

## МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ ЧАСТОТНИЙ ВИТРАТОМІР НА ОСНОВІ БІПОЛЯРНОГО І ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРІВ

У даній роботі представлені дослідження мікроелектронного частотного витратоміра на основі біполярного і польового транзисторів. Показана можливість перетворення витрат газового середовища у частоту на основі автогенераторного пристрою, що складається з біполярного і польового транзисторів, а також електричного моста, в плечах якого включені чутливі елементи на основі напівпровідникових діодів. Отримані аналітичні залежності функції перетворення і рівняння чутливості. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість розробленого витратоміра з частотним виходом складає 20 - 54  $\mu\text{Гц/л/год}$ .

### Вступ

Частотні перетворювачі мають ряд переваг перед аналоговими, які полягають у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє збільшити точність вимірювання, а також у можливості одержання великих вихідних сигналів. Це дозволяє відмовитись від підсилювальних пристроїв у наступній обробці сигналів. Використання частотного сигналу в якості інформативного дозволяє відмовитись від аналого-цифрових перетворювачів, що підвищує економічність вимірювальної апаратури [1].

В даний час ведуться інтенсивні дослідження з вивчення властивостей аналогових витратомірів [2-4], хоча дослідження характеристик витратомірів з частотним виходом на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором знаходяться на початковій стадії. Тому дана робота присвячена дослідженню основних параметрів витратомірів газу на основі вищезгаданих структур.

### Експериментальні та теоретичні дослідження

Електрична схема мікроелектронного частотного витратоміра подана на рис.1. Вона являє собою гібридну інтегральну схему, що складається з польового VT1 і біполярного VT2 транзисторів, опорів R3-R6, а також моста, який містить опори R1-R2 та термочутливі діоди VD1 і VD2. Діоди VD1 і VD2 розташовані у вимірювальній теплоізолюваній трубці 1,0x0,1, яка виготовлена із сталі марки X18H01T, довжина якої дорівнює 80 мм. Вимірювальна трубка захищена кожухом. Нагрівач виконаний з проводу ПЭВММ  $\varnothing$  0,05 мм, довжина обмотки 8 мм. Діоди виготовлені на основі безкорпусних транзисторів КТ307, що дозволяє отримати високу точність перетворювача в порівнянні з приладами, що вимірюють температуру на основі диференціальних термобатареї [2]. Дана схема дозволяє реалізувати автогенераторний пристрій, в якому коливальний контур складається з еквівалентної ємності повного опору на електродах стік-колектор транзисторів VT1 і VT2 та пасивної індуктивності. При проходженні потоку повітря через вимірювальну трубку відбувається зміна температури термочутливих діодів VD1 і VD2, яка пропорційна кількості втрат повітря, що пройшло через вимірювальну трубку. Зміна температури діодів викликає зміну вихідної напруги моста, що приводить до зміни еквівалентної ємності коливального контуру, а це викликає зміну резонансної частоти автогенератора. Втрати енергії в коливальному контурі компенсуються від'ємним опором [5].

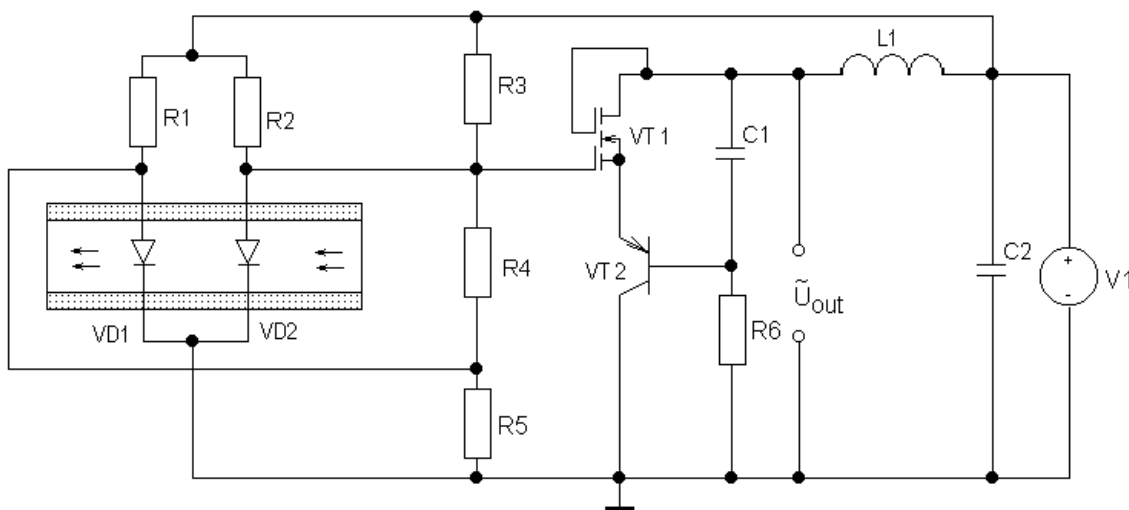


Рис.1.Схема мікроелектронного частотного витратоміра

Розглянемо залежність опору і ємності термочутливих діодів від температури. Згідно теорії напівпровідникових приладів можна записати [6]

$$R_E = \frac{kT}{qI_E}, \quad (1)$$

$$C_D = I_E \frac{q}{kT} \tau_n, \quad (2)$$

де  $q$  – заряд електрона,  $k$  – стала Больцмана,  $T$  – температура,  $\tau_n$  – час життя електронів,  $I_E$  – струм емітера. У свою чергу, витрати повітря  $Q$  залежать від зміни температури таким чином [7]

$$Q = \left[ \frac{1}{K_2} \left( \frac{UI}{T - T_0} - K_1 \right) \right]^n, \quad (3)$$

де  $K_1$  і  $K_2$  – константи приладу,  $U, I$  – напруга і струм на діодах,  $T$  – температура діодів,  $T_0$  – температура навколишнього середовища,  $n \approx 0,5$ .

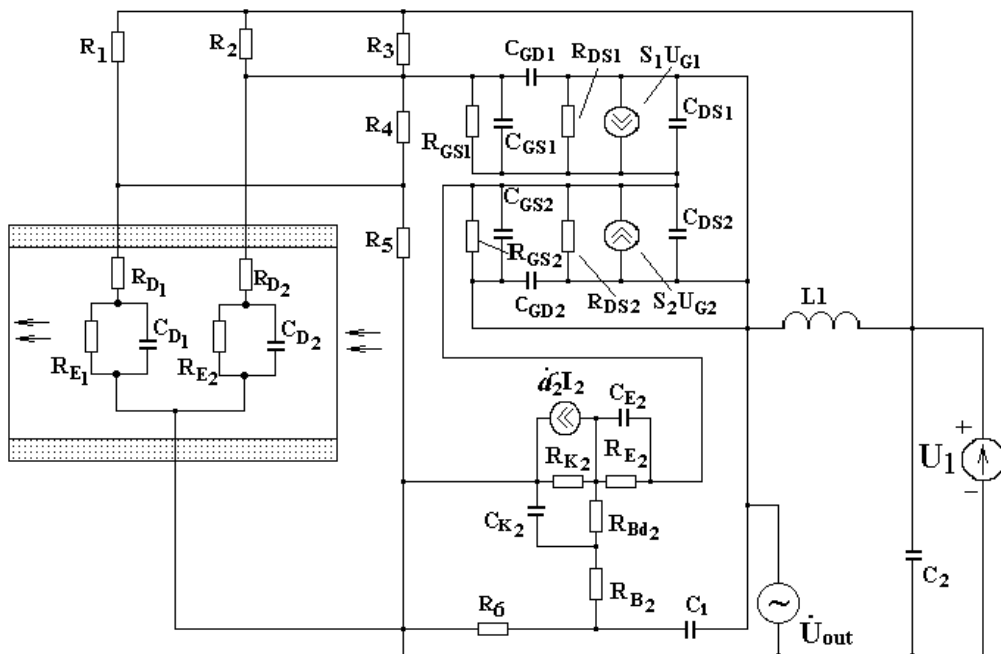


Рис.2. Еквівалентна схема мікроелектронного частотного витратоміра

Аналітичну залежність функції перетворення можна визначити на основі еквівалентної схеми пристрою, яка подана на рис.2, виходячи з теорії стійкості Ляпунова [8]. Функція перетворення має вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B_1 + \sqrt{B_1 + 4L_1 C_{GD} (C_D(Q) R_E(Q))^2}}{2L_1 C_{GD} (R_E(Q) C_D(Q))^2}}, \quad (4)$$

де

$$B_1 = L_1 C_{GD} - (C_D(Q) R_E(Q))^2 - C_{GD} C_D(Q) R_E^2(Q),$$

$L_1$  – зовнішня пасивна індуктивність,  $C_D, R_E$  – дифузійна ємність та опір термочутливих діодів VD1 і VD2,  $C_{GD}$  – ємність затвор-стік польового транзистора VT1. Графічна залежність функції перетворення подана на рис.3.

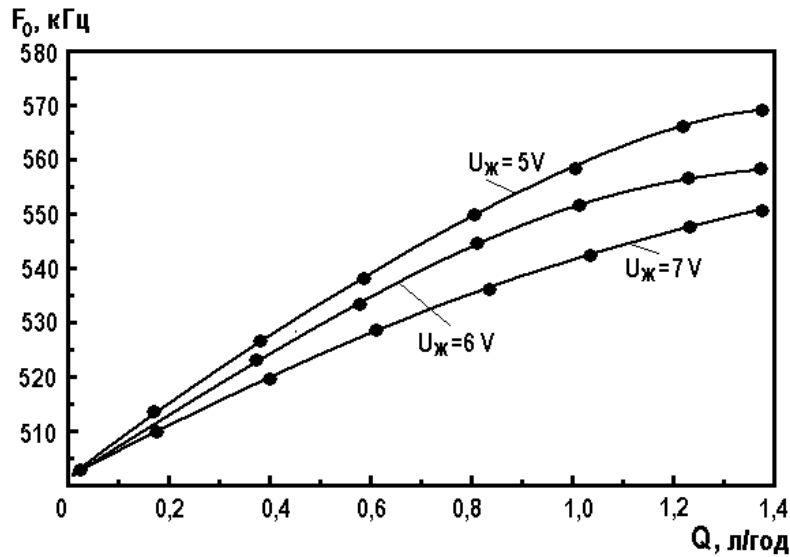


Рис.3. Залежність частоти генерації від витрат газу

Чутливість витратоміра визначається на основі виразу (4) і описується рівнянням

$$\begin{aligned}
 S_Q^{F_0} = & -0.0198 \left( -2C_D(Q)R_E^3(Q)C_{GD} \left( \frac{\partial C_D(Q)}{\partial Q} \right) \sqrt{B_1 + 2B_2} - 2C_D^2(Q)R_E^3(Q) \left( \frac{\partial C_D(Q)}{\partial Q} \right) - \right. \\
 & -2C_D^3(Q)R_E^2(Q) \left( \frac{\partial R_E(Q)}{\partial Q} \right) - 3C_D(Q)R_E^3(Q)C_{GD} \left( \frac{\partial C_D(Q)}{\partial Q} \right) - 2C_{GD}C_D^2(Q)R_E^2(Q) \times \\
 & \times \left( \frac{\partial R_E(Q)}{\partial Q} \right) + 8C_D^2(Q)R_E^3(Q)L_1C_{GD} \left( \frac{\partial C_D(Q)}{\partial Q} \right) + 8L_1C_{GD}C_D^2(Q)R_E^2(Q) \left( \frac{\partial R_E(Q)}{\partial Q} \right) + \\
 & + 4L_1C_{GD}R_E(Q) \left( \frac{\partial C_D(Q)}{\partial Q} \right) \sqrt{B_1 + 2B_2} + 4R_E(Q) \left( \frac{\partial C_D(Q)}{\partial Q} \right) L_1C_{GD} + 4C_D(Q)L_1C_{GD} \times \\
 & \times \left( \frac{\partial R_E(Q)}{\partial Q} \right) \sqrt{B_1 + 2B_2} + 4L_1C_{GD}C_D(Q) \left( \frac{\partial R_E(Q)}{\partial Q} \right) \left. \right) / \left( \left( 2\sqrt{B_1 + \sqrt{B_1 + 2B_2}} / B_2 \right) \times \right. \\
 & \left. \times L_1C_{GD}C_D^3(Q)R_E^3(Q)\sqrt{B_1 + 2B_2} \right),
 \end{aligned} \tag{5}$$

де  $B_2 = 2L_1C_{GD}(C_D(Q)R_E(Q))^2$ .

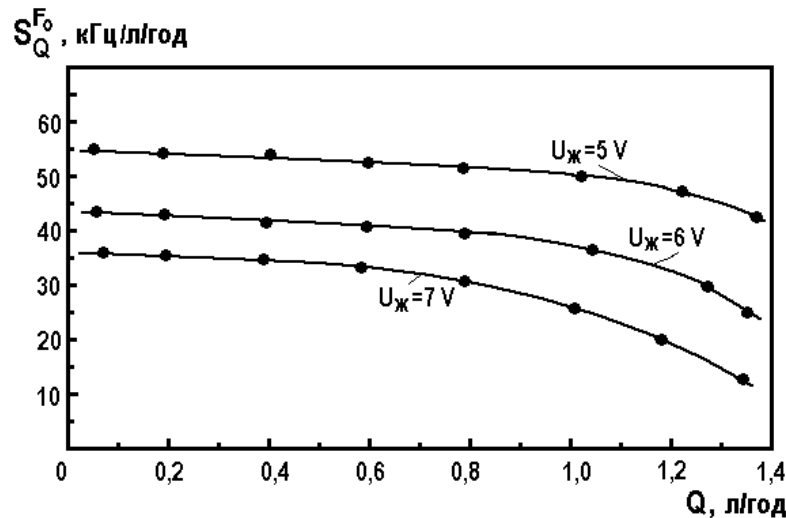


Рис.4. Залежності чутливості витратоміра від витрат газового середовища

Графік залежності чутливості витратоміра з частотним виходом подано на рис.4. Як видно із графіка, чутливість пристрою складає 20 -54 кГц/л/год.

### **Висновки**

Показана можливість перетворення витрат газового середовища у частоту на основі автогенераторного пристрою, що складається з біполярного і польового транзисторів, а також електричного моста, в плечах якого включені чутливі елементи на основі напівпровідникових діодів. Отримані аналітичні залежності функції перетворення і рівняння чутливості. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість розробленого витратоміра з частотним виходом складає 20 -54 кГц/л/год.

### **Література**

1. Новицкий П.В., Кноринг В.Г., Гутников В.С. Цифровые приборы с частотными датчиками. –Ленинград: Энергия, 1970. – 424 с.
2. Кремлевский П.П. Расчет и конструирование расходомеров. – Ленинград: Машиностроение, 1978. – 223 с.
3. Пістун Е., Лесовой Л. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. – Львів: ЗАТ "Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв", 2006. –570 с.
4. Евтихийев Н.Н., Купершмидт Я.А., Папуловский В.Ф., Скугоров В.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин. –М.: Энергоатомиздат, 1990. –349 с.
5. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором. –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2000. – 303 с.
6. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. –М.: Радио и связь, 1990. –264 с.
7. Виглеб Т. Датчики. –М.: Мир, 1989. – 196 с.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. –М.: Наука, 1968. –720 с.

**ОСАДЧУК Володимир Степанович** – д.т.н., проф., завідувач кафедри електроніки, Вінницький національний технічний університет. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця - 21021, Україна.  
Тел.: (0432) 59-80-13; e-mail: osadchuk69@mail.ru

**ОСАДЧУК Олександр Володимирович** – д.т.н., проф., завідувач кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця - 21021, Україна.  
Тел.: (0432) 59-84-81; e-mail: osadchuk69@mail.ru

**ЮЩЕНКО Юрій Андрійович** – аспірант кафедри електроніки, Вінницький національний технічний університет.

**ЯРОСЛАВЦЕВ Олександр Олексійович** – магістр кафедри електроніки, Вінницький національний технічний університет.