

**BULLETIN 1' 2013  
ENGINEERING  
ACADEMY  
OF UKRAINE**



**1' 2013**

**ВІСНИК**

**ІНЖЕНЕРНОЇ  
АКАДЕМІЇ  
УКРАЇНИ**

ТЕОРЕТИЧНИЙ І НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ  
ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ

THEORETICAL AND APPLIED SCIENCE JOURNAL  
ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE



***В І С Н И К***  
***ІНЖЕНЕРНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ***

***ВИПУСК 1***

***BULLETIN OF ENGINEERING  
ACADEMY OF UKRAINE***

***Issue 1***

Київ 2013 Kyiv

В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф., П.І. Кулаков, к.т.н., доц.  
Т.В. Гнесь, С.В. Савенко

## ПРИСТРІЙ ПІДРАХУНКУ ПОРЦІЙ МОЛОКА З ФУНКЦІЄЮ КОНТРОЛЮ НАЯВНОСТІ ВОДИ В МОЛОЦІ

Вінницький національний технічний університет, e-mail: [kucheruk@mail.ru](mailto:kucheruk@mail.ru), [kpi@inbox.vn.ua](mailto:kpi@inbox.vn.ua)

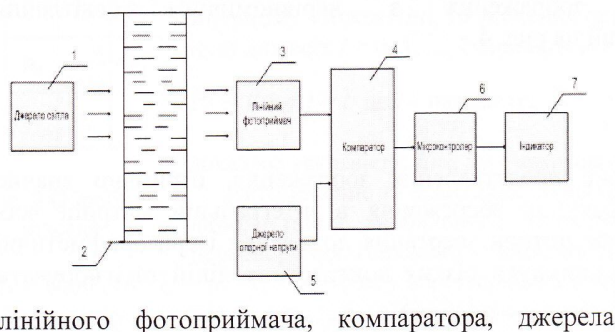
В даній статті розглядається пристрій підрахунку порцій молока з функцією контролю наявності води в молоці, який реалізований на основі оптичного датчика, наведено результати експериментальних залежностей вихідної напруги лінійного фотоприймача від процентного вмісту води в молоці, отримано рівняння, яке зв'язує вихідну напругу лінійного фотоприймача з відносним значенням масової частки молока у водно-молочному розчині.

**Вступ.** Стійлові доїльні установки мають найбільше розповсюдження на території України. На цих доїльних установках доїння відбувається шляхом послідовного підключення двох або трьох доїльних апаратів до вакуумпровода та тварин, які вишикувані у лінію. У лінії знаходиться 20-25 тварин, кожна лінія обслуговується одним доярем. У корівнику знаходиться від чотирьох до восьми ліній. Молоко від кожної тварини потрапляє в молокопровід, після чого стікає в дозатор, який знаходиться в кінці кожної лінії. Після того як в дозаторі накопичується порція молока визначеного об'єму, спрацьовує зливний клапан і порція зливається в автоматичну мішалку. Заробітна плата доярам нараховується у відповідності з кількістю порцій молока, які сформував дозатор і які підраховуються спеціальним лічильником.

Дана обставина стимулює завищення доярами кількості порцій молока шляхом розбавлення його водою, що є актуальною проблемою. Візуально виявити ці випадки дуже складно, так як відрізнити розбавлене водою молоко від чистого людське око не може.

**Постановка задачі.** В теперішній час на стійловому молокопроводі широке застосування знайшов лічильник для підрахунку порцій молока, що формуються дозатором, принцип дії якого полягає в наступному: порція молока, протікає через трубку, в яку вмонтовано інфрачервоний світлодіод та інфрачервоний фотоприймач. При проходженні молока через трубку, відбувається переривання світлового потоку від джерела світла, в результаті чого, на виході фотоприймача формуються імпульси, які підраховуються лічильним пристроєм, а результати підрахунку виводяться на засіб відображення інформації. Такий лічильник не реагує на незначне розбавлення молока, а при значному вмісті води в молоці, він втрачає свою працездатність. Тому актуальною є задача розробити такий лічильник, який окрім підрахунку порцій буде виявляти наявність води в молоці.

**Рішення проблеми.** Пропонується варіант пристрою підрахунку порцій молока для стійлового молокопроводу з функцією контролю наявності води в молоці, структурна схема якого наведена на рисунку 1.



лінійного фотоприймача, компаратора, джерела

Рис. 1 – Структурна схема пристрою підрахунку порцій молока для стійлового молокопроводу з функцією контролю наявності води в молоці

опорної напруги, мікроконтролера та індикатора. Принцип дії запропонованого пристрою полягає в наступному: світловий потік від джерела світла проходить крізь циліндричну трубку, по якій протікає молоко і потрапляє на лінійний фотоприймач. Вихідна напруга цього приймача прямо пропорційна світловому потоку, і відповідно є функцією процентного вмісту води в молоці. Ця напруга поступає на один вхід компаратора, а на інший його вхід поступає вихідна напруга джерела опорної напруги, рівень якої відповідає нерозбавленому молоку. Компаратор порівнює ці два сигнали, і якщо вихідна

напруга лінійного фотоприймача не перевищує норми, то порція молока захищується і вихідний сигнал передається на мікроконтролер, котрий під управлінням програми, яка знаходиться в його пам'яті, керує індикатором, який відображає кількість підрахуваних порцій молока.

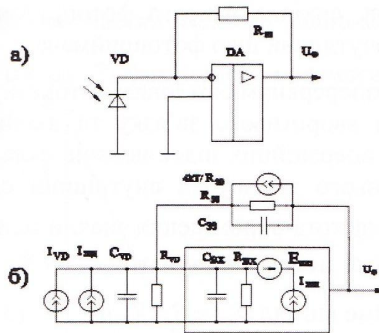


Рисунок 2- Фотоприймач на основі пари фотодіод-операційний підсилювач а) - електрична принципова схема; б) – еквівалентна схема.

напругу [1].

Вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач описується виразом [2].

$$\dot{U}_\phi = \frac{(K_0 R_{вх} R_{зз} S_{I0} - \frac{I_S e_e \dot{Z}_{EH}}{kT}) \Phi}{(1 + j\Omega \tau_{VD})(R_{зз} + R_{вх}(K_0 + 1)) - \frac{\Omega^2}{\Omega_{ГР}} R_{вх} R_{зз} (C_{вх} - C_{зз}) + j\Omega (\frac{R_{зз} + R_{вх}}{\Omega_{ГР}} + R_{вх} R_{зз} (C_{вх} + C_{зз}(K_0 + 1))) + \Delta R_{зз} + U_{зМ} + U_{Ш}} \quad (1)$$

де  $S_{I0}$  - інтегральна струмова чутливість фотодіоду при немодульованому опроміненні;  $\Phi$  - потік опромінення;  $I_S$  - темновий струм фотодіоду;  $T$  - абсолютна температура;  $k$  - постійна Больцмана;  $e_e$  - заряд електрону;  $\Omega$  - циклічна частота модульованого потоку опромінення;  $\tau_{VD}$  - постійна часу фотодіода, яка залежить від значень внутрішнього опору фотодіода  $R_{VD}$ , паразитної ємності фотодіода  $C_{VD}$ , часу розсмоктування неосновних носіїв заряду;  $R_{вх}$  - вхідний опір операційного підсилювача;  $U_{зМ}$  - напруга зміщення нуля операційного підсилювача;  $\Delta I$  - різниця вхідних струмів операційного підсилювача;  $U_{Ш}$  - напруга шуму на виході фотоприймача;  $C_{зз}$  - паразитна ємність кола зворотнього зв'язку;  $C_{вх}$  - вхідна ємність операційного підсилювача;  $K_0$  - коефіцієнт передачі операційного підсилювача на нульовій частоті;  $\Omega_{ГР}$  - гранична циклічна частота операційного підсилювача;  $\dot{Z}_{EH}$  - еквівалентний опір навантаження фотодіода.

Різниця вхідних струмів  $\Delta I$  для сучасних операційних підсилювачів складає одиниці нА, а напруга зміщення  $U_{зМ}$  - одиниці мВ. При умовах  $U_\phi \gg U_{зМ}$  та  $I_{VD} \gg \Delta I$ , значеннями  $U_{зМ}$  та  $\Delta I$  можна знехтувати. При використанні елементної бази з низьким рівнем шумів, шумовою складовою виразу (1) можна знехтувати. Внаслідок малого значення падіння напруги на фотодіоді при його роботі у фотовольтаїчному режимі та малого значення темнового струму, друга складова чисельника виразу (1) близька до нуля. З урахуванням цих умов вираз (1) приймає вигляд

$$\dot{U}_\phi = \frac{\Phi S_{I0} K_0 R_{BX} R_{33}}{(1 + j\Omega\tau_{VD})} \cdot \frac{K_0 R_{BX} + R_{33} + R_{BX} - \frac{\Omega^2 R_{BX} R_{33} (C_{BX} - C_{33})}{\Omega_{GP}} + j\Omega \left( \frac{R_{33} + R_{BX}}{\Omega_{GP}} + R_{BX} R_{33} (C_{BX} + C_{33} (K_0 + 1)) \right)}{\Omega_{GP}} \quad (2)$$

Із (2) випливає, що при виконанні вищевказаних умов, вихідна напруга фотоприймача прямо пропорційна світловому потоку, який попадає на фоточутливий шар фотоприймача.

В даному випадку лінійний фотоприймач освітлюється безперервним світловим потоком. Це дає змогу знехтувати впливом паразитної ємності в колі зворотнього зв'язку та вхідною ємністю операційного підсилювача. Вхідний опір сучасних операційних підсилювачів складає десятки МОм, що значно перевищує опір в колі зворотнього зв'язку та внутрішній опір фотодіода. Тому можна прийняти  $R_{BX} = \infty$ . При умові, що частота опромінення значно менша за граничну частоту фотодіода, його частотними властивостями можна знехтувати.

$$\text{Вираз (2), з урахуванням усіх вищевказаних умов, приймає вигляд } U_\phi = S_{I0} R_{33} \Phi \quad (3)$$

Вираз (3) є максимально спрощеною математичною моделлю фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач, і з нього випливає, що вихідна напруга такого фотоприймача прямопропорційна світловому потоку.

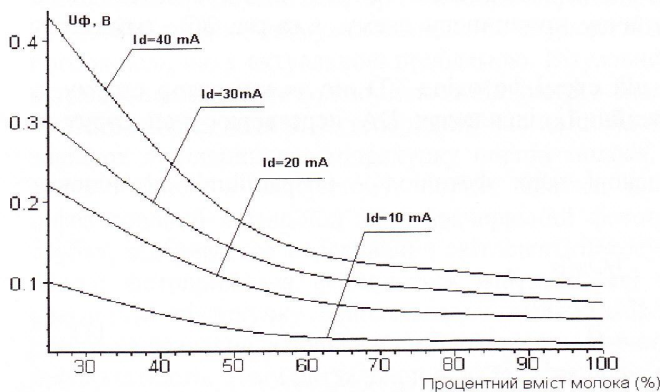


Рисунок 3 - Залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач від вмісту молока у розчині при різних значеннях струму світло діода

підсилювач від процентного вмісту води в молоці при різних значеннях струму світлодіода і відповідно світлового потоку наведені на рисунку 3.

Для характеристики абсорбційної здатності розчину використовується коефіцієнт внутрішнього пропускання [5].

$$V = \frac{\Phi_e}{\Phi_i}, \quad (4)$$

де  $\Phi_i$  - світловий потік, який утворюється інфрачервоним випромінювачем;  $\Phi_e$  - світловий потік, який попадає на фотоприймач після проходження крізь молочний розчин.

Залежність вихідного світлового від відносного значення масової частки молока у розчині у відповідності за законом Бугера-Ламберта-Бера  $V = \frac{\Phi_e}{\Phi_i} = 10^{-\varepsilon cd}$ , (5)

де  $d$  - товщина молочного шару, який просвічується інфрачервоним випромінюванням;  $c$  - відносна масова частка молока в розчині;  $\varepsilon$  - молярний десятковий показник екстинкції молока.

Із виразу (5) після нескладних перетворень отримуємо вираз, який зв'язує вхідний і вихідний світловий потоки  $\Phi_e = \Phi_i \cdot 10^{-\varepsilon cd}$  (6)

Підставивши вираз (6) до (3), отримуємо рівняння, яке зв'язує вихідну напругу лінійного фотоприймача на основі пари фотодіод-операційний підсилювач з відносним значенням масової частки молока у водно-молочному розчині  $U_\phi = S_{10} R_{33} \Phi_i \cdot 10^{-\varepsilon cd}$  (7)

Вираз (7) фактично є математичною моделлю вимірювального каналу прозорості водно –

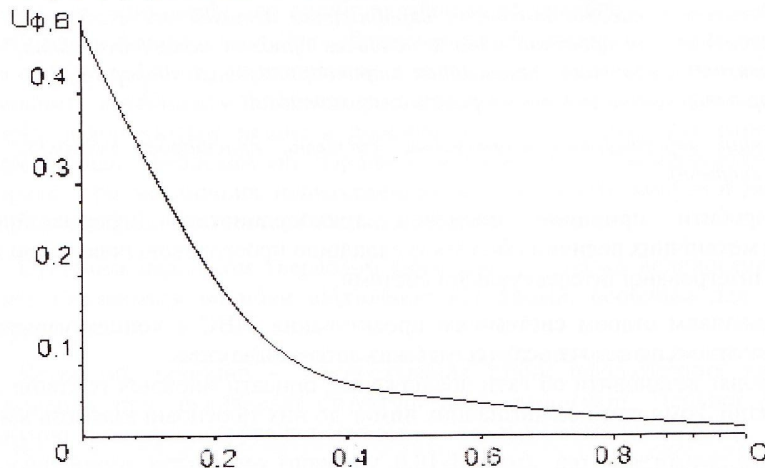


Рис. 4 – Теоретична залежність вихідної напруги лінійного фотоприймача від відносної частки молока у водно-молочному розчині

молочного розчину, яка зв'язує вихідну напругу фотоприймача з відносним значенням масової частки молока у водно-молочному розчині, його товщиною та екстинкцією.

На рисунку 4 наведено типовий графік функції, що описується виразом (7). В якості змінної обрано відносну масову частку молока у водно-молочному розчині с.

Як випливає із порівняння графіків на рисунку 3 та 4, характер зміни теоретичної кривої збігається з експериментально отриманими кривими.

#### Висновки

В роботі розглянуто варіант структурної схеми пристрою підрахунку порцій молока для стійлового молокопроводу з функцією контролю наявності води в молоці. В результаті створення математичної моделі фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач, який є складовою частиною вимірювального каналу прозорості молока, отримано теоретичну залежність, яка характеризує залежність вихідної напруги фотоприймача від відносного вмісту води в молоці, отримано рівняння, яке зв'язує вихідну напругу лінійного фотоприймача з відносним значенням масової частки молока у водно – молочному розчині. Разом з тим, після аналізу теоретичного розрахунку залежності прозорості молока від процентного вмісту молока в розчині, спостерігається відповідність теоретичних розрахунків отриманим експериментальним даним.

#### Список літературних джерел

1. Аксененко М.Д., Микроэлектронные фотоприемные устройства/ Аксененко М.Д., Бараночников М.Л., Смолин О.В. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
2. Математична модель оптичного датчика наявності води в молоці: Міжнародний науково-технічний журнал «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології», Вінниця - Кулаков ПІ, Гнесь Т.–с. 121–126.
3. Оптичний датчик наявності води в молоці: матеріали шостої міжнародної науково-технічної конференції «Фотоніка ОДС– 2012», Вінниця – Гнесь Т. – с.144.
4. Мікропроцесорний пристрій для виявлення води в молоці: матеріали XI міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)», Вінниця–Гнесь Т.–с. 67-68.
5. А. Тёпел. Химия и физика молока // Пищевая промышленность, 1979. – с. 542 – 543.