

О.А. Остапенко, А.А. Голощапов*

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Физика процесса измерения влажности кондуктометрическими методами характеризуется нелинейностью преобразования выходного напряжения на измерительной ячейке, позволяющего определить влажностную характеристику. В предлагаемом способе определения влажности [1] в отличие от известного [2] повышается метрологическая эффективность, а именно точность измерений, за счет устранения нелинейности преобразований.

Влажность материалов в предлагаемом способе определяют за счет измерения диффузионной проводимости. Для этого осуществляют контакт с образцом с помощью двух электродов, расположенных вдоль линии, перпендикулярной волокнам образца, на фиксированном расстоянии друг от друга. Прикладывают напряжение U_i (рис. 1) на измерительную ячейку, состоящую из последовательно включенных влажного материала 1 с дифференциальной проводимостью Y_d и эталонного сопротивления 2 с известной проводимостью Y (рис. 2). Измеряют ток I_i за счет падения напряжения U на эталонном сопротивлении 2 по известной проводимости Y :

$$I_i = UY .(1)$$

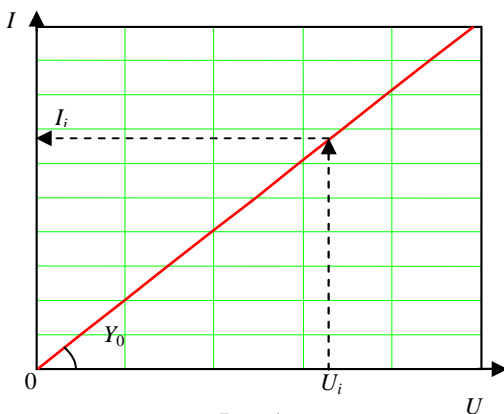


Рис. 1

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «ПГТУ» Е.И. Глинкина.

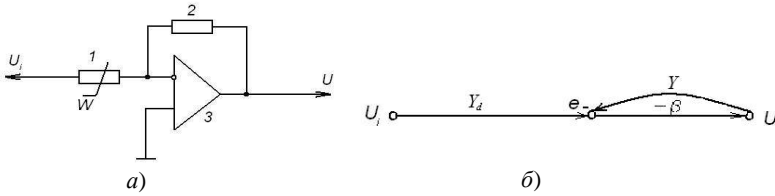


Рис. 2

В устройство для определения влажности по вольт-амперной характеристике (ВАХ) материалов, состоящее из измерительной ячейки 1, организованной из последовательно включенных влажного материала и эталонного сопротивления 2, введен операционный усилитель 3, в отрицательную связь которого включена измерительная ячейка, исследуемый образец материала и эталонное сопротивление, которые соединены соответственно с входом и выходом устройства (рис. 2, а) [3]:

Влажность определяют по диффузионной проводимости Y_0 образца 1, которую находят за счет избыточности усиления β (рис. 2, б) по углу наклона линейной ВАХ (рис. 1) исследуемого материала 1. При этом составляют отношение измеренного на эталонном сопротивлении 2 тока I_i (1) к приложенному напряжению U_i на образец влажного материала 1:

$$Y_0 = I_i / U_i. \quad (2)$$

Линейность ВАХ организуют за счет включения измерительной ячейки в цепь отрицательной обратной связи операционного усилителя 3 с избыточным коэффициентом усиления β (рис. 2, а). Для этого исследуемый образец 1 соединяют между входом устройства с потенциалом напряжения U_i и инверсным e_- входом усилителя 3, а между ним и выходом устройства (выходом операционного усилителя 3) включают эталонное сопротивление 2.

По I и II правилам Кирхгофа составим систему уравнений относительно узлов с потенциалами e_- и U :

$$\begin{cases} e_- (Y_d + Y) = U_i Y_d + U Y; \\ U = -\beta e_-. \end{cases} \quad (3)$$

Выразим из второго уравнения системы (3) инверсный потенциал e_- при избыточности коэффициента β усиления:

$$e_- = -U / \beta = 0 \text{ при } \beta \rightarrow \infty \quad (4)$$

и подставим его значения в первое уравнение, откуда получим:

$$0 = U_i Y_d + U Y.$$

Находим линейную ВАХ предлагаемого устройства (рис. 1) с учетом тока $I_i(1)$:

$$I_i = -U_i Y_d, \quad (5)$$

где знак минус отражает инверсию сигнала усилителем Z .

Для пассивного делителя напряжения без условий (4) первое уравнение системы (3) имеет вид:

$$U(Y_d + Y) = U_i Y_d + 0Y. \quad (6)$$

Пассивному делителю соответствуют условия $Y_d = dI/dU$ и $U_i = U_0$, $UY = I_0$ и $UY_d = I$, после подстановки которых в выражение (7) получим дифференциальное уравнение первого порядка:

$$U_0 dI/dU - I = I_0. \quad (7)$$

Решением уравнения (7) служит экспоненциальная ВАХ в неявном виде:

$$I = I_0 (\exp(U_i - U/U_0) - 1). \quad (8)$$

Оценим нелинейность η ВАХ (8) относительно линейного эквивалента предлагаемого решения, для этого помножим и поделим выражение (8) на напряжения U_i и U_0 и запишем:

$$I = I_i \eta, \quad (9)$$

где нелинейность имеет вид

$$\eta = U_0 / U_i (\exp(U_i - U/U_0) - 1). \quad (10)$$

Из выражения (9) определим методическую погрешность ε известных решений:

$$\varepsilon = I_i - I / I_i = 1 - \eta, \quad (11)$$

которая в предлагаемых решениях отсутствует из-за единичной константы $\eta = 1$, а для прототипа является нелинейной функцией (10) с неявной зависимостью измеряемого напряжения U . В реальных условиях $U_i = U_0 m$, а $U = U_i / 2$ при согласованной нагрузке эталонного сопротивления 2 и образца 1 , тогда нелинейность (10) можно представить как

$$\eta = 1/m(\exp(m/2) - 1). \quad (12)$$

Зависимости $\eta(m)$ и $\varepsilon(m)$ по формулам (12) и (11) сведены в таблицу для $m = 1, 10$.

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20
η	0,65	0,86	1,16	1,60	2,24	3,18	4,59	6,7	9,9	14,7	1101
$\varepsilon, \%$	35	14	-16	-60	-124	-218	-359	-570	-890	-1370	$1,1 \cdot 10^5$

Из таблицы следует, что $\eta = 1$ при $m = 2,5$, что возможно только при избыточном усилении. При $m = 5$ нелинейность в два раза превышает норму, а при $m = 10$ в 14,7 раза выше регламента. На практике $m > 10$, поэтому методическая погрешность ε зонда на пассивном делителе превышает норму на 5 порядков, что приводит к неопределенности измерений как диффузионной проводимости, так и влажности образца при линеаризации ВАХ известных решений.

Таким образом, предлагаемые способ и устройство, в отличие от известных решений, снижают методическую погрешность за счет линейных преобразований по вольт-амперной характеристике исследуемых материалов, что позволяет определять влажность в адаптивном диапазоне с заданной точностью образцовых мер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2374633 РФ. Способ и устройство определения влажности по вольт-амперной характеристике материалов / А.А. Голощапов, Т.В. Матвеева и др. – Бюл. № 33. – 2009.
2. Пат. 2187098 РФ. Способ для определения влажности капиллярно-пористых материалов / И.Г. Летагин, Е.И. Глинкин и др. – Бюл. № 22. – 2002.
3. Технология аналого-цифровых преобразователей : монография / Е.И. Глинкин, М.Е. Глинкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 140 с.