

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 664.03

В. В. Богачук, канд. техн. наук, доц.; В. Ф. Граняк, студ.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МАСЛОЗБИВАЧА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ З УРАХУВАННЯМ ЗАПІЗНЕННЯ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБ'ЄКТА

Розглянуто питання, пов'язані з оціночними характеристиками існуючих рішень щодо стабілізації вологості вершкового масла у разі її відхилення від нормального значення, зумовленого комплексним впливом неконтрольованих збурювальних факторів на стадії резервуарного дозрівання вершків, та запропоновано підходи до побудови системи керування маслозбивачем безперервної дії, що дають можливість компенсувати ці впливи за рахунок автоматичної зміни куткової швидкості механізму збивача з урахуванням запізнення отримання інформації про стан технологічного об'єкту.

Вступ

Підвищення якості готової продукції переробної галузі АПК є одним з основних напрямків її розвитку. Особливо гостро ця проблема постає при виробництві продуктів харчування, що відносяться до класу гетерогенних дисперсних діелектриків, одним з найпоширеніших представників яких є вершкове масло. Якість цього продукту значною мірою визначається його вологістю [1]. Оскільки виробництво вершкового масла на потужних молокопереробних підприємствах здійснюється переважно на технологічних лініях, виконаних на базі маслозбивачів безперервної дії [2], то розробка систем керування цими технологічними агрегатами, які б забезпечували високоточну стабілізацію вологості, є актуальною науково-інженерною задачею.

Постановка задачі

Існують декілька можливих варіантів впливу на кінцеву вологість готового продукту, основними з яких є вплив на параметри резервуарного дозрівання вершків та зміна параметрів фракційного розділення [3]. Оскільки вплив на умови дозрівання вершків пов'язаний з необхідністю врахування великої кількості параметрів, що в умовах виробничого процесу забезпечити практично не можливо [4], найперспективнішим способом регулювання вихідної вологості вершкового масла є вплив на параметри розділення вершків на фракції у процесі збивання. Це можливо здійснити застосуванням керованого електроприводу маслозбивача, кутова швидкість обертання якого коректується відповідно до керувального сигналу контуру стабілізації вологості системи автоматичного керування.

Основними проблемами, що виникають під час розробки такої автоматичної системи керування є:

- недостатня точність найширше використовуваних первинних вимірювачів вологості, невизначеність вимірювання яких призводить до значних коливань вологості вихідного продукту [4];
- неможливість отримання інформації про вологість продукту безпосередньо у збивальній камері, що пов'язано зі складністю встановлення первинних давачів та незавершеністю технологічного процесу на виході збивача [3];
- значне коливання статичного моменту навантаження електроприводу маслозбивача [2], що призводить до появи астатичної похибки завдання, яка переноситься на кінцеву похибку системи.

Виходячи зі сказаного, можна виділити три основних напрямки підвищення точності роботи такої системи:

- створення високоточних пристроїв для експрес-вимірювання вологості,
- розробка автоматичної системи керування автоматизованим електроприводом маслозбивача, що забезпечувала б урахування запізнення отримання інформації про стан технологічного об'єкта та
- введення в систему керування додаткових підпорядкованих контурів стабілізації кутової швидкості, що забезпечили б інваріантність останньої до коливань навантажувальних моментів у межах заданого рівня.

Аналіз шляхів розв'язання задачі

Оскільки, одним з факторів, що обмежує точність роботи системи є перенесення на невизначеність відпрацювання системи невизначеності первинного сенсора, то актуальним є розробка принципово нового підходу, що забезпечив би зменшення цієї невизначеності за рахунок підвищення точності первинного вимірювального перетворювача, зі збереженням необхідної швидкодії. Як випливає з аналізу, проведеного у роботі [4], найперспективнішим з точки зору експрес-вимірювання вологості є методи, пов'язані з пропусканням або відбиванням від контрольного зразка електромагнітного випромінювання, з подальшим вимірюванням відхилення фази та затухання інформаційної хвилі у порівнянні з опорною. Не менш актуальним є і спрощення конструкції та забезпечення інваріантності сенсора до впливу неінформативних параметрів навколишнього середовища [5]. А так як з використанням несиметричного смугового хвилеводу зовнішнє навколишнє середовище майже не перекривається інформативною хвилею [6], що забезпечує можливість знехтувати впливом його параметрів, то застосування такої конструкції є перспективним для побудови вимірювальних перетворювачів вологості. Причому, виходячи з конструктивних міркувань, найдоцільнішим є використання у пристрої цієї конструкції інформативної хвилі метрового діапазону, що дає можливість нехтувати впливом власної індуктивності зигзагоподібної системи хвилеводу [7].

Тож, виходячи з вказаних теоретичних міркувань та проведених експериментальних досліджень, найперспективнішим для застосування як інформативну хвилю є використання електромагнітної хвилі частотою 300 МГц. Побудову сенсора за цим методом доцільно здійснювати на основі перетворення значення вологості зразка у зміщення фази електромагнітної хвилі, де проявляється найвища чутливість первинного перетворювача [8].

Проте, значним недоліком такої конструкції є неможливість вимірювання зміщення фази, використовуючи стандартний цифровий канал різниці фаз, що зумовлено виходом цієї частоти, а тим більше частоти сигналу квантування за верхню межу пропускання існуючих цифрових схем.

Виходячи з цього, доцільним є застосування спеціальних високочастотних цифрових каналів, які забезпечують можливість вимірювання різниці фаз хвиль метрового діапазону з достатньо високою точністю. В результаті поєднання такого каналу, час вимірювання якого приблизно дорівнює подвійному періоду вхідної хвилі, а похибка вимірювання на частоті вхідної хвилі від 5 до $5 \cdot 10^8$ Гц не перевищує:

$$\Delta \leq (0,1 + 10^{-7} f)^0, \quad (1)$$

де f — частота вхідної хвилі.

З указаним вище сенсором розроблено смуговий вимірювач вологості, структурну схему якого показано на рис. 1.

Принцип роботи смугового вимірювача вологості будується на тому, що з генератора 1 на вхід первинного вимірювального перетворювача 2 та другого формувача 4 подається сигнал частотою 300 МГц. Проходячи через вимірювальний перетворювач 2, інформативний параметр $U_1(t)$ залежно від вологості зсувається за фазою відносно опорного сигналу $U_0(t)$ на різницю фаз

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_0 = a_1 + a_2 \cdot W + a_3 \cdot W^2,$$

де W – вологість зразка; ϕ_1 – фаза опорної хвилі; ϕ_0 – фаза опорної хвилі; a_1, a_2, a_3 – постійні коефіцієнти.

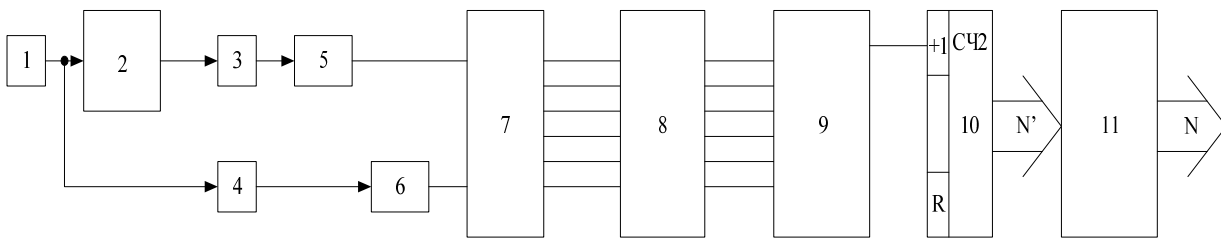


Рис. 1. Структурна схема смугового вимірювача вологості:

1 – генератор електромагнітних хвиль частотою 300 МГц; 2 – описаний вище сенсор; 3, 4 – перший та другий формувачі; 5, 6 – перший та другий імпульсні фільтри; 7 – формувач фазових інтервалів; 8 – блок квантування; 9 – елемент динамічного додавання; 10 – двійковий лічильник; 11 – числовий перетворювач

З виходу 2 сигнал подається на вхід першого формувача 3. На виході 3 та 4 формуються прямокутні імпульси, фронт і зріз яких прив'язані до нуль-переходів вхідних сигналів.

З виходів формувачів 3 та 4 сигнали надходять на перший 5 та другий 6 імпульсні фільтри, за допомогою яких здійснюється усунення похибки, викликаной переходом через нуль рівня напруги сигналу на вході формувача в момент часу, що відповідає нуль-переходам вхідного сигналу. Причиною появи цієї складової похибки є наявність широкосмугового шуму в вхідному сигналі та генерація додаткового широкосмугового шуму у вхідних каскадах формувачів.

З виходу імпульсних фільтрів 5 та 6 відфільтровані сигнали подаються на входи формувача фазових інтервалів 7, призначеного для формування чотирьох фазових інтервалів, які є імпульсами додатної полярності, скважність яких пропорційна вимірюваному фазному зсуву, а частота рівна половині частоти вхідного сигналу.

Окрім цього в 7 формуються два інтервали корекції, що є імпульсами додатної полярності, тривалість яких пропорційна часу затримки сигналів в 5 та 6, а частота рівна подвоєній частоті сигналу.

З виходів 7 чотири фазових інтервали та два інтервали корекції подаються на вхід блоку квантування 8, де заповнюються квантувальними імпульсами, тобто формується шість імпульсних послідовностей і корегувальних інтервалів.

Загальна кількість імпульсів усіх послідовностей, що надходять на входи елемента динамічного додавання 9 за цикл вимірювання є пропорційною фазовому зсуву між інформативним та опорним сигналом, тобто описується таким рівнянням перетворення: $N = S_\phi \cdot \Delta\phi$.

У елементі динамічного додавання 9 здійснюється об'єднання шести імпульсних послідовностей фазових і корегувальних інтервалів в одну імпульсну послідовність зі збереженням загальної кількості імпульсів.

З виходу елемента динамічного додавання 9 сигнал подається на двійковий лічильник 10, де здійснюється їх послідовний підрахунок за один цикл вимірювання. Після чого отриманий двійковий код з виходу лічильника 10 надходить на вхід числового перетворювача 11, де за рівнянням перетворення: $N = S_\phi (a_1 + a_2 \cdot W + a_3 \cdot W^2)$ отримуємо виміряне значення вологості.

Що ж стосується вирішення проблеми неможливості отримання інформації про вологість продукту безпосередньо у збивальній камері, то здійснювати вимірювання вологості пропонується на виході шнекового механізму, де розміщення сенсора не викликає технологічних ускладнень. При цьому неминуче виникає запізнення сигналу датчика по відношенню до здійснюваного технологічного процесу. В наслідок чого виникає динамічна помилка, яка в кінцевому етапі призводить до зменшення точності системи.

Тож подальше підвищення точності відпрацювання маслозбивача пропонується здійснювати шляхом компенсації затримки керувального сигналу з використанням принципу прогнозування вологості готового продукту, у якому керувальний сигнал корекції системи формується на основі здійснення прогнозу вмісту вологи у вихідному продукті на час запізнення інформації про параметри об'єкта впливу.

Такий підхід дає можливість усунути складову похибки вимірювання вмісту вологи. Ця похибка пов'язана з динамічною складовою невизначеності інформаційно-вимірювальної ланки запропонованої системи керування, яке здійснюється з урахуванням прогнозу значення вологості кінцевого продукту для вершків в режимі реального часу. Блок-схема контуру вологості такої системи керування показана на рис. 2.

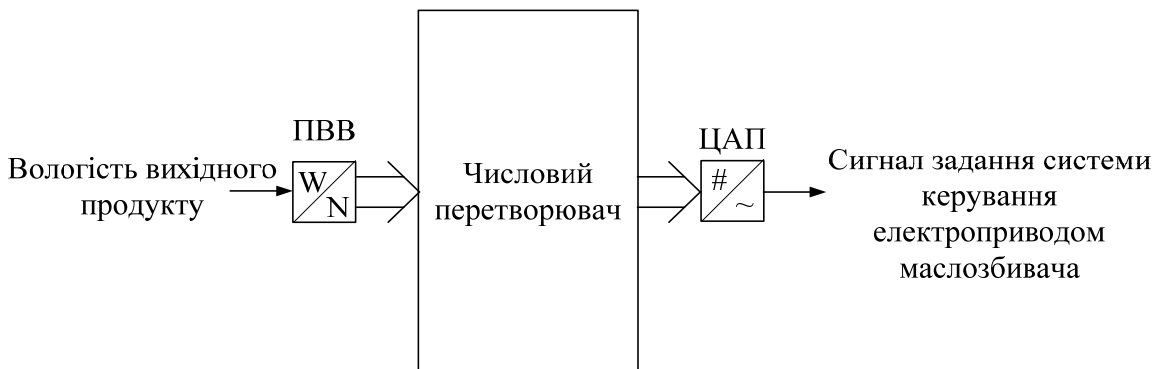


Рис. 2. Блок-схема контуру вологості прогнозуючої системи

Ця частина системи здійснює операцію отримання інформації про величину технологічного параметра (вологість) вихідного продукту, передачу її в мікропроцесорний числовий перетворювач та видачу керувального сигналу безпосередньо на СК привідного двигуна.

В числовому перетворювачі здійснюється перетворення інформації про вологість вихідного продукту у керувальний сигнал задавача системи, з урахуванням здійсненого прогнозу, що компенсує затримку часу на отримання цієї інформації (час переміщення продукту від збивача до сопла шнекового механізму, де розташований сенсор вологості).

У відповідності з викладеним вище та виходячи з принципу простоти математичної інтерпретації, залежність вмісту вологи в вершковому маслі може бути представлена у вигляді системи рівнянь, побудованої на основі математичної моделі авторегресії:

$$\begin{cases} W(t+\Delta) = \varphi_1 W(t+\Delta-1) + \varphi_2 W(t+\Delta-2) + \dots + \varphi_p W(t+\Delta-p); \\ W(t+\Delta-1) = \varphi_1 W(t+\Delta-2) + \varphi_2 W(t+\Delta-3) + \dots + \varphi_p W(t+\Delta-p-1); \\ \dots \\ W(t+\Delta-\tau) = \varphi_1 W(t+\Delta-1-\tau) + \varphi_2 W(t+\Delta-2-\tau) + \dots + \varphi_p W(t+\Delta-p-\tau), \end{cases} \quad (2)$$

де $W(t)$ — вологість вершкового масла в момент часу t ; p — порядок авторегресії; τ — час затримки між моментом збивання вершків та моментом отримання інформації про вологість виробленого з них вершкового масла; $\varphi_1 \dots \varphi_p$ — коефіцієнти авторегресії.

Окрім цього, джерелом значного відхилення технологічного параметра (вологості вихідного продукту), як уже зазначалося раніше, є також непостійність моменту технологічного навантаження системи, що, за умови наявності лише контуру вологості, призводить до коливань кутової швидкості привідного двигуна, та, як наслідок, до появи астатичної похибки завдання. Для вилучення впливу останньої доцільно ввести в систему додаткові підпорядковані аналогові контури зворотного зв'язку, що забезпечать можливість стабілізувати швидкість обертання привідної машини, незалежно від зміни моменту навантаження у межах допустимих значень, на рівні, заданому вихідним сигналом числового перетворювача контуру зворотного зв'язку за вологістю продукту. При цьому, за умови використання алгоритму поступового наближення системи, оптимізацію внутрішніх контурів доцільно здійснювати за модульним критерієм оптимальності. Це дасть можливість збільшити швидкодію керувального сигналу, не призводячи до появи статичної похибки завдання системи, що буде компенсована поступовою корекцією сигналу з виходу контуру вологості.

Висновки

1. Як первинний перетворювач вологості автоматизованої системи електроприводу маслозбивача безперервної дії доцільно використовувати смуговий вимірювач вологості, що характеризується достатньо високими точністю вимірювання та швидкістю.

2. Розробляючи систему керування автоматизованим електроприводом маслозбивача безперервної дії, необхідно враховувати запізнення надходження інформації про стан контролюваного технологічного параметра (вологості продукту), що можна здійснити за допомогою системи лінійних рівнянь, побудованих на основі математичної моделі авторегресії;

3. У систему керування електроприводом маслозбивача безперервної дії доцільним є введення додаткових підпорядкованих аналогових контурів стабілізації кутової швидкості, що дозволяє усунути надлишкову астатичну помилку завдання системи за рахунок зменшення коливань кутової швидкості привідного двигуна;

4. Оптимізацію внутрішніх підпорядкованих контурів зворотного зв'язку доцільно здійснювати за модульним критерієм оптимальності, що дає можливість підвищити швидкість системи та не призводить до появи додаткової статичної похибки завдання за умови використання алгоритму поступового наближення у зовнішньому цифровому контурі вологості.

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. Панфилов В. А. Машины и аппараты пищевых производств / В. А. Панфилов — М. : Высшая школа. — 2001. — 703 с.
3. Берлинер М. А. Измерение влажности. — Изд. 2-е, перераб. и доп. / М. А. Берлинер. — М. : Энергия, 1973. — 420 с.
4. Кухарчук В. В. 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.
5. Богачук Володимир Васильович. Методи та засоби вимірювального контролю порошкоподібних матеріалів : моног. / В. В. Богачук, Б. І. Мокін. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 141с.
6. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование : пер. с англ. / В. Фуско. — М. : Радио и связь, 1990 г. — 288 с.
7. Сивухин Д. В. Общий курс физики : учеб. пос. для вузов. В 5 т. Т. VI. / Д. В. Сивухин. — М. : Физматлит, 2005 г. — 795 с.
8. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах — 2011. Збірник тез доповідей. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 214 с.

Рекомендована кафедрою відновлюваної енергетики та транспортних електросистем і комплексів

Стаття надійшла до редакції 7.11.11

Рекомендована до друку 16.11.11

Богачук Володимир Васильович — доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів; **Граняк Валерій Федорович** — студент Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.

Вінницький національний технічний університет