

ДИЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИЙ ВОЛОГОМІР ЗЕРНА

Відомі засоби контролю вологості зерна, які використовують метод високочастотних вимірів відносної діелектричної проникності, не захищені від основних збурювальних факторів (нестабільних діелектричних втрат, пористості та гранулометричного складу), тому мають похибки вимірювання, які значно перевищують задекларовані значення.

В статті описано удосконалений варіант діелектричного вологоміра, який за мінімальної кількості структурних елементів має досить непогані метрологічні характеристики, обумовлені використанням методу визначення ємнісної складової струму чутливого елемента, який знаходиться через інформативні параметри вимірювального перетворювача, що складається із послідовно з'єднаних зразкового та чутливого елементів.

Ключові слова: вологість, контроль, зерно, перетворювач, модель, чутливий елемент, фазовий зсув.

О.М. KUTSEVOL

Vinnytsia, Ukraine

DIELECTRIC MEASURING INSTRUMENT OF HUMIDITY OF GRAIN

Known control devices of humidity of grain which use a method of high-frequency measurements of relative dielectric permeability not protected from the major parasitic factors (unstable dielectric losses, porosity and particle size distribution) therefore have measurement errors which considerably exceed the declared values.

In articles are described an improved version of the dielectric measuring instrument of humidity which at the minimum quantity of structural elements has quite good metrological characteristics caused by use of a method of definition of a capacitor component of current of a sensitive element which is by means of informative parameters of the measuring converter consisting of consistently connected model and sensitive elements

Keywords: humidity, control, grain, converter, model, sensitive element, phase shift.

Постановка задачі

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

У зв'язку із цим пошук нових рішень і розробка конкурентоспроможних засобів багатопараметричної діелектрометрії та, у першу чергу, вимірювальних перетворювачів, здатних до інструментального контролю в польових умовах, і дослідження нових можливостей їхнього застосування в технологічному контролі, є актуальною проблемою, спрямованою на підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва.

Аналіз досліджень та публікацій

Відомі "класичні" засоби багатоконпонентної діелектрометрії, які використовуються для дослідження діелектричних властивостей матеріалів у лабораторних умовах (вимірювальні мости та аналізатори електричних кіл), є дорогими і трудомісткими, тому не використовуються у технологічному контролі. Закордонні аналоги, що з'явилися останнім часом, двопараметричних діелектрометричних вологомірів, які використовують частотний метод виміру (*WET-сенсор* англійської компанії "Delta-T Devices Ltd.", *T5* фірми США "Decagon Devices Inc."), а також дорогі вимірювачі, що використовують метод просторово-часової рефлектометрії – *TDR* (прилади Easy Test Інституту агрофізики Польської академії наук, *TDR-система* англійської компанії "Campbell Scientific Ltd.") стимулюють створення вітчизняних конкурентоспроможних розробок.

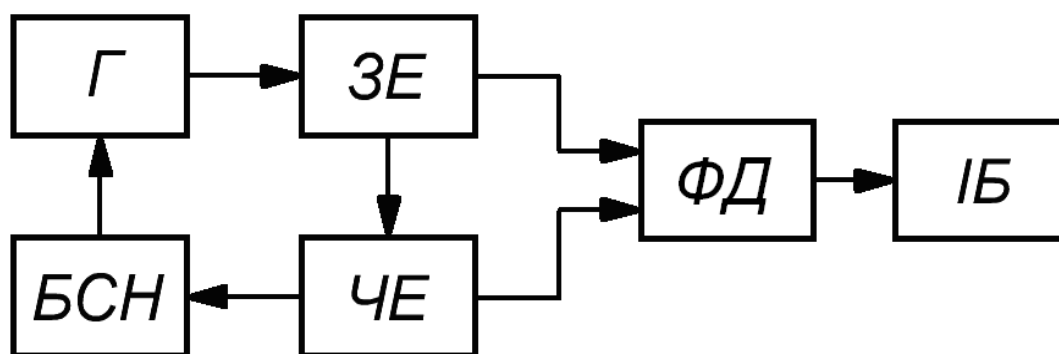


Рис. 1. Структура вологоміра із стабілізацією напруги на чутливому елементі

Відома структура вологоміра [1] (рис. 1), що складається із послідовно з'єднаних зразкового

елемента $ЗЕ$ і ємнісного перетворювача (ємнісного чутливого елемента вологості), увімкнених на виході височастотного генератора (генератора гармонічної напруги Γ), фазового детектора $\PhiД$ до виходу якого під'єднаний індикаційний блок $ІБ$, а також блок зворотного зв'язку стабілізації напруги $БСН$ (блок зворотного зв'язку стабілізації напруги на ємнісному чутливому елементі). Недоліком вказаного вологоміра є нелінійність функції перетворення фазового детектора, а також велика залежність результату вимірювання від нестабільних діелектричних втрат (які визначаються не тільки особливістю хімічного складу ґрунту, а навіть кліматичними особливостями місцевості, де росте рослина), пористості та гранулометричного складу, що призводить до збільшення похибок вимірювання.

Формулювання цілей

Основною метою проведеного дослідження є розроблення простого та надійного засобу контролю вологості зерна на базі удосконаленого діелектрометричного методу.

Вирішення завдання

В основу даного пристрою покладене завдання створення ємнісного вологоміра, в якому, за рахунок введення нових блоків та зв'язків між ними, підвищується точність вимірів шляхом усунення впливу нелінійності функції перетворення фазового детектора на похибку вимірів.

Ця задача досягається тим, що в ємнісному вологомірі додатково введені вольтметр амплітудного значення напруги $В$, цифровий фазометр $\PhiФ$, цифровий пристрій $\PhiП$ та індикаційний блок $ІБ$, причому вольтметр амплітудного значення напруги своїм входом під'єднаний до зразкового елемента, а цифровий фазометр – до зразкового елемента і ємнісного первинного перетворювача вологості, виходи вольтметра амплітудного значення напруги і цифрового фазометра під'єднані до входу цифрового пристрою, вихід якого з'єднаний з входом блоку індикації.

На рис. 2 наведена структурна схема ємнісного вологоміра, на рис. 3, а – електрична еквівалентна схема, а на рис. 3, б – векторна діаграма напруг і струмів вимірювального перетворювача вологості [2–5].

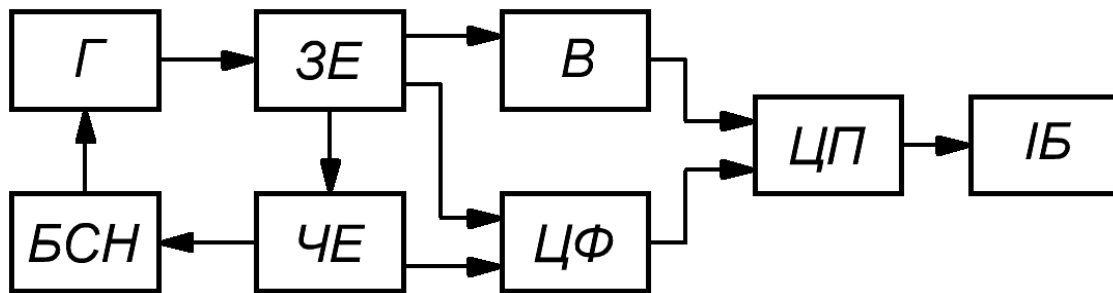


Рис. 2. Структурна схема ємнісного вологоміра

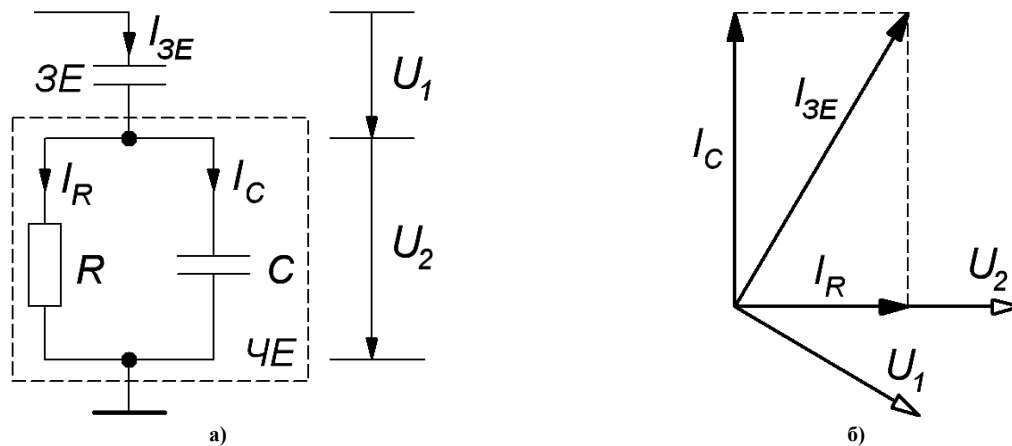


Рис. 3. Електрична еквівалентна схема вимірювального перетворювача (ВП) ємнісного вологоміра (а) та векторна діаграма напруг і струмів вимірювального перетворювача вологості (б)

При дії напруги від генератора Γ гармонічної напруги до послідовного кола, утвореного зразковим елементом $ЗЕ$ і ємнісним чутливим елементом вологості $ЧЕ$ на них виділяються напруги U_1 і U_2 , що подаються на входи цифрового фазометра $\PhiФ$, який вимірює фазовий зсув між ними. Окрім цього напруга U_1 зразкового елемента подається на вхід вольтметра амплітудного значення напруги $В$. Інформація про амплітуду U_1 та фазовий зсув φ між U_1 і U_2 подається на вхід цифрового пристрою $\PhiП$, де перетворюється в сигнал, пропорційний вологості матеріалу, що надходить на вхід індикаційного блоку вологості $ІБ$. Напруга U_2 з ємнісного чутливого елемента вологості надходить на вхід блоку зворотного зв'язку стабілізації напруги $БСН$ на ємнісному чутливому елементі вологості та порівнюється з еталонним значенням. Сигнал різниці з $БСН$ на ємнісному первинному перетворювачі вологості подається на вхід Γ і таким чином регулює амплітуду цієї напруги, щоб напруга U_2 була стабільною.

За виконання умови $U_2 = \text{const}$, струм I_C , що протікає через ємнісний елемент C на еквівалентній схемі рис. 3, а, буде залежати тільки від ємності цього елемента, яка визначається вологістю матеріалу і не залежить від опору діелектричних втрат R . При цьому вологість визначається за виразом

$$W = k \cdot I_C = k \cdot I_{3E} \cdot \cos \varphi = k \cdot \frac{U_1}{Z_{3E}} \cdot \cos \varphi,$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який визначається під час градування;
 I_C – значення ємнісної складової струму ємнісного первинного перетворювача вологості;
 I_{3E} – струм зразкового елемента;
 U_1 – напруга зразкового елемента;
 Z_{3E} – повний опір зразкового елемента;
 φ – фазовий зсув між напругами U_1 і U_2 .

Вологомір (рис. 4) дає інваріантність до нестабільних діелектричних втрат та не захищає від нестабільних пористості та гранулометричного складу. Тому необхідно застосовувати двочастотний вологомір на базі методу визначення ємнісної складової струму.

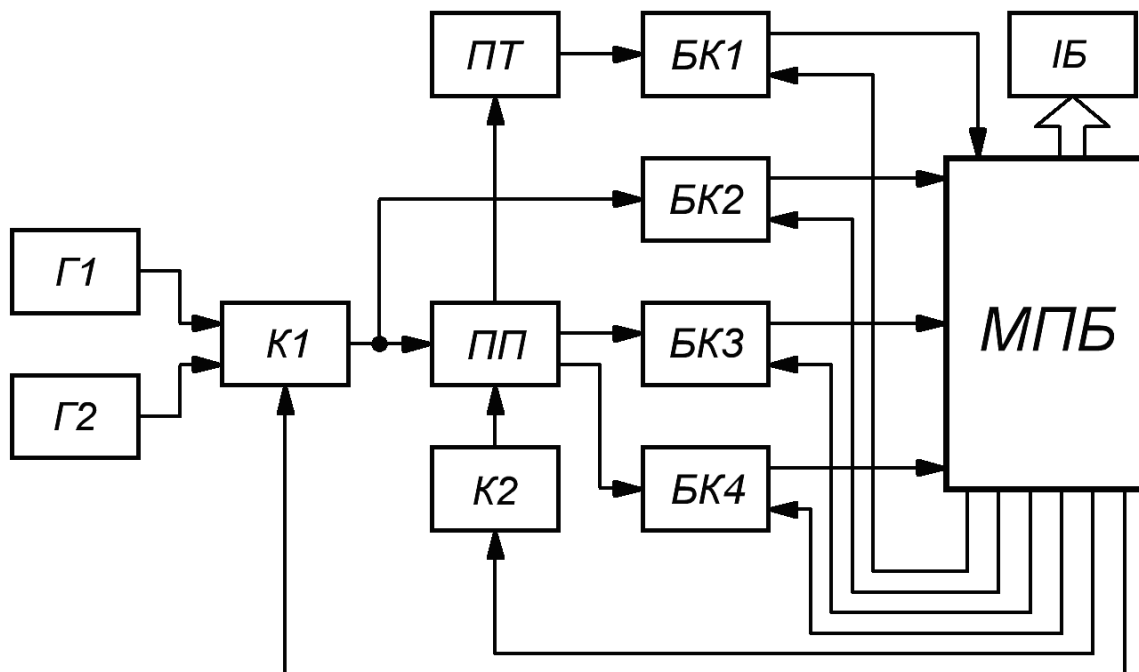


Рис. 4. Структурна схема засобу контролю вологості слабо зволоженого зерна

Структурна схема даного вологоміра передбачає наявність двох генераторів гармонічних коливань з вихідними сигналами f_1 і f_2 , оскільки в основу побудови засобу контролю вологості покладений двочастотний метод визначення вологості. Головним елементом засобу контролю вологості є первинний перетворювач, в якому інформація про вологість перетворюється в пропорційний електричний сигнал. Аналогові гармонічні сигнали $U_{Г1}$ і $U_{Г2}$ з частотами f_1 і f_2 відповідно за допомогою комутатора $K1$ мають по черзі подаватись на первинний перетворювач $ПП$, що утворений послідовно з'єднаними зразковим та чутливим елементами ємнісного типу, в якому знаходиться досліджуваний зразок зерна. Інформативні параметри: напруга генератора U_G , напруга зразкового елемента U_1 та напруга чутливого елемента U_2 через буферні каскади $БК$ потрапляють на мікроконтролер.

Для усунення похибки засобу контролю за рахунок зміни температури навколишнього середовища до його структурної схеми додається перетворювач температури $ТТ$, інформація з якого у вигляді рівня напруги потрапляє на мікроконтролер.

Для виконання операції встановлення "нуля" в $ПП$ передбачене коло імітації порожнього чутливого елемента, яке вмикається комутатором $K2$.

Контрольні випробування діелектрометричного вологоміра зерна проводились на підприємствах аграрної галузі Вінницької області термогравіметричним методом, де була використана така апаратура:

1. Шафа сушильна СЭШ-3МУ.
2. Апарат для прискореного охолодження зразків зерна після попереднього підсушування типу АУО-1.
3. Лабораторні ваги загального призначення з допустимою похибкою зважування $\pm 0,01$ грама.
4. Бюкси металеві з кришками.

- 5. Ексікатор Э-240.
 - 6. Годинник.
- Випробування проводилось у відповідності з ГОСТ 13586.5-93.
 Результати випробувань приведені у табл. 1.

Таблиця 1

Дані для розрахунку імовірнісно-статистичних характеристик засобу контролю вологості

| | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>i</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $W_i, \%$ | 17,2 | 17,2 | 17,8 | 17,2 | 17,2 | 17,8 | 17,1 | 18,3 | 17,4 | 17,1 |
| $W_{ei}, \%$ | 17,27 | 17,14 | 17,87 | 17,21 | 17,18 | 17,73 | 17,17 | 18,35 | 17,46 | 17,05 |
| <i>i</i> | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| $W_i, \%$ | 17,4 | 16,8 | 16,9 | 16,8 | 18,0 | 18,0 | 17,4 | 17,3 | 16,9 | 17,4 |
| $W_{ei}, \%$ | 17,34 | 16,86 | 16,92 | 16,74 | 18,05 | 18,01 | 17,43 | 17,35 | 16,87 | 17,36 |
| <i>i</i> | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| $W_i, \%$ | 17,4 | 17,6 | 18,2 | 17,4 | 18,4 | 17,9 | 16,7 | 18,4 | 17,5 | 17,5 |
| $W_{ei}, \%$ | 17,38 | 17,55 | 18,22 | 17,41 | 18,47 | 17,94 | 16,76 | 18,38 | 17,55 | 17,48 |

Середньоквадратична похибка вимірювання вологості:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (W_i - W_{ei})^2},$$

де W_e – значення вологості зерна, виміряне засобом контролю вологості.

В результаті опрацювання даних табл. 1 отримуємо $\sigma_e = 0,049$.

Отже, в результаті контрольних випробувань встановлено, що середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання складає 0,049% вологості.

Визначимо довірчий інтервал результатів вимірювань при $p = 0,95$, $t_\gamma = 2,045$

$$\bar{W} \pm t_\gamma \cdot \sigma_e = (17,5 \pm 0,182)\%.$$

Таким чином абсолютна похибка вимірювання не перевищує 0,182% вологості.

При цьому приведена похибка

$$\delta_n = \frac{\Delta W}{W_n} = 0,0101 = 1,01\%.$$

З генеральної сукупності результатів вимірювання вологості зерна пшениці сорту “Колос Миронівщини”, одержаних термогравіметричним методом, візьmemo вибірку з тридцяти значень вологості і висуваємо гіпотезу про нормальний закон їх розподілу.

Перевірку міри узгодженості дослідного розподілу з теоретичним робимо графоаналітичним методом із використанням інтеграла Лапласа. За отриманими значеннями будується графік $y_i(W_i)$ (рис. 5).

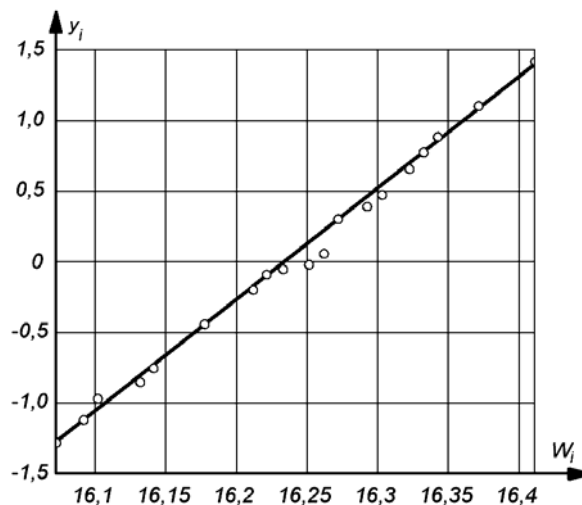


Рис. 5. Ілюстрація використання графоаналітичного методу для вибірки зразків зерна

Оскільки графік $y_i(W_i)$ за формою наближається до прямої, то дана вибірка зразків зерна не суперечить нормальному закону розподілу.

Висновки

Таким чином, запропонований пристрій реалізує метод діелектрометричного контролю вологості, що має високу захищеність від нестабільних діелектричних втрат, пористості і гранулометричного складу зерна.

Проведені дослідження експериментального зразка вологоміра у порівнянні із стандартним методом показали, що його метрологічні характеристики, а саме: середньоквадратична похибка вимірювання вологості дорівнює 0,049%, абсолютна похибка не перевищує 0,182%, приведена – 1,01%, дозволяють проводити контроль вологості із високою достовірністю.

Література

1. Егоров А.Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / Алексей Егорович Егоров, Геннадий Никофорович Азаров, Александр Викторович Коваль ; [под ред. В. Г. Воронова]. – Харьков : Вища школа, 1986. – 240 с.
2. Декл. пат. 14659 Україна, МПК G 01 N 27/22. Ємнісний вологомір / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. ; заявник патентовласник Вінницьк. націон. техн. ун-т. – №u200511929 ; заявл. 12.12.05 ; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5. 3 с.
3. Куцевол М. О. Двочастотний метод вимірювання вологості капілярно-шпаристих матеріалів зі значними втратами / М. О. Куцевол, О. М. Куцевол // Контроль і управління в складних системах : міжнар. наук.-техн. конф., 3-5 лют. 1999 р. : тези доп. – Вінниця : ВПІ, 1999. – С. 185–188.
4. Куцевол О. М. Метод визначення ємності матеріалу зі значними діелектричними втратами / О. М. Куцевол, М. О. Куцевол // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : IX наук.-техн. конф., 30 трав.–2 черв. 2002 р. : тези допов. – Хмельницький, 2002. – С. 86–88.
5. Пат. 75699 Україна, МПК G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. ; заявник патентовласник Вінницьк. націон. техн. ун-т. – №2004031999 ; заявл. 18.03.04 ; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5. 3 с.

References

1. Egorov A. E. Issledovanie ustroystv i sistem avtomatiki metodom planirovaniya eksperimenta. Kharkov, Vischa shkola, 1986. – 240 c.
2. 2. Dekl. pat. 14659 Ukraine, MPK G01N27/22. Yemnisnyi volohomir / Podzharenko V. O., Kutsevol M. O., Kutsevol O. M. – № u200511929; Zajavl. 12.12.05; Opubl. 15.05.06, Biul. – №5. – 3 c.
3. Kutsevol M. O., Kutsevol O. M. Dvochastotnyi metod vymiriuvannya volohosti kapiliarno-shparystykh materialiv zi znachnymy vtratamy. Kontrol i upravlinnia v skladnykh systemakh: mizhnar. nauk.-tekhn. konf. Vinnytsia, VPI, 1999. – С. 185–188.
4. Kutsevol O. M., Kutsevol M. O. Metod vyznachennia yemnosti materialu zi znachnymy dielektrychnymy vtratamy. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : IX nauk.-tekhn. konf.. Khmelnytskyi, 2002. – С. 86–88.
5. 5. Pat. 75699 Ukraine, MPK G01N27/22. Sposib vymiriuvannya volohosti / Podzharenko V. O., Kutsevol M. O., Kutsevol O. M. – № 2004031999 ; Zajavl. 18.03.04; Opubl. 15.05.06, Biul. – №5. – 3 c.

Рецензія/Peer review : 26.1.2015 р.

Надрукована/Printed : 15.4.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Паламарчук І. П.