности сыпучих материалов [1-5] позволил выбрать в качестве базового электромагнитный метод. Электромагнитные влагометрические системы имеют ряд неоспоримых достоинств, главными из которых являются: использование в таких системах сравнительно несложной, недорогой, простой в эксплуатации и высоконадежной электрической аппаратуры, возможность получения точностей, удовлетворяющих требованиям соответствующих стандартов, возможность осуществления, с помощью таких систем не только дискретного, но и непре-

ровного измерения.

Целью статьи является исследование модели измерительного преобразователя влажности сыпучих материалов и выбор оптимальных решений при проектировании влагометрического преобразователя. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: проанализировать возможные модели сыпучих материалов и схемы измерения влажности, синтезировать модель преобразователя, произвести доказательство адекватности теоретической модели преобразователя реальному объекту.

Анализ моделей сыпучих материалов и схем измерения влажности.

Активные потери в электромагнитном поле сыпучих материалов складываются из диэлектрических потерь и потерь проводимости, причем диэлектрические потери определяются совокупностью всех видов поляризации, имеющих место в материале [1, 2]. Вследствие этого рекомендуется в качестве схемы замещения сложного поляризованного материала использовать схему, приведенную на рис. 1.

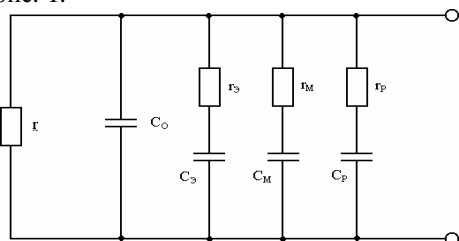


Рис. 1. Схема замещения сложного поляризованного материала:

r – величина, характеризующая активные потери в материале; $r_э, r_и, r_р$ – электронная, ионная и релаксационная составляющая; C_0 – воздушная емкость конденсатора, в котором находится исследуемый материал; $C_э, C_и, C_р$ – емкости, обусловленные электронной, ионной и релаксационной поляризацией

Если в первом приближении не учитывать влияние индуктивности, то эквивалентную схему материала в ячейке следует представлять в виде простейшего эквивалентного двухполюсника с параллельным соединением образующих элементов.

Основные расчетные соотношения с учетом того, что

$$tg\delta = \frac{I_a}{I_c} = \frac{1}{\omega C r},$$

где I_a – активная, I_c – емкостная (реактивная) составляющие тока через ячейку, можно записать в виде:

$$Z_э = \frac{r}{1 + j\omega C r} = \frac{r}{1 - \frac{1}{j tg\delta}} = \frac{r}{1 + tg^2\delta} - j \frac{r tg\delta}{1 + tg^2\delta}. \quad (1)$$

Мнимая часть выражения (1) представляет собой емкостное сопротивление, являющееся функцией кажущейся емкости C_K . Для

$$X_{C_K} = \frac{1}{\omega C_K} = \frac{r tg\delta}{1 + tg^2\delta} \quad (2)$$

C_K определяется из (2):

$$C_K = \frac{1 + tg^2\delta}{\omega r tg\delta} = \frac{1 + tg^2\delta}{\omega r \frac{1}{\omega C_M r}} = C_M (1 + tg^2\delta).$$

Дальнейшей задачей является попытка поиска наиболее благоприятного схемного решения.

Для этой цели бесчисленное множество измерительных схем, используемых во влагометрии, может быть разбито на ряд основных типов:

- 1) z – метры, реагирующие на изменение модуля комплексного сопротивления преобразователя;
- 2) y – метры, реагирующие на изменение модуля комплексной проводимости преобразователя;
- 3) Q – метры, реагирующие на изменение активной составляющей комплексного сопротивления преобразователя;
- 4) F – метры, реагирующие на изменение частоты автогенератора при включении преобразователя в его колебательный контур.

Выбор конкретной измерительной схемы сопровождается не только исходя из принятого критерия качества, но и свойствами материала. Для дальнейшего исследования, принимается схема Q – метра [2]. Выбранная схема является достаточно редкой в случае применения ее для измерения влажности сыпучих материалов и нуждается в подробном исследовании и изучении.

Синтез модели электромагнитного преобразователя влажности. В основу модели преобразования положим упрощенную эквивалентную схему замещения, представленную на рис. 2. Здесь E, R_r, C, L являются рабочими параметрами схемы, R_m – активное сопротивление, соответствует диэлектрическим потерям в материале. Учитывая тот факт, что емкость материала изменяется незначительна, а расстройка по частоте практически не влияет на работу преобразователя [5], правомерно считать что:

$$W_c = f(R_m),$$

где W_c – влажность материала, или как следует из [6]:

$$R_m = k W_c^{-1},$$

где k – коэффициент пропорциональности между величиной, обратной влажности, и эквивалентным активным сопротивлением потерь.

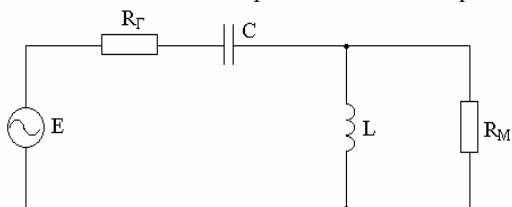


Рис. 2. Упрощенная информационная модель преобразователя с последовательным резонансным контуром

Определим зависимость $U_{\text{вых}} = f(R_M)$ на основе теоретических исследований, используя схему замещения на рис. 2.

КПФ имеет вид:

$$K(j\omega) = \frac{j\omega LR_M}{R_\Gamma + \frac{1}{j\omega C} + \frac{j\omega LR_M}{j\omega L + R_M}} \quad (3)$$

Из выражения (3) зависимость $A(\omega) = f(W)$ определяется как [5]:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(k_1 W + 1)^2 + \left(\frac{1}{Q} + k_1 Q W\right)^2}}$$

При

$$\Delta U = A(\omega) \Big|_{R_M = \infty, \omega = \text{const}} - A(\omega) \Big|_{\omega = \text{const}},$$

окончательно математическая модель электромагнитного преобразователя влажности имеет вид:

$$\Delta U = \frac{1}{\sqrt{(k_1 W_c + 1)^2 + \left(\frac{1}{Q} + k_1 Q W_c\right)^2}} A_B + B_B, \quad (4)$$

где A_B – коэффициент усиления, B_B – постоянная, обусловленная коррекцией нуля.

Как следует из (4), математическая модель рассматриваемого преобразователя сильно зависит от параметров резонансного контура и значение ΔU может варьироваться в некоторых пределах в зависимости от этих параметров.

Доказательство адекватности теоретической модели электромаг-

нитного преобразователя влажности реальному объекту. Дальнейшее исследование полученной теоретической модели электромагнитного преобразователя влажности без получения её верификации невозможно. Доказательство адекватности всегда проводится экспериментальным путем. Целью экспериментального исследования является определение действительной функции преобразования, после чего экспериментальные данные сравниваются с теоретическими.

В нашем случае был разработан преобразователь, с которым проводились эксперименты в лаборатории НТУ «ХПИ». Разработанный преобразователь обладает определенными характеристиками. Экспериментально установлено, что диапазон изменения R_M , при изменении влажности материала в пределах $4 \div 15\%$, составляет $3 \cdot 10^4 \div 10^5$ Ом. Определимся в реальных значениях параметров, входящих в (3):

$$\begin{cases} \omega L - \text{сотни Ом;} \\ R_\Gamma - \text{сотни Ом.} \end{cases}$$

Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные электромагнитного преобразователя влажности

R_M , кОм	10	30	50	70	93
$U_{\text{вых}}$, В	3,2	3,6	3,7	3,75	3,8

Графическое отображение результатов эксперимента представлено на рис. 3.

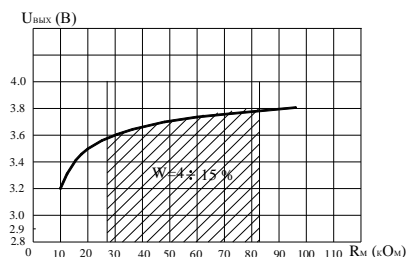


Рис. 3. Экспериментальные данные

На основе полученных реальных значений параметров входящих в математическую модель $Q = 1$ и АЧХ предстанет в виде:

$$A(\omega) = \frac{0,707}{\frac{100}{R_M} + 1} \quad (5)$$

Используя выражение (5) построим теоретическую зависимость $A = f$

(R_m) (рис. 4).

Проведенные сравнения двух величин, полученных, экспериментальным путем подтверждает адекватность модели (рис. 3). Отличительным условием является уровень выходного напряжения, который связан с аддитивным смещением кривой, вследствие не единичных начальных условий реального измерительного преобразователя.

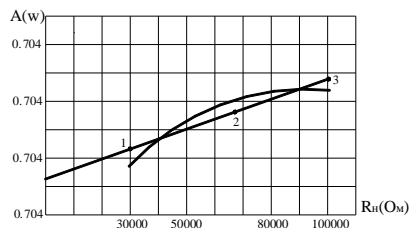


Рис. 4. Теоретические данные

На рис. 4 отображена теоретическая и экспериментальная модель материала, где видно, что они практически одинаковы, не считая возникающей в точках один, два и три погрешности линейности, которой можно пренебречь.

Выводы. Согласно проведенным исследованиям, синтезированная модель сыпучего материала (семена подсолнечника) представляет собой чисто активное сопротивление. Изменения сопротивления адекватно изменению влажности материала и преобразователь работает на изменении добротности последовательного резонансного контура. Емкостная составляющая модели материала стремится к нулю, что позволяет зафиксировать частоту вынужденных колебаний вынужденного контура.

Список литературы: 1. Берлинер М.А. Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности. - М.-Л.: Энергия, 1965. - 488с. 2. Кричевский Е.С. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов. - М.: Энергия, 1980. - 239с. 3. Мигуценко Р.П., Овчаренко А.И. Исследование модели электромагнитного преобразователя влажности сыпучих материалов // Украинський метрологічний журнал. - 1999. - Вып.2. - С.27–31. 4. Турчин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. - М.: Энергия, 1966. - 690с. 5. Мигуценко Р.П. Адаптивная система управления многозонными проходными технологическими агрегатами: Дис. Канд. Наук: 05.13.07. - Харьков, 2001.- 186с. 6. Шапов П.Ф., Овчаренко А.И., Мигуценко Р.П. Оценка метрологических характеристик электромагнитного преобразователя влажности // Украинський метрологічний журнал. - 1999. - Вып.3. - С.31–34.

Поступила в редколлегию 04.12.07