

УДК 621.317.39:578.087

МЕТОД КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА

Куцевол О.М. к.т.н., доцент

Куцевол М.О. к.т.н., доцент

Вінницький національний аграрний університет

Предложен метод высокочастотной диэлектрометрии, в котором обеспечивается независимость результатов измерения влажности не только от нестабильных диэлектрических потерь, но и пористости.

The method of high-frequency measurement of dielectric parameters in which independence results of measurement humidity not only of astable dielectric losses, but also porosity provided is offered

Вступ. Одним із характерних представників матеріалів із нестабільними діелектричними втратами є зерно.

Зерно пшениці та інших злакових культур є складною капілярно-пористою системою зі значним вмістом натуральної білкової речовини. В таких системах волога знаходиться як у вільному, так і в зв'язаному станах. Це, а також те, що зерно як об'єкт контролю характеризується нестабільністю діелектричних втрат і пористості, не дають можливості ефективно застосувати існуючі нині напівавтоматизовані та автоматизовані засоби визначення вологості, похибки яких значно перевищують задекларовані значення.

Саме ця обставина призводить до того, що в переважній більшості галузевих лабораторій для контролю вологості донині використовують трудомісткий та енергозатратний термогравіметричний метод як метод, що дає результати, близькі до об'єктивних. Стандартний термогравіметричний метод контролю вологості [1] передбачає на одне вимірювання мінімум 80 хвилин часу, при цьому абсолютна похибка вимірювання дорівнює $\pm 0,5\%$ при споживаній потужності вологометричної системи 2 кВт. Окрім цього метод можна використовувати тільки в лабораторних умовах.

Відомий електричний метод контролю вологості шляхом вимірювання фазового зсуву між напругами на зразковому елементі і ємнісному давачі та подальшому визначенні вихідної напруги, пропорційній вологості, реалізований в ємнісному вологомірі [2]. Недоліком методу є залежність фазового зсуву між напругами на зразковому елементі і ємнісному давачі вологості від нестабільності діелектричних втрат.

Значно кращі результати дає метод, у якому додатково вимірюють напругу на зразковому елементі, що дає можливість визначити ємнісну складову струму досліджуваного матеріалу, пропорційну вологості [3]. Недоліком вказаного методу є залежність ємнісного струму від нестабільної пористості матеріалу, що зменшує точність вимірів.

Таким чином цілком очевидно є задача зменшення похибки вимірювання вологості не тільки від нестабільних діелектричних втрат, але й від нестабільної пористості (гранулометричного складу) досліджуваного капілярно-пористого матеріалу.

Результати досліджень. Поставлена задача вирішується в методі, у якому в послідовному колі з ємнісного давача вологості і зразкового елемента вимірюють напругу на зразковому елементі, а також додатково вимірюють напруги на вході первинного перетворювача і ємнісному давачі вологості та знаходять відносне значення ємнісного струму матеріалу, яке пропорційне вологості та незалежне від нестабільних діелектричних втрат і пористості [4].

На рис.1 наведена еквівалентна схема послідовного кола з ємнісного давача вологості і чутливого елемента, а на рис.2 – його векторна діаграма, яка пояснює принцип способу вимірювання.

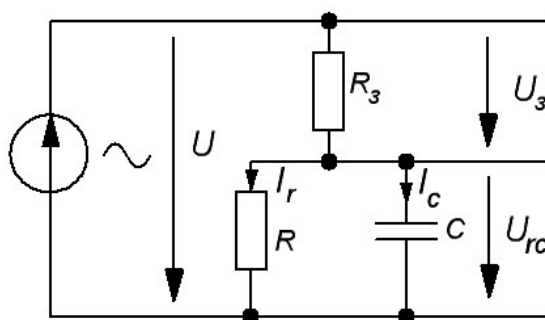


Рис.1. Еквівалентна схема послідовного кола з ємнісного давача вологості і чутливого елемента

Спосіб вимірювання полягає в тому, що в послідовному колі, яке складається із зразкового опору і ємнісного давача вологості, вимірюють напруги на зразковому елементі і ємнісному давачі вологості, а потім додатково вимірюють напругу на вході послідовного кола з ємнісного давача вологості і зразкового елемента.

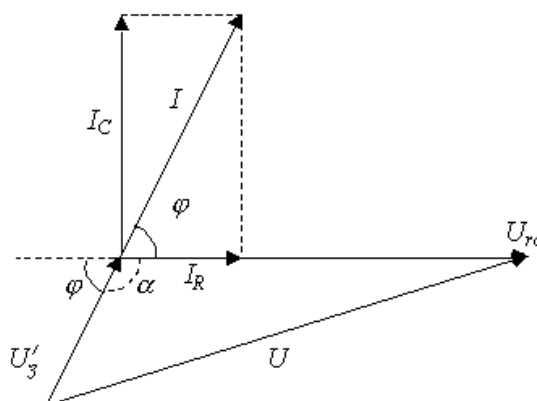


Рис.2. Векторна діаграма еквівалентної схеми послідовного кола з ємнісного давача вологості і чутливого елемента

Зміна вологості матеріалу призводить до зміни довжини векторів I_C та I_R (рис.2), тому ці величини можуть бути інформативними параметрами при вимірюванні вологості. Однак сильна температурна залежність I_R призводить до того, що ця складова загального струму ємнісного давача вологості значним чином впливає на похибку вимірювання вологості. Незалежно від зміни температури є ємнісна складова струму ємнісного давача вологості, яка визначається за виразом:

$$I_C = I \cdot \sin(\varphi) = \frac{U_3}{R_3} \cdot \sin(\varphi),$$

де R_3 – опір зразкового елемента;

φ – фазовий зсув між напругами на зразковому елементі і ємнісному давачі вологості.

Зміна пористості призведе до зміни ємнісної складової струму ємнісного давача вологості, а це в свою чергу призведе до збільшення похибки виміру вологості.

Для вирішення поставленої задачі пропонується знаходити не ємнісний струм ємнісного давача вологості, а його відносне значення, яке незалежне від зміни пористості.

Як видно з рис.2 додатково виміряна напруга U дозволяє знайти кут φ :

$$\varphi = \pi - \arccos \frac{-U^2 + U_3^2 + U_{rc}^2}{2 \cdot U_3 \cdot U_{rc}}.$$

Це в свою чергу дозволяє знайти ємнісну складову струму:

$$I_C = I \cdot \sin(\varphi) = \frac{U_3}{R_3} \cdot \sin(\varphi) = I \cdot \sin \left(\pi - \arccos \frac{-U^2 + U_3^2 + U_{rc}^2}{2 \cdot U_3 \cdot U_{rc}} \right)$$

і її відносне значення пропорційне вологості:

$$W = k \cdot \frac{I_C}{I} = k \cdot \sin \left(\pi - \arccos \frac{-U^2 + U_3^2 + U_{rc}^2}{2 \cdot U_3 \cdot U_{rc}} \right) = k \cdot \sin \left(\arccos \frac{U_3^2 + U_{rc}^2 - U^2}{2 \cdot U_3 \cdot U_{rc}} \right),$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

I_C – модуль ємнісної складової струму ємнісного давача вологості;

I – модуль струму через зразковий елемент;

U – модуль напруги на вході послідовного кола з ємнісного давача вологості і зразкового елемента;

U_3 – модуль напруги на зразковому елементі;

U_{rc} – модуль напруги на ємнісному давачі вологості

Висновки. Аналізуючи вираз для визначення вологості за допомогою еквівалентної схеми рис.1 та векторної діаграми рис.2 вологого матеріалу можна зробити висновок, що точність вимірювання вологості залежить від точності зразкового резистора (з прецезійним активним опором) R_3 та точності вимірювання напруг на елементах перетворювача і його вході.

Враховуючи стан сучасної прецезійної елементної бази, забезпечення необхідної точності опору R_3 не є складним завданням, адже існують прецезійні резистори, точність яких складає 0,01% і вище. З такою ж точністю можна вимірювати і напругу. Таким чином запропонований метод дає можливість визначати вологість з високою точністю.

Коефіцієнт пропорційності k визначається при градуюванні і залежить від особливостей досліджуваного матеріалу (втрат від активної провідності, діелектричних втрат, нестабільної пористості).

Література:

1. ГОСТ 13586.5-93. Зерно. Метод определения влажности. –К.: Госстандарт Украины, 1997. – 9 с.
2. Ёмкостный влагомер: А.с. 734548 СССР, МКИ G01N27/22. / Б. А. Баховец, В. В. Васин, Г. П. Горюнов, В. И. Пастушенко, Я. В. Ткачук (СССР). - № 2465253/18-25; заявлено 16.03.77; опубл. 15.05.80, Бюл. №18. – 6 с.
3. Способ измерения влажности: А.с. 1718089 СССР, МКИ G01N27/22. / Н. А. Куцевол, Ю. В. Крушевский, В. Я. Супьян (СССР). - № 4775221/25; заявлено 04.11.89; опубл. 07.03.92, Бюл. №9. – 4 с.
4. Патент 75700 UA, МКИ G01N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. - №2004032000; Заявл. 18.03.2004; Опубл. 15.05.2006. Бюл. №5. – 2 с.