

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.311.25

В. В. Кухарчук, д-р. техн. наук, проф.;

В. В. Богачук, канд. техн. наук;

В. Ф. Граняк, студ.

ІНДУКТИВНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ГЕТЕРОГЕННИХ ДИСПЕРСНИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ

Запропоновано безконтактний неруйнівний метод контролю вологості речовини, що може бути використаний для сертифікації кінцевої продукції на підприємствах переробної галузі АПК, які спеціалізуються на виробництві гетерогенних дисперсних діелектриків, та розроблено загальну математичну модель для вимірювальних перетворювачів, побудованих на основі цього методу.

Вступ

Однією з найактуальніших проблем, що постають перед переробною галуззю АПК, є вимірювання основних технологічних параметрів, які характеризують якість кінцевого продукту. Особливо гостро ця проблема стоїть у виробництві продуктів харчування, що є гетерогенними дисперсними діелектриками, одним з найпоширеніших представників яких є вершкове масло. При чому якість цього продукту значною мірою визначається його вологістю [1].

Така ситуація, у першу чергу, зумовлена дисперсним характером розміщення вологи у цих речовинах [2]. А так як вологість є одним з основних параметрів, що характеризує якість цього класу речовин, то розробка методу, який дав би можливість забезпечити експрес-вимірювання вологості продукту на кінцевому етапі виробництва, є однією з основних задач, розв'язання якої дасть можливість підвищити якість та конкурентоспроможність виготовленої продукції.

Постановка задачі

Основними особливостями вищезгаданих речовин є те, що у своїй переважній більшості вони є непрозорими для оптичного спектра електромагнітних хвиль, що унеможливило об'ємний аналіз їх вологості за допомогою оптичних вологомірів. Крім того, вони містять вологу у вигляді відокремлених одне від одного крапель, що не дозволяє використання порівняно простого кондуктометричного методу. Авторами роботи [2] наведено аналіз відомих методів вологометрії, що можуть бути застосовані для цього класу речовин, та показано, що діелькометричний (ємнісний) метод не лише забезпечує достатню для промислового виробництва точність вимірювання, а й не вносить додаткової похибки у результати вимірювання у випадку неоднорідності розподілу вологи у речовині. Тому використання діелькометричного методу для побудови вимірювального перетворювача є перспективним для проектування технологічних ліній для виробництва, зокрема, вершкового масла.

Проте, застосування цього методу пов'язане з використанням, з одного боку, досить складної, хоча і не дуже точної математичної моделі [2], а з іншого — чутливістю таких сенсорів до сторонніх джерел статичної електрики [1], що може вносити значні методичні та інструментальні похибки в отримані результати.

З огляду на викладене вище, очевидно є необхідність розробки принципово нових методів, їх математичних моделей та засобів вимірювального контролю вологості твердих гетерогенних речовин, які б, використовуючи принцип відмінності електромагнітних властивостей води та абсолютно сухої речовини, могли б бути використані у первинних вимірювальних перетворювачах в процесі автоматизації процесу виробництва продукції, що відносяться до цього класу речовин.

Аналіз шляхів розв'язання задачі

Волога, що міститься у речовинах такого класу, знаходиться у вигляді дисперсних крапель, тобто не змінює свою хімічну природу [2]. Оскільки молочний жир та вода відрізняються не лише значенням діелектричної, а й магнітної проникностей, це дає можливість використати зміну середньої магнітної проникності зразка у якості непрямого методу для вимірювання вологості. А це, у свою чергу, відкриває можливість використання у якості вимірювального перетворювача котушки з осердям броньованого типу, індуктивність якої пов'язана математичною залежністю з середньою магнітною проникністю осердя, як впливає з такого рівняння [3]:

$$L = 4\pi \frac{N^2 \mu_e S}{l} 10^{-11}, \tag{1}$$

де N — кількість витків котушки; μ_e — динамічна магнітна проникність, що дорівнює середній магнітній проникності, яка вимірюється за постійного струму; S — площа поперечного перерізу осердя, m^2 ; l — середня довжина силової лінії, m ; R_m — магнітний опір магнітопроводу, m^{-1} ; L — індуктивність котушки, Гн.

Враховуючи, що магнітний опір системи визначається за формулою [4]

$$R_m = \frac{l}{\mu_e S}, \tag{2}$$

де R_m — магнітний опір магнітопроводу, та підставивши вираз (1) у вираз (2), отримуємо:

$$L = 4\pi \frac{N^2}{R_m} 10^{-11}. \tag{3}$$

Це дає можливість використати цей підхід для вимірювання вологості зразка ввівши такі спрощення:

- магнітна проникність абсолютно сухого зразка є сталою і відомою;
- повітряного прошарку між зразком та металеву частину осердя котушки або не існує, або його магнітна проникність та розміри є постійними та відомими;
- ширина досліджуваного зразка є сталою та відомою;
- нехтування потоком розсіювання не приводить до появи суттєвої похибки, оскільки зовнішня поверхня магнітопроводу покрита шаром діаманетика, що має великий магнітний опір.

У такому випадку прилад для динамічного вимірювання вологості матиме вигляд, показаний на рис. 1.

На основі аналізу траєкторії тієї частини лінії магнітної індукції, що проходить через контрольований зразок (рис. 2), отримуємо:

$$l_B = l_{B1} + l_{B2} + \dots + l_{Bn}.$$

Оскільки $d = const$, то

$$l_M = d - l_B, \tag{4}$$

де l_B , l_M — довжини магнітної лінії, що припадають на воду та абсолютно суху речовину, відповідно, m ; d — довжина досліджуваного зразка, m .

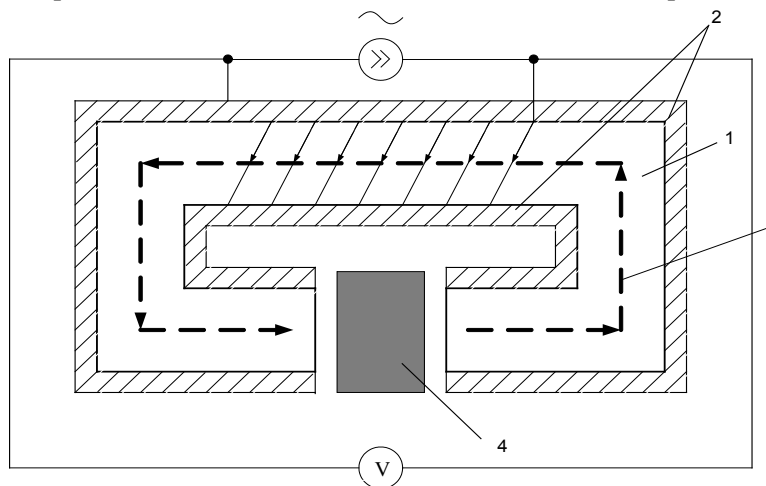


Рис. 1. Схема пристрою для вимірювання вологості вершкового масла: 1 — магнітопровід; 2 — зовнішній шар діаманетика; 3 — напрямок магнітного потоку; 4 — досліджуваний зразок

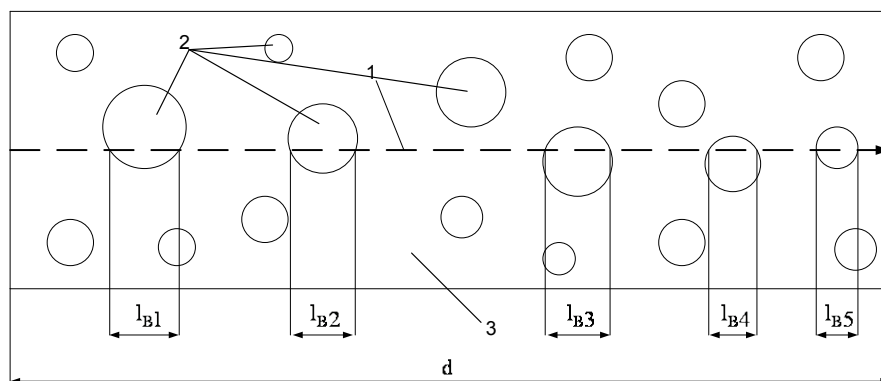


Рис. 2. Схематичне подання траєкторії лінії магнітної індукції у досліджуваному зразку: 1 — траєкторія лінії магнітної індукції; 2 — перетин крапельки води; 3 — суха речовина

Очевидно, що за умови, коли ліній магнітної індукції буде n , а магнітні проникності води та сухої речовини залишатимуться сталими по усьому перерізу, то магнітні властивості досліджуваного зразка будуть визначатися середнім значенням l_B для усіх ліній магнітної індукції, що перетинають досліджуваний зразок.

Звідси, враховуючи наведені вище припущення, сумарний магнітний опір системи можна описати виразом [4]

$$R_M = \frac{l_o}{S_o\mu_o} + \frac{2l_n}{S_n\mu_n} + \frac{l_M}{S_M\mu_M} + \frac{l_B}{S_B\mu_B} = \frac{1}{\mu_e S}, \quad (5)$$

де l_o, μ_o — середня довжина магнітних ліній та магнітна проникність феромагнітного осердя; l_n, μ_n — середня довжина магнітних ліній та магнітна проникність повітряного проміжку; l_M, μ_M — величини для еквівалентного проміжку чистого молочного жиру (абсолютно сухого масла); l_B, μ_B — величини для еквівалентного проміжку води; S — площа поперечного перерізу осердя ($S = S_o = S_n = S_M = S_B$); μ_e — еквівалентна магнітна проникність осердя.

Оскільки частина доданків (3) є сталими, то для спрощення введемо такі заміни:

$$a = \frac{l_o}{S_o\mu_o} + \frac{2l_n}{S_n\mu_n}; \quad b = \frac{1}{S_M\mu_M}; \quad c = \frac{1}{S_B\mu_B}. \quad (6)$$

Тоді, підставивши у (1) значення магнітного опору осердя (3), та з урахуванням введених заміні (4), отримаємо:

$$L = 4\pi \frac{N^2}{a + bl_M + cl_B} 10^{-11}. \quad (7)$$

А з урахуванням (2) вираз (7) може бути записаний у вигляді:

$$L = 4\pi \frac{N^2}{a + b(d - l_B) + cl_B} 10^{-11}. \quad (8)$$

Оскільки масова частка домішки у речовині визначається за відомим виразом

$$W = \frac{m_B}{m_B + m_M} 100 \%, \quad (9)$$

де m_B — сумарна маса води, що міститься у зразку; m_M — сумарна маса сухої фракції, що міститься у зразку.

А врахувавши те, що у конструкції запропонованого приладу, де площа поперечного перерізу магнітопроводу, залишається сталою, то записавши масу кожної з фракцій як добуток їх густини на об'єм, отримаємо:

$$W = \frac{l_B \rho_B}{l_B \rho_B + l_M \rho_M} 100 \% . \quad (10)$$

Звідси, підставивши (8) у (10), отримаємо залежність, що пов'язує масову частку вологи у речовині з індуктивністю котушки запропонованого вимірювального перетворювача.

$$L = \frac{400\pi N^2 \rho_B - 4\pi N^2 W \rho_B + 4\pi N^2 w \rho_M}{100 \rho_B a - W a \rho_B + W a \rho_M 100 b d \rho_B - W b d \rho_B W b d \rho_M - W b d^2 \rho_M + W d c \rho_M} \cdot 10^{-11} . \quad (11)$$

Це рівняння є функцією перетворення сенсора вологості, реалізованого за методом оцінювання різниці магнітної проникності абсолютно сухого зразка та води.

Для отримання статичної характеристики цього типу вимірювальних перетворювачів задаємося такими параметрами: $S = 20 \text{ см}^2$; $d = 0,2 \text{ м}$; $N = 200$ витків; $l_0 = 1 \text{ м}$; $\mu_0 = 1000$; $\mu_B = 0,999992$; $\mu_M = 0,95$; $l_n = 0,02 \text{ м}$; $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\mu_n = 1$; $\rho_M = 900 \text{ кг/м}^3$. Підставивши їх у вирази (6) отримаємо: $a = 10,5 \text{ м}^{-1}$; $b = 526,32 \text{ м}^{-2}$; $c = 500,004 \text{ м}^{-2}$. Тоді графічна залежність масової частки вологи від індуктивності сенсора матиме вигляд, показаний на рис. 3.

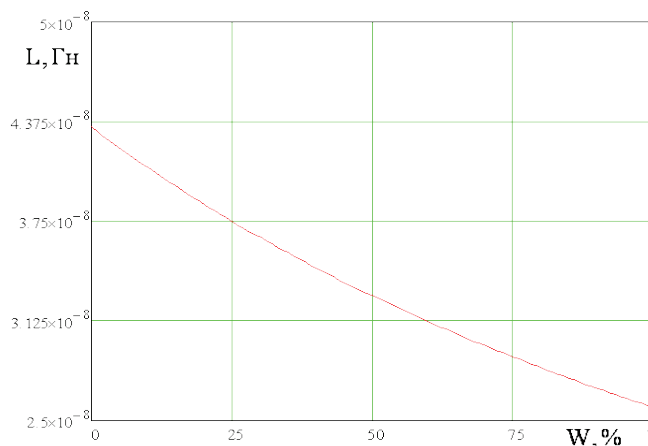


Рис. 3. Статична характеристика запропонованого вимірювального пристрою

Висновки

1. Запропоновано безконтактний неруйнівний метод вимірювання вологості речовини, оснований на відмінності магнітної проникності води та сухої фракції.
2. Розроблено математичну модель, що пов'язує індуктивність запропонованого пристрою з масовою часткою вологи у контрольованому зразку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бажанов В. А. Зависимость относительной диэлектрической проницаемости сливочного масла от степени дисперсности водяной фазы / В. А. Бажанов, Б. В. Корнелюк. — Ярославль, 1970. — 10 с.
2. Аналіз методів неруйнівного контролю гетерогенних дисперсних діелектриків / [В. В. Кухарчук, В. В. Богачук, І. К. Говор, В. Ф. Граняк] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2009. — № 5. — 7 с.
3. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / Б. Ю. Семенов. — М. : СОЛОН-Пресс, 2005 г. — 416 с.
4. Мансуров М. М. Теоретическая электротехника / М. М. Мансуров, В. С. Попов. — [изд. 9-е, испр.] — М. : Энергия, 1966 г. — 624 с.

Рекомендована кафедрою теоретичної електротехніки та електричних вимірювань

Стаття надійшла до редакції 30.09.10
Рекомендована до друку 7.10.10

Кухарчук Василь Васильович — завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань;

Богачук Володимир Васильович — доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів;

Граняк Валерій Федорович — студент Інституту електроенергетики та електромеханіки.
Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики