

О. М. Куцевол, канд. техн. наук, доц.; М. О. Куцевол, канд. техн. наук, доц.;
В. Г. Петрук, д-р. техн. наук, проф.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВОЛОГОГО ЗЕРНА

Запропоновано метод визначення діелектричних параметрів зерна: тангенса кута діелектричних втрат, модуля відносної діелектричної проникності, дійсної та уявної складових комплексної відносної діелектричної проникності, які є функціями вологості і дозволяють покращити метрологічні характеристики багатопараметричних вологомірів.

Вступ

Існуючі нині прилади контролю вологості та вологометричні системи, що базуються на електричних методах вимірювання вологості, відповідають задекларованим похибкам під час контролю матеріалів, що мають стабільні пористість і діелектричні втрати. Зерно має нестабільні пористість і хімічний склад [1, 2, 3]. Ці збурювальні параметри зерна залежать від кліматичних особливостей під час вегетації, від кількості та складу добрив і засобів захисту, від складу ґрунту та інших факторів. Помітний вплив на сумарну похибку діелектрометричних вологомірів чинять діелектричні втрати і втрати за рахунок прямої провідності, які значною мірою залежать від хімічного складу зерна.

Основними діелектричними параметрами зерна є відносна діелектрична проникність та тангенс кута діелектричних втрат.

Відносна діелектрична проникність показує у скільки разів збільшується ємність чутливого елемента у разі заповнення його досліджуваним матеріалом

$$\varepsilon = \frac{C_y}{C}, \quad (1)$$

де C_y — ємність чутливого елемента із досліджуваним матеріалом (уявна ємність); C — ємність незаповненого чутливого елемента.

Результати досліджень

Відомо [4], що відносна діелектрична проникність — величина комплексна, значення якої залежить від діелектричних втрат та втрат прямої провідності

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon' - j\varepsilon'', \quad (2)$$

де ε' — дійсна частина комплексної відносної діелектричної проникності; ε'' — уявна частина комплексної відносної діелектричної проникності.

Під дією гармонічної напруги в досліджуваному зразку зерна виникає струм

$$\begin{aligned} \dot{I}_m &= \frac{U_m}{Z_{C1}} = \frac{U_m}{\frac{1}{j\omega\varepsilon C}} = U_m j\omega\varepsilon C = U_m j\omega C (\varepsilon' - j\varepsilon'') = \\ &= U_m j\omega C \varepsilon'' + jU_m \omega C \varepsilon' = U_m (g + jb), \end{aligned} \quad (3)$$

де Z_{C1} — комплексний опір заповненого чутливого елемента; ω — кутова частота гармонічної напруги.

Таким чином, у виразі (3):

— дійсна складова комплексної амплітуди струму $I_d = U_m g = U_m \omega C \varepsilon''$ є струмом втрат активної (прямої) провідності;

— уявна складова комплексної амплітуди струму $I_y = U_m b = U_m \omega C \varepsilon'$ є струмом діелектричних втрат, викликаних наявністю поляризаційних ефектів у вологому зерні пшениці.

Складові комплексної відносної діелектричної провідності і тангенс кута діелектричних втрат пов'язані такою залежністю [5, 6]:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (4)$$

Модуль комплексної відносної діелектричної проникності:

$$\varepsilon = \sqrt{(\varepsilon')^2 + (\varepsilon'')^2} \quad (5)$$

Для знаходження ε' , ε'' і $\operatorname{tg} \delta$ зерна можна скористатись методами, описаними в [6].

Еквівалентна електрична схема первинного перетворювача для дослідження зерна показана на рис. 1, а суміщена векторна діаграма струмів і напруг — на рис. 2.

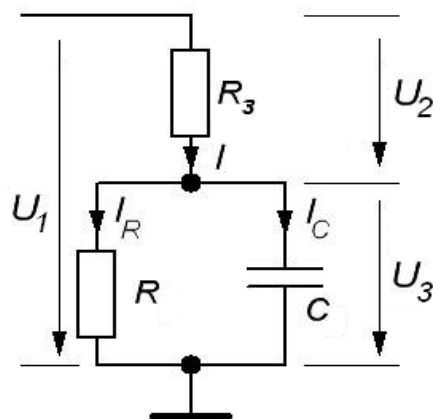


Рис. 1. Еквівалентна електрична схема первинного перетворювача

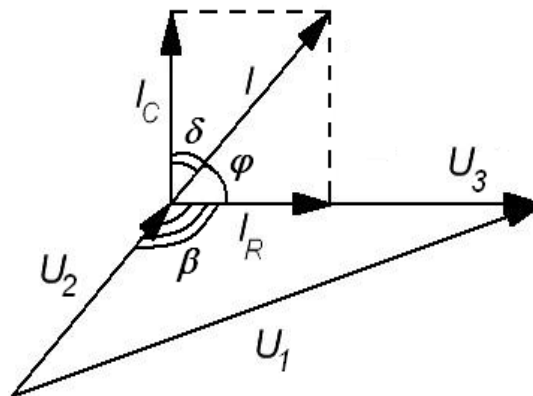


Рис. 2. Суміщена векторна діаграма струмів і напруг еквівалентної електричної схеми первинного перетворювача

З рис. 2. очевидно, що кут ϕ може знаходитись в межах $0 < \phi < \frac{\pi}{2}$.

Із трикутника, утвореного напругами U_1 , U_2 , U_3 , знаходимо кут β

$$\beta = \arccos \frac{U_2^2 + U_3^2 - U_1^2}{2U_2U_3} \quad (6)$$

та кут ϕ

$$\phi = \pi - \beta = \pi - \arccos \frac{U_2^2 + U_3^2 - U_1^2}{2U_2U_3} \quad (7)$$

Модуль струму перетворювача

$$I_m = \frac{U_2}{R_3} \quad (8)$$

де R_3 — зразковий резистор перетворювача.

За відомих значень ϕ та I легко знаходиться дійсна і уявна складові комплексного сумарного струму

$$I_{mR} = I_m \cos \phi; \quad (9)$$

$$I_{mC} = I_m \sin \phi. \quad (10)$$

Використовуючи вирази (9) і (10), знаходимо тангенс кута діелектричних втрат

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{I_{mR}}{I_{mC}}. \quad (11)$$

Уявна ємність чутливого елемента із досліджуванним зерном на будь-якій частоті

$$C_y = \frac{I_m}{U_{m3}\omega} = \frac{I_m}{2\pi f U_{m3}}. \quad (12)$$

Враховуючи вирази (1), (4) і (5), знаходимо дійсну і уявну складові комплексної відносної діелектричної проникності:

$$\varepsilon' = \sqrt{\frac{\varepsilon^2}{1 + \operatorname{tg}^2\delta}}; \quad (13)$$

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \cdot \operatorname{tg}\delta. \quad (14)$$

Висновок

Запропонований метод дозволяє легко виміряти інформативні параметри вимірювального перетворювача U_1 , U_2 , U_3 , за допомогою яких можна знайти допоміжні інформативні параметри φ , I , I_C , I_R та C_y , а через них – діелектричні параметри $\operatorname{tg}\delta$; ε , ε' і ε'' . Отримані діелектричні параметри залежать від вологості зерна, тому можуть бути використані під час розробки інтегральних методів контролю з метою покращення метрологічних характеристик багатопараметричних вологомірів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент 75699 UA, МКІ G01N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. — № 2004031999; заявл. 18.03.2004; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. — 3 с.
2. Патент 75700 UA, МКІ 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.
3. Патент 75443 UA, МКІ G01N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. — № 2004031485; заявл. 01.03.2004; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. — 2 с.
4. Кричевский Е. С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов / Е. С. Кричевский, А. Г. Волченко, С. С. Галушкин. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 136 с.
5. Бугров А. В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества / А. В. Бугров. — М. : Машиностроение, 1982. — 94 с.
6. Куцевол Н. А. Методы и средства измерения влажности хлебобулочных изделий : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / Николай Александрович Куцевол. — Винница, 1991. — 168 с. — Библиогр. : С. 146—152.

Рекомендована кафедрою екології і екологічної безпеки

Стаття надійшла до редакції 19.09.11
Рекомендована до друку 21.10.11

Куцевол Олег Миколайович — доцент, **Куцевол Микола Олександрович** — доцент.

Кафедра тракторів, автомобілів і електротехнічних систем Вінницького національного аграрного університету, Вінниця;

Петрук Василь Григорович — завідувач кафедри екології і екологічної безпеки Вінницького національного технічного університету, Вінниця