

УДК 621.317.7.089

**Ю. О. Скрипник**, д. т. н., проф.;**К. Л. Шевченко**, к. т. н.;**О. П. Яненко**, д. т. н., проф.;**С. М. Перегудов**;**В. П. Осадчий**, к. т. н.

## МІКРОХВИЛЬОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ЖИРНІСТІ МОЛОКА

*Розглянуто установку для безконтактної експрес-реєстрації жирності молока. За рахунок введення нових елементів і зв'язків забезпечено пропорційну залежність між вихідною напругою і показником жирності молока. Це дозволяє підвищити точність і надійність вимірювання.*

### Вступ

Діелектричні властивості молока визначаються співвідношенням молочного жиру і води (сироватки). В міру збільшення кількості жиру в молоці від 0,1% (обрат) до 12% діелектрична проникність молока знижується від 70 до 55 одиниць. На межі розділення повітря–молоко НВЧ випромінювання зазнає відбивання через відмінність діелектричних проникностей повітря і молока. При цьому найбільше значення коефіцієнта відбивання спостерігається від знежиреного молока, а коефіцієнт стоячої хвилі за напругою (КСХН) досягає 70...75. При підвищенні жирності молока до 10...12% змінюється і коефіцієнт відбивання, зменшуючись із збільшенням жирності молока. Відповідно до цього КСХН знижується до 50...55 [1].

Апаратні методи вимірювання жирності молока, на відміну від лабораторних, дозволяють підвищити точність вимірювання, скоротити час проведення аналізу тощо, а це, в свою чергу, забезпечує можливість оперативніше реалізовувати молоко та молокопродукти, зменшуючи матеріальні витрати.

Значну перспективу для молочної промисловості мають методи та засоби, що використовують НВЧ-сигнали. Одночасно існують різні структурні варіанти НВЧ-вимірювачів жирності молока, які мають як певні переваги, так і недоліки.

Так, відомий надвисокочастотний вимірювач жирності молока, наприклад, розглянутий в [2], має недолік, який полягає в значному впливі на результат вимірювання зміни характеристик НВЧ детекторів, що веде до виникнення суттєвих похибок. Крім того, використання двох регульованих НВЧ атенуаторів значно ускладнює процес вимірювання.

До недоліків надвисокочастотного вимірювача жирності молока, розглянутого в [3] слід віднести його низьку надійність через наявність механічних вузлів. Крім того, показники індикатора зростають в міру зменшення жирності молока, що вносить незручність під час контролювання і ускладнює можливість використання відомого пристрою в системі автоматичного регулювання. Нестабільність НВЧ потужності, що генерується, і непостійність параметрів НВЧ детектора також впливають на показники реєструвального приладу, що знижує точність вимірювання жирності молока.

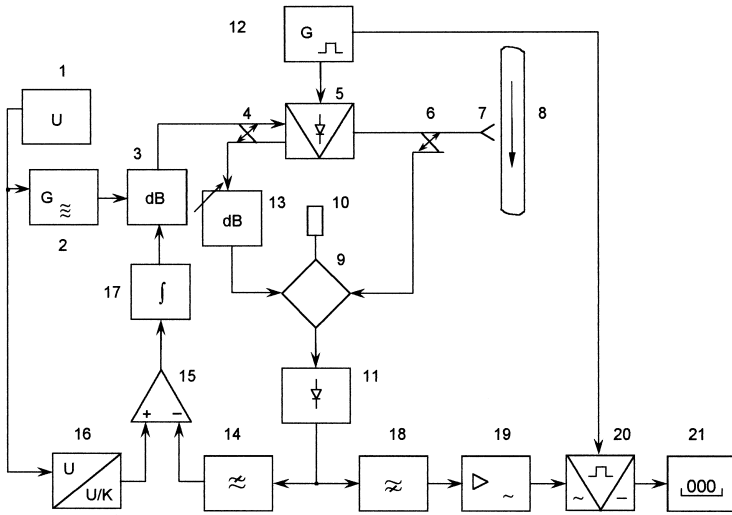
### Постановка завдання

Авторами [4] розроблений вимірювач жирності молока, в якому за рахунок введення нових елементів і зв'язків забезпечується можливість отримання пропорційної залежності між напругою, що вимірюється, і жирністю молока, завдяки чому підвищується точність і надійність безконтактної експресної реєстрації жирності молока.

На рисунку показана функціональна схема надвисокочастотного вимірювача жирності молока.

*Опис роботи НВЧ-вимірювача жирності молока.*

Надвисокочастотні коливання від генератора 2 через послідовно з'єднані регульований НВЧ атенуатор 3, направлений відгалужувач 4, відкритий НВЧ ключ 5 і направлений відгалужувач 6 надходять на приймально-передавальну антену 7. НВЧ коливання, що випромінюються по нормалі до поверхні молокопроводу 8, частково поглинаються молоком, а частково відбиваються від межі розділення повітря-молоко. Відбиті НВЧ коливання приймаються антеною 7 і через направлений



Структурна схема вимірювача жирності молока:

- 1 – блок живлення; 2 – НВЧ генератор; 3 і 13 – НВЧ атенюатори; 4 і 6 – направлені відгалужувачі; 5 – НВЧ ключ; 7 – приймально-передавальна антена; 8 – молокопровід; 9 – подвійний хвилевідний міст; 10 – погоджене навантаження; 11 – НВЧ детектор;
- 12 – генератор низької частоти; 14 – фільтр низьких частот; 15 – диференціальний підсилювач; 16 – дільник напруги; 17 – інтегратор; 18 – фільтр верхніх частот; 19 – підсилювач низьких частот; 20 – фазочутливий випрямляч; 21 – реєструвальний прилад

прямокутна напруга генератора 12 низької частоти. Позитивні і негативні імпульси змінної напруги генератора 12 відкривають або закривають *p-i-n*-діод НВЧ ключа 5. Якщо діод відкритий, то НВЧ коливання обминають приймально-передавальну антену 7. Якщо діод закритий, то НВЧ коливання повністю відбиваються від нього і через направлений відгалужувач 4 надходять на регульований НВЧ атенюатор 13 і далі потрапляють на інший вхід подвійного хвилевідного мосту 9.

Вихідна напруга НВЧ детектора 11 при цьому набуває значення

$$U_2 = S_{11} K_9 K_{13} K_4 K_3 P_0,$$

де  $K_{13}$  — коефіцієнт передачі регульованого НВЧ атенюатора 13;  $K_4$  — коефіцієнт передачі направленного відгалужувача 4.

Під час періодичного відкривання і закривання ключа 5 з низькою частотою на виході НВЧ детектора 11 формується послідовність відеоімпульсів з амплітудами  $U_1$  і  $U_2$ . Постійна складова послідовності відеоімпульсів

$$U_3 = \frac{U_1 + U_2}{2} = \frac{1}{2} S_{11} K_3 K_9 [K_6 (\rho_0 - \Delta\rho) + K_{13} K_4]$$

виділяється фільтром 14 нижніх частот і надходить на один із входів диференціального підсилювача 15. На інший вхід диференціального підсилювача надходить частина напруги від блоку живлення 1 через дільник напруги 16. Вихідна напруга диференціального підсилювача 15 заряджає інтегратор 17, вихідна напруга якого регулює коефіцієнт передачі  $K_3$  НВЧ атенюатора 3. Процес автоматичного регулювання коефіцієнта передачі  $K_3$  продовжується до тих пір, поки напруги на входах диференціального підсилювача не зрівняються. В режимі, що встановився

$$U_3 = \frac{1}{2} S_{11} K_3 K_9 K_{14} [K_6 (\rho_0 - \Delta\rho) + K_{13} K_4] = U_0,$$

де  $U_0$  — постійна напруга на виході подільника напруги 16;  $K_{14}$  — коефіцієнт передачі фільтру 14 нижніх частот.

З отриманої рівності випливає, що коефіцієнт передачі НВЧ атенюатора 3 набуває значення

відгалужувач 6 надходять на один із входів подвійного хвилевідного мосту 9. Частина коливань поглинається в узгодженому навантаженні 10, а частина надходить на НВЧ детектор 11.

Вихідну напругу детектора 11 можна записати у вигляді

$$U_1 = S_{11} K_3 K_9 K_6 (\rho_0 - \Delta\rho) P_0,$$

де  $P_0$  — НВЧ потужність генератора 2;  $\rho_0$  — коефіцієнт відбивання від знежиреного молока;  $\Delta\rho$  — зміна коефіцієнта відбивання, пропорційна кількості жиру в молоці;  $K_3$  — коефіцієнт передачі регульованого атенюатора 3;  $K_6$  — коефіцієнт передачі направленного відгалужувача 6;  $K_9$  — коефіцієнт передачі подвійного хвилевідного мосту 9;  $S_{11}$  — чутливість НВЧ детектора 11.

Роботою НВЧ ключа 5, виконаного, наприклад, на *p-i-n*-діоді, керує

$$K_3 = \frac{2U_0}{S_{11}K_9K_{14} [K_6(\rho_0 - \Delta\rho) - K_{13}K_4]}.$$

Змінна складова послідовності відеоімпульсів

$$U_4 = \frac{U_1 - U_2}{2} = \frac{1}{2} S_{11} K_3 [K_6(\rho_0 - \Delta\rho) - K_{13}K_4],$$

відділяється фільтром 18 верхніх частот. Ця напруга підсилюється підсилювачем 19 низької частоти і випрямляється фазочутливим випрямлячем 20, що управляється від генератора 12 низької частоти

$$U_5 = K_{18}K_{19}U_4,$$

де  $K_{18}$  — коефіцієнт передачі фільтру 18 верхніх частот;  $K_{19}$  — коефіцієнт підсилення підсилювача 19 низької частоти.

Змінна складова  $U_4$ , з урахуванням значення коефіцієнта передачі НВЧ атенюатора 3, що встановився, набуває вигляд

$$U_4 = \frac{2S_{11}K_9 [K_6(\rho_0 - \Delta\rho) - K_{13}K_4] U_0}{2S_{11}K_9 [K_6(\rho_0 - \Delta\rho) + K_{13}K_4]} = \frac{K_6(\rho_0 - \Delta\rho) - K_{13}K_4}{K_6(\rho_0 - \Delta\rho) + K_{13}K_4} \frac{U_0}{K_{14}}.$$

В схемі вимірювача жирності використовуються однотипні направлені відгалужувачі відбитих коливань 4 і 6. Тому можна вважати, що  $K_4 = K_6$ . Коефіцієнт передачі НВЧ атенюатора 13 встановлюється в процесі калібрування за знежиреним молоком і відсутності змінної складової ( $U_4 = 0$ ). Цьому відповідає співвідношення  $K_{13} = \rho_0$ .

З урахуванням останнього, напруга, що вимірюється

$$U_5 = K_{18}K_{19} \frac{\Delta\rho}{2\rho_0 - \Delta\rho} \frac{U_0}{K_{14}}.$$

Якщо вибрати фільтри 14 і 18 з однаковими коефіцієнтами передачі ( $K_{14} = K_{18}$ ) і врахувати, що для жирності молока до 10...12%  $\Delta\rho \ll \rho_0$ , то

$$U_5 = -K_{18} \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \frac{U_0}{2}.$$

### Висновки

Таким чином, вихідна напруга  $U_5$ , що реєструється приладом 21, пропорційна відносній зміні коефіцієнта відбивання  $\Delta\rho$  НВЧ сигналу від молокопроводу. При цьому напруга, що реєструється, не залежить від рівня НВЧ потужності, що генерується ( $P_0$ ), чутливості НВЧ детектора ( $S_{11}$ ) і параметрів вимірювальної схеми ( $K_3$ ,  $K_4$ ,  $K_6$ ,  $K_9$ ). Вплив товщини стінок молокопроводу на  $\rho_0$  враховується при калібруванні вимірювача відповідною зміною коефіцієнта передачі НВЧ атенюатора 13. Результат вимірювання визначається не абсолютною зміною коефіцієнта відбивання  $\rho$ , а його відносним значенням  $\Delta\rho/\rho_0$ , тому значно знижений вплив змін температури і інших чинників, що впливають на результати вимірювання.

Жирність молока оцінюється через відношення кількості молочного жиру до об'ємної кількості молока і являє собою відносну величину. Тому і відносна зміна коефіцієнта відбиття  $\Delta\rho/\rho_0$  пов'язана лінійною залежністю з жирністю молока, як відносною величиною. При цьому нульовий показник реєструвального приладу відповідає нульовій жирності молока.

### Результати експерименту

Експериментальні дослідження, проведені з молоком різної жирності (0,1...12%), на довжині хвилі вільного НВЧ випромінювання 3 см і частоті перемикавання 1 кГц, на трьох межах вимірювань показали, що лінійна залежність має місце на межі вимірювань від 0,1 до 3% при абсолютній

похибці вимірювання не більше 0,05 %. На межі вимірювань 3...6 % похибка стає дещо більшою, але не перевищує 0,1 %. На межі вимірювань 6...12 % виявляється методична похибка від впливу  $\Delta\rho$  на  $\rho_0$  в знаменнику виразу для напруги  $U_5$  і похибка збільшується до 0,2 %.

Зміна межі вимірювання в розглянутому надвисокочастотному вимірювачі жирності здійснюється регулюванням коефіцієнта підсилення  $K_{18}$  підсилювача 18 низької частоти без зміни інших елементів схеми.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.С. № 367383 ССРСР. Способ определения жирности молока / Н. А. Бузко, И. Ф. Бородин, Н. В. Даки и др.; — 1976. — Бюл. — № 8.
2. Моик И. Б., Рогов Н. А., Горбунов А. В. Термо- и влагометрия пищевых продуктов: Справочник. — М.: Агропромиздат, 1988. — 266 с.
3. Головки Д. Б., Скрипник Ю. О., Яненко О. П. Надвисокочастотні методи та засоби вимірювання фізичних величин. — К.: Либідь, 2003. — 408 с.
4. Патент України № 31756А. Надвисокочастотний вимірювач жирності молока / Ю. О. Скрипник, В. П. Осадчий, К. Л. Шевченко; — 2000. — Бюл. — № 7—II.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (2—5. 07.05)

Надійшла до редакції 11.07.05  
Рекомендована до друку 21.07.05

**Скрипник Юрій Олексійович** — професор, **Шевченко Костянтин Леонідович** — завідувач кафедри. Кафедра автоматизації та комп'ютерних систем, Київський національний університет технологій та дизайну;

**Яненко Олексій Пилипович** — заступник директора з наукової роботи, **Перебудов Сергій Миколайович** — науковий співробітник.

Науково-дослідний центр квантової медицини «Відгук» МОЗ України

**Осадчий Володимир Петрович** — голова Асоціації «Хмельницьк-молоко»