ПРИЛАДИ

УДК 53.09

А.В. Рудик, к.т.н., доц.
Вінницький державний технічний університет

КОМУТАЦІЙНИЙ АМПЛІТУДНО-ФАЗОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ РЕЧОВИН

Доведено, що повну вологість досліджуваної речовини можна оцінити за вмістом в ній вільної вологи. Запропоновано вдосконалений комутаційний амплітудно-фазовий метод вимірювання вологості речовин, в якому можна виключити вплив на результат вимірювання неінформативних складових повного опору датчика – опору діелектричних втрат та еквівалентної ємності пустого датчика. Такий метод призначений для контролю вологості матеріалів з нестабільними втратами та шпаристістю (при вологості до 80 %). Розроблено структурну схему вологоміру, в якому реалізується запропонований комутаційний амплітудно-фазовий метод вимірювання. Такі вологоміри ефективно використовувати для неперервного контролю в поточному виробництві.

Сучасний етап економічного розвитку характеризується підвищенням уваги до питань якості продукції. Тому виникає необхідність у задоволенні потреб народного господарства в забезпеченні новими, більш сучасними та якісними приладами. Особливого значення ця задача набуває в питаннях контролю та вимірювання технологічних параметрів у сільському господарстві та харчовій промисловості.

Більшість технологічних процесів у відзначених галузях народного господарства потребують оперативного контролю вологості. В наш час на виробничих підприємствах найбільш поширеним є метод термогравіметрії. Однак цей метод має суттєві недоліки, такі як трудомісткість та неоперативність контролю.

Одним з шляхів подолання цих недоліків є застосування діелькометричного методу вимірювання. Однак при вимірюванні вологості капілярно-шпаристих матеріалів (речовин) виникають значні похибки, обумовлені непостійністю діелектричних втрат та шпаристості. При цьому всі намагання виміряти діелектричну проникність на одній частоті можуть призвести до неоднозначних результатів. Вимірювання відносної діелектричної проникності на двох частотах дозволяють значно зменшити похибку від непостійності шпаристості (або густини упаковки матеріалу в датчику). Однак при цьому не виключається похибка від непостійності діелектричних втрат. Тому найбільш поширені серед діелькометричних методів високочастотні резонансні методи вимірювання володіють суттєвим недоліком – значним збільшенням похибки вимірювання при збільшенні діелектричних втрат в досліджуваній речовині. Одним з шляхів подолання відзначеного недоліку є застосування методу визначення складових повного опору досліджуваної речовини.

Труднощі побудови високочастотних ємнісних вологомірів, що реалізують діелькометричний метод вимірювання, полягають в тому, що волога в капілярно-шпаристих матеріалах знаходиться як у вільному, так і в зв'язаному стані, а електричні властивості вільної та зв'язаної вологи різко відрізняються. На практиці більше уваги приділяють вимірюванню вільної вологи, адже саме вона визначає більшість якісних параметрів як готової продукції, так і напівфабрикатів та сировини. Доведемо, що вимірявши кількість вільної вологи в досліджуваній речовині, можна оцінити повну кількість вологи в цій речовині.

Існує точка зору [1], що діелькометричні (ємнісні) вологоміри не можна використовувати для аналізу вологості деяких речовин (наприклад, хліба), тому що вони реагують на вільну вологу, а в хлібі значна кількість вологи знаходиться у зв'язаному стані. Повну кількість вологи, що міститься у деякій визначеній масі такої речовини, визначають співвідношенням:

$$B = B_B + B_З , \qquad (1)$$

де B_B – маса вільної вологи; $B_З$ – маса зв'язаної вологи.

Вологість такої речовини визначають у відносних одиницях:

$$W = \frac{B}{M} , \qquad (2)$$

де M – маса досліджуваної речовини.

Користуючись співвідношеннями (1) та (2), можна записати:

$$W = \frac{B_B}{M} + \frac{B_З}{M} = W_B + W_З, \tag{3}$$

де W_B – часткова вологість за вмістом вільної вологи; $W_З$ – часткова вологість за вмістом зв'язаної вологи.

Відомо [2, 3], що співвідношення вільної та зв'язаної вологи в хлібі та деяких інших речовинах для визначених інтервалів часу є величиною сталою, тобто:

$$k = \frac{B_B}{B_З} = \frac{MW_B}{MW_З} = \frac{W_B}{W_З}. \tag{4}$$

Таким чином, часткова вологість за вмістом зв'язаної вологи визначається співвідношенням:

$$W_З = \frac{W_B}{k}. \tag{5}$$

Підставивши співвідношення (5) у співвідношення (3), отримаємо:

$$W = W_B + \frac{W_B}{k} = W_B\left(1 + \frac{1}{k}\right) = W_B\frac{k+1}{k}. \tag{6}$$

Отже, вимірявши за допомогою ємнісного вологоміру часткову вологість за вмістом вільної вологи W_B, можна оцінити повну вологість хліба або іншої речовини, волога в якій знаходиться у двох станах – вільному та зв'язаному.

Чутливим елементом вологоміру є конденсатор, початкова ємність якого

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}, \tag{7}$$

де ε_0 – абсолютна діелектрична проникність вакууму (повітря); S – площа електродних пластин; d – відстань між електродними пластинами.

При введенні в міжелектродний простір досліджуваної речовини ємність чутливого елемента збільшується, тобто:

$$C_1 = \varepsilon \cdot C, \tag{8}$$

де C_1 – ємність чутливого елемента з досліджуваним матеріалом; ε – відносна діелектрична проникність речовини, що знаходиться в міжелектродному просторі чутливого елемента.

Як видно з співвідношення (8), відносна діелектрична проникність ε характеризує ступінь збільшення ємності чутливого елемента при введенні в нього досліджуваної речовини.

Ємність чутливого елемента з досліджуваною речовиною, як вже було відзначено, дуже сильно залежить від діелектричних втрат і в загальному випадку може бути представлена комплексною величиною:

$$\dot{C}_1 = C_1' - jC_1'' = \frac{S}{d}(\varepsilon' - j\varepsilon''), \tag{9}$$

де C_1' – ємність, що визначає значення заряду на електродних пластинах та пропорційна вологості матеріалу; C_1'' – ємність, яка обумовлена струмом втрат в досліджуваному матеріалі; ε' – дійсна складова комплексної діелектричної проникності, яка пропорційна струмам зміщення; ε'' – уявна складова комплексної діелектричної проникності, що характеризує втрати енергії в досліджуваній речовині.

Ємність C_1, на яку реагує вологомір, є модулем комплексної ємності $\dot{C}_1$ та суттєво залежить від діелектричних втрат, тобто:

$$C_1 = \sqrt{(C_1')^2 + (C_1'')^2} = \frac{S}{d}\sqrt{(\varepsilon')^2 + (\varepsilon'')^2} = \frac{S\varepsilon'}{d}\sqrt{1 + tg^2\delta} = \frac{S\varepsilon'}{d\cos\delta}, \tag{10}$$

де $tg\,\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$ – тангенс кута діелектричних втрат.

Таким чином, при вимірюванні вологості капілярно-пшаристих матеріалів зі значними та нестабільними втратами резонансні методи заміщення [4] непридатні, тому що при заповненні чутливого елемента досліджуваною речовиною добротність резонансного контуру буде дуже малою. В цьому випадку визначення моменту резонансу пов'язано зі значними неточностями, які призводить до великих похибок при визначенні вологості.

У цьому випадку доцільно користуватися високочастотним амплітудно-фазовим методом вимірювання вологості, який полягає у визначенні складових повного опору досліджуваного

матеріалу (речовини). Теоретичні основи високочастотного амплітудно-фазового методу вимірювання вологості були розглянуті в роботах [5, 6]. Однак суттєвим недоліком цих робіт є те, що в них визначалися складові повного опору досліджуваної речовини в датчику, а не складові повного опору саме досліджуваної речовини (без врахування впливу датчика). Тому в запропонованій роботі розглянемо вдосконалений високочастотний амплітудно-фазовий метод вимірювання вологості досліджуваної речовини, при застосуванні якого можна виключити вплив на результат вимірювання неінформативних складових повного опору датчика.

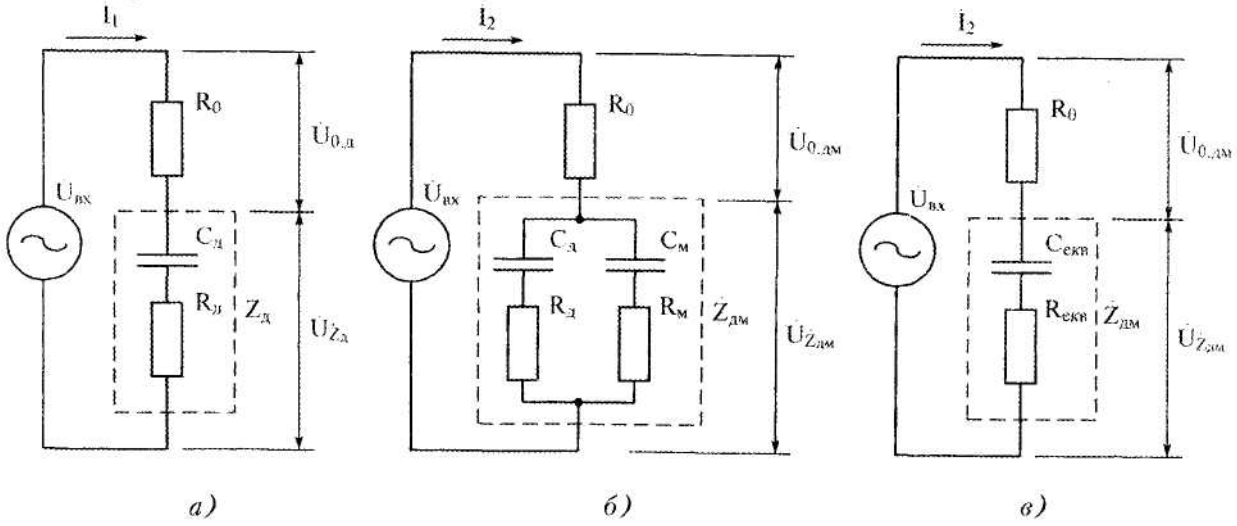
Узагальнена еквівалентна схема пустого вимірювального перетворювача, яка складається зі зразкового елемента Z_0 та ємнісного чутливого елемента (послідовно з'єднаних опору діелектричних втрат R_∂ та еквівалентної ємності C_∂ пустого датчика), наведена на рис. 1, *а*.

Як зразковий елемент можуть використовуватися резистор з опором R_0, конденсатор ємністю C_0 та котушка з індуктивністю L_0. Розглянемо варіант використання резистора як зразкового елемента.

Вхідна напруга $\dot{U}_{вх} = U_{вх} e^{j\varphi_{вх}}$ викликає в зразковому елементі струм

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{вх}}{R_0 + \dot{Z}_\partial}, \tag{11}$$

де $\dot{Z}_\partial = R_\partial - j X_{C_\partial}$ – комплексний опір пустого ємнісного чутливого елемента (датчика); $X_{C_\partial} = \dfrac{1}{\omega C_\partial}$ – ємнісний опір еквівалентної ємності пустого датчика.



а) *б)* *в)*

Рис. 1. Еквівалентні схеми пустого вимірювального перетворювача (а) та вимірювального перетворювача з досліджуваним матеріалом (б, в)

Використовуючи співвідношення (11), можна визначити напруги на зразковому резистивному елементі та пустому ємнісному датчику, які відповідно дорівнюють:

$$\dot{U}_{0.\partial} = R_0 \dot{I}_1 = \frac{R_0 \dot{U}_{вх}}{R_0 + R_\partial - j X_{C_\partial}} = \frac{U_{вх} R_0}{\sqrt{(R_0 + R_\partial)^2 + X_{C_\partial}^2}} \times e^{j\left\{\varphi_{вх} + arctg\frac{X_{C_\partial}}{R_0 + R_\partial}\right\}}; \tag{12}$$

$$\dot{U}_{\dot{Z}_\partial} = \dot{Z}_\partial \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{вх}(R_\partial - j X_{C_\partial})}{R_0 + R_\partial - j X_{C_\partial}} = \frac{U_{вх}\sqrt{R_\partial^2 + X_{C_\partial}^2}}{\sqrt{(R_0 + R_\partial)^2 + X_{C_\partial}^2}} \times e^{j\left\{\varphi_{вх} - arctg\frac{X_{C_\partial}}{R_\partial} + arctg\frac{X_{C_\partial}}{R_0 + R_\partial}\right\}}. \tag{13}$$

Знайдемо відношення амплітуд цих напруг та фазовий зсув між ними:

$$A_1 = \frac{\left|\dot{U}_{\dot{Z}_\partial}\right|}{\left|\dot{U}_{0.\partial}\right|} = \frac{\sqrt{R_\partial^2 + X_{C_\partial}^2}}{R_0}; \tag{14}$$

$$\varphi_1 = arg\left\{\dot{U}_{0.\partial}\right\} - arg\left\{\dot{U}_{\dot{Z}_\partial}\right\} = arctg\frac{X_{C_\partial}}{R_\partial}. \tag{15}$$

Вирішивши сумісно рівняння (14) та (15), отримаємо співвідношення для визначення складових комплексного опору пустого ємнісного датчика:

$$R_д = A_1 R_0 \cos\varphi_1; \tag{16}$$

$$X_{C_д} = A_1 R_0 \sin\varphi_1. \tag{17}$$

Аналогічно розглянемо узагальнену еквівалентну схему вимірювального перетворювача з досліджуваним матеріалом, яка складається зі зразкового резистивного елемента R_0 та ємнісного чутливого елемента, до складу якого додатково введені опір діелектричних втрат досліджуваного матеріалу $R_м$ та еквівалентна ємність $C_м$ досліджуваного матеріалу (рис. 1, *б*).

Однак для спрощення аналізу введемо позначення (рис.1, *в*), які характерні для зведення двох ємностей із втратами та включеними паралельно до однієї еквівалентної ємності з втратами:

$$C_{екв} = C_д + C_м; \tag{18}$$

$$R_{екв} = \frac{R_д C_д + R_м C_м}{C_д + C_м}. \tag{19}$$

Перепишемо два останні співвідношення таким чином:

$$X_{C_{екв}} = \frac{X_{C_д} X_{C_м}}{X_{C_д} + X_{C_м}}; \tag{20}$$

$$R_{екв} = \frac{R_д \omega C_д + R_м \omega C_м}{\omega C_д + \omega C_м} = \frac{\dfrac{R_д}{X_{C_д}} + \dfrac{R_м}{X_{C_м}}}{\dfrac{1}{X_{C_д}} + \dfrac{1}{X_{C_м}}} = \frac{R_д X_{C_м} + R_м X_{C_д}}{X_{C_д} + X_{C_м}}. \tag{21}$$

У цьому випадку вхідна напруга $\dot{U}_{вх}$ буде викликати в зразковому елементі струм

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{вх}}{R_0 + \dot{Z}_{дм}}, \tag{22}$$

де $\dot{Z}_{дм} = R_{екв} - j X_{C_{екв}}$ – комплексний опір ємнісного датчика з досліджуваним матеріалом (речовиною).

Використовуючи співвідношення (22), можна визначити напруги на зразковому резистивному елементі та ємнісному датчику з досліджуваним матеріалом, які відповідно дорівнюють:

$$\dot{U}_{0.дм} = R_0 \dot{I}_2 = \frac{R_0 \dot{U}_{вх}}{R_0 + R_{екв} - j X_{C_{екв}}} =$$

$$= \frac{U_{вх} R_0}{\sqrt{\left(R_0 + \dfrac{R_д X_{C_м} + R_м X_{C_д}}{X_{C_д} + X_{C_м}}\right)^2 + \dfrac{X_{C_д}^2 X_{C_м}^2}{\left(X_{C_д} + X_{C_м}\right)^2}}} \times e^{j\left\{\varphi_{вх} + arctg \frac{\frac{X_{C_д} X_{C_м}}{X_{C_д} + X_{C_м}}}{R_0 + \frac{R_д X_{C_м} + R_м X_{C_д}}{X_{C_д} + X_{C_м}}}\right\}}, \tag{23}$$

$$\dot{U}_{\dot{Z}_{дм}} = \dot{Z}_{дм} \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{вх}\left(R_{екв} - j X_{C_{екв}}\right)}{R_0 + R_{екв} - j X_{C_{екв}}} =$$

$$= \frac{U_{вх} \sqrt{\left(\dfrac{R_д X_{C_м} + R_м X_{C_д}}{X_{C_д} + X_{C_м}}\right)^2 + \dfrac{X_{C_д}^2 X_{C_м}^2}{\left(X_{C_д} + X_{C_м}\right)^2}}}{\sqrt{\left(R_0 + \dfrac{R_д X_{C_м} + R_м X_{C_д}}{X_{C_д} + X_{C_м}}\right)^2 + \dfrac{X_{C_д}^2 X_{C_м}^2}{\left(X_{C_д} + X_{C_м}\right)^2}}} \times$$

$$\times e^{j\left\{\varphi_{вх} - arctg \frac{X_{C_д} X_{C_м}}{R_д X_{C_м} + R_м X_{C_д}} + arctg \frac{\frac{X_{C_д} X_{C_м}}{X_{C_д} + X_{C_м}}}{R_0 + \frac{R_д X_{C_м} + R_м X_{C_д}}{X_{C_д} + X_{C_м}}}\right\}}. \tag{24}$$

Знайдемо відношення напруг, які визначаються співвідношеннями (23) та (24), а також фазовий зсув між цими напругами:

$$A_2 = \frac{\left|\dot{U}_{\dot{Z}_{дм}}\right|}{\left|\dot{U}_{0.дм}\right|} = \frac{\sqrt{\left(R_д X_{C_м} + R_м X_{C_д}\right)^2 + X_{C_д}^2 X_{C_м}^2}}{R_0\left(X_{C_д} + X_{C_м}\right)}; \tag{25}$$

$$\varphi_2 = arg\left\{\dot{U}_{0.дм}\right\} - arg\left\{\dot{U}_{\dot{Z}_{дм}}\right\} = arctg\frac{X_{C_д} X_{C_м}}{R_д X_{C_м} + R_м X_{C_д}}. \tag{26}$$

Розгляпувши сумісно два останніх співвідношення, можна записати:

$$A_2 = \frac{X_{C_д} X_{C_м}\sqrt{1 + ctg^2\varphi_2}}{R_0\left(X_{C_д} + X_{C_м}\right)} = \frac{X_{C_д} X_{C_м}}{R_0\left(X_{C_д} + X_{C_м}\right)sin\,\varphi_2}. \tag{27}$$

Враховуючи співвідношення (17), вирішимо співвідношення (27) відносно $X_{C_м}$, в результаті чого отримаємо:

$$X_{C_м} = \frac{A_1 A_2 R_0\, sin\,\varphi_1\, sin\,\varphi_2}{A_1\, sin\,\varphi_1 - A_2\, sin\,\varphi_2}. \tag{28}$$

Для того, щоб знайти опір діелектричних втрат досліджуваного матеріалу $R_м$, перепишемо співвідношення (26) таким чином:

$$R_м = \frac{X_{C_м}\left(sin\,\varphi_1 - cos\,\varphi_1 tg\,\varphi_2\right)}{sin\,\varphi_1 tg\,\varphi_2} = X_{C_м}\left(ctg\,\varphi_2 - ctg\,\varphi_1\right). \tag{29}$$

Враховуючи співвідношення (28), перепишемо вираз (29) таким чином:

$$R_м = \frac{A_1 A_2 R_0\, sin\,\varphi_1\, sin\,\varphi_2\left(ctg\,\varphi_2 - ctg\,\varphi_1\right)}{A_1\, sin\,\varphi_1 - A_2\, sin\,\varphi_2} = \frac{A_1 A_2 R_0\, sin\left(\varphi_1 - \varphi_2\right)}{A_1\, sin\,\varphi_1 - A_2\, sin\,\varphi_2}. \tag{30}$$

Отже, вимірявши відношення напруг на пустому чутливому елементі та зразковому опорі A_1, фазовий зсув між цими напругами φ_1, а також відношення напруг на повному чутливому елементі (з досліджуваним матеріалом) та аналогічному зразковому опорі A_2 і фазовий зсув між цими напругами φ_2, можна за допомогою співвідношень (28) та (30) визначити вологість досліджуваного матеріалу, тобто:

$$W = k\sqrt{R_м^2 + X_{C_м}^2} = k\,X_{C_м}\sqrt{1 + \left(ctg\,\varphi_2 - ctg\,\varphi_1\right)^2} =$$

$$= \frac{k\,A_1 A_2 R_0\, sin\,\varphi_1\, sin\,\varphi_2\sqrt{1 + \left(ctg\,\varphi_2 - ctg\,\varphi_1\right)^2}}{A_1\, sin\,\varphi_1 - A_2\, sin\,\varphi_2} =$$

$$= \frac{k\,A_1 A_2 R_0\sqrt{sin^2\varphi_1\, sin^2\varphi_2 + sin^2\left(\varphi_1 - \varphi_2\right)}}{A_1\, sin\,\varphi_1 - A_2\, sin\,\varphi_2}. \tag{31}$$

Структурна схема вологоміру, в якому реалізується запропонований комутаційний амплітудно-фазовий метод вимірювання, наведена на рис. 2.

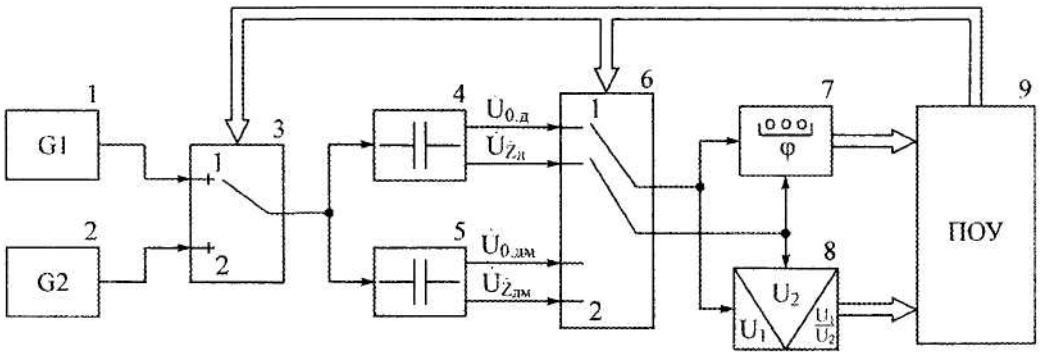


Рис. 2. Структурна схема комутаційного амплітудно-фазового вимірювача вологості речовин

Вологомір складається з кварцових генераторів 1 та 2, електронних комутаторів 3 та 6, пустого вимірювального перетворювача 4 та вимірювального перетворювача з досліджуваним

матеріалом 5, цифрового фазометра 7, цифрового вимірювача відношення амплітуд 8 і пристрою обчислення та управління (ПОУ) 9.

Працює вимірювач таким чином: кварцові генератори 1 та 2 виробляють гармонічні сигнали з частотою відповідно f_1 та f_2, один з яких (наприклад, з частотою f_1) за допомогою електронного комутатора 3 потрапляє на входи пустого вимірювального перетворювача 4 (послідовно включених зразкового опору та пустого датчика) та вимірювального перетворювача з досліджуваним матеріалом 5 (послідовно включених зразкового опору та датчика з досліджуваним матеріалом). Виходи вимірювальних перетворювачів підключені до входів електронного комутатора 6. В перший напівперіод комутації на вихід електронного комутатора 6 (на входи цифрового фазометра 7 та цифрового вимірювача відношення амплітуд 8) потрапляють напруги з виходу пустого вимірювального перетворювача 4 $\dot{U}_{0.\partial}$ та $\dot{U}_{\dot{Z}_\partial}$, між якими вимірюється фазовий зсув φ_1 та відношення їх амплітуд A_1. Результати вимірювання відношення амплітуд та фазового зсуву потрапляють до ПОУ 9, де й запам'ятовуються. В другий напівперіод комутації на вихід електронного комутатора 6 потрапляють напруги з виходу вимірювального перетворювача з досліджуваним матеріалом 5 $\dot{U}_{0.\partial м}$ та $\dot{U}_{\dot{Z}_{\partial м}}$, між якими вимірюється фазовий зсув φ_2 та відношення їх амплітуд A_2. Результати вимірювання відношення амплітуд та фазового зсуву знову потрапляють до ПОУ 9, де за співвідношенням (31) відбувається обчислення результату вимірювання вологості досліджуваного матеріалу на частоті f_1. Для зменшення похибки від непостійності шпаристості (або густини упаковки матеріалу в датчику) вимірювання проводять на двох частотах, для чого на входи вимірювальних перетворювачів за допомогою електронного комутатора 3 подається гармонічний сигнал з частотою f_2 і всі вимірювання повторюються на цій частоті.

Аналізуючи співвідношення (31), за яким визначається вологість матеріалів за допомогою еквівалентних схем вимірювальних перетворювачів (рис. 1), можна зробити висновок, що точність таких вимірювань залежить від трьох факторів: точності зразкового резистора (прецизійного еталонного активного опору) R_0, точності вимірювання фазового зсуву між вихідними сигналами вимірювального перетворювача, а також точності вимірювання відношення амплітуд вихідних сигналів вимірювального перетворювача.

На сучасній прецизійній елементній базі забезпечення необхідної точності опору R_0 є можливим, тому що існують прецизійні резистори, точність яких складає 0,01 % та вище. Тому деяка неточність прецизійного еталонного активного опору R_0 фактично не призводить до виникнення помилки при вимірюванні вологості матеріалів.

Основною проблемою, з точки зору забезпечення точності вимірювання вологості матеріалів, є забезпечення точності вимірювання фазового зсуву між вихідними сигналами вимірювального перетворювача та відношення амплітуд цих сигналів. Враховуючи, що при використанні сучасної вимірювальної апаратури похибку вимірювання фазового зсуву можна зменшити до величини 0,1° а похибку вимірювання відношення амплітуд – до величини 0,5 %, то можна зробити висновок, що точність в даному випадку теж забезпечується.

Розроблений в роботі метод та пристрій для його реалізації дозволяє вимірювати вміст вологи в капілярно-шпаристих органічних матеріалах з нестабільними втратами та шпаристістю. При цьому амплітудно-фазовий метод призначений для контролю вологості матеріалів зі значним вмістом вологи (до 80 %) і, на відміну від резонансного (дозволяє контролювати матеріали з незначною вологістю до 40 %), може більш ефективно використовуватися для неперервного контролю в поточному виробництві.

Висновки

1. Доведено, що повну вологість досліджуваної речовини можна оцінити за вмістом в ній вільної вологи.

2. Запропоновано вдосконалений комутаційний амплітудно-фазовий метод вимірювання вологості речовин, в якому можна виключити вплив на результат вимірювання неінформативних складових повного опору датчика-опору діелектричних втрат та еквівалентної ємності пустого датчика. Такий метод призначений для контролю вологості матеріалів з нестабільними втратами та шпаристістю (при вологості до 80 %).

3. Розроблено структурну схему вологоміру, в якому реалізується запропонований комутаційний амплітудно-фазовий метод вимірювання. Такі вологоміри ефективно використовувати для неперервного контролю в поточному виробництві.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Петров И.К.* Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 175 с.
2. *Пучкова Л.И. и др.* Состояние воды в мякише хлеба и его компонентах // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1980. – № 10. – С. 31–32.
3. *Горячева А.Ф., Кузьминский Р.В.* Сохранение свежести хлеба. – М.: Пищевая промышленность, 1983. – 138 с.
4. *Супьян В.Я., Куцевол Н.А., Крушевский Ю.В.* Методы и средства измерений влажности капиллярно-пористых материалов // В кн.: "Радиотехнические устройства контроля и обработки информации". – Киев: УМК ВО, 1992. – С. 68–79.
5. *Рудык А.В., Возняк А.Н.* Высокочастотный амплитудно-фазовый метод измерения влагосодержания сыпучих веществ // Сборник трудов международного симпозиума "Наука и предпринимательство". Приложение к Всеукраинскому научно-техническому журналу "Вибрации в технике и технологии". – Винница – Львов, 1998. – С. 311–314.
6. *Куцевол М.О., Куцевол О.М.* Двочастотний метод вимірювання вологості капілярно-шпаристих матеріалів зі значними втратами // Контроль і управління в складних системах: Матеріали 5-ої міжнародної НТК. – Вінниця, 1999. – Т. 2. – С. 185–189.

РУДИК Андрій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехніки Вінницького державного технічного університету.

Наукові інтереси:
- фазові вимірювання в радіотехнічному та оптичному діапазонах;
- вимірювання електромагнітних та механічних характеристик об'єктів контролю радіотехнічними та оптичними методами;
- використання параметричних кіл у вимірювальних системах та системах автоматики.

Подано 9.08.2000