

УДК 681.382

**В. С. Осадчук<sup>1</sup>**  
**О. В. Осадчук<sup>1</sup>**  
**Ю. А. Ющенко<sup>1</sup>**  
**Н. А. Яремішена<sup>1</sup>**  
**Я. О. Осадчук<sup>1</sup>**

## **ВОЛЬТ-АМПЕРНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОГО МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВИТРАТ РІДИНИ НА ОСНОВІ БІПОЛЯРНОЇ ТРАНЗИСТОРНОЇ СТРУКТУРИ**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Запропоновано використати еквівалентну схему радіовимірювального мікроелектронного перетворювача витрат рідини, на основі якої отримано аналітичний вираз для розрахунку вольт-амперної характеристики частотного перетворювача витрат рідини.*

**Ключові слова:** рівняння Кірхгофа, частотний перетворювач, від'ємний диференційний опір, робоча точка.

### **Вступ**

Одним з нових наукових напрямків створення радіовимірювальних мікроелектронних перетворювачів витрат рідини є використання реактивних властивостей напівпровідникових чутливих елементів з від'ємним опором. Це дозволяє перетворювати витрати рідини у частотний вихідний сигнал, що забезпечує високу завадостійкість, а, отже, і високу точність вимірювання витрат. Окрім того, радіовимірювальні перетворювачі з частотним вихідним сигналом поєднують як простоту, так і універсальність, які властиві аналоговим пристроям, а також точність і завадостійкість, що характерні для перетворювачів з кодовим виходом. Вони володіють високою чутливістю до вимірюваних параметрів, малою масою і габаритами, інформаційною, конструктивною і технологічною сумісністю з мікроелектронними засобами обробки інформації, що забезпечує їх перевагу перед існуючими витратомірами [1].

З метою вивчення властивостей радіовимірювальних мікроелектронних перетворювачів витрат рідини необхідно розробити математичну модель, за допомогою якої отримають залежності вольт-амперних характеристик, які б підтвердили справедливості теоретичних положень.

Визначення аналітичної залежності вольт-амперної характеристики перетворювача дозволяє правильно обрати робочу точку на спадній ділянці, яка забезпечує самозбудження і стійкість роботи автогенераторного пристрою перетворювача, а, з другого боку, показує границі роботи пристрою, виходячи з режимів живлення з постійної напруги.

### **Розрахунки вольт-амперної характеристики**

Електрична схема витратоміра подана на рис. 1.

Вона складається з двох біполярних транзисторів  $VT1$  і  $VT2$ , які разом з індуктивністю  $L1$ , ємностями  $C1—C3$  утворюють автогенератор. Через резистори  $R1—R3$  здійснюється живлення пристрою за допомогою джерел постійної напруги  $U1$  і  $U2$ . В якості чутливих елементів витрат рідини використовують транзистори  $VT1$  і  $VT2$ .

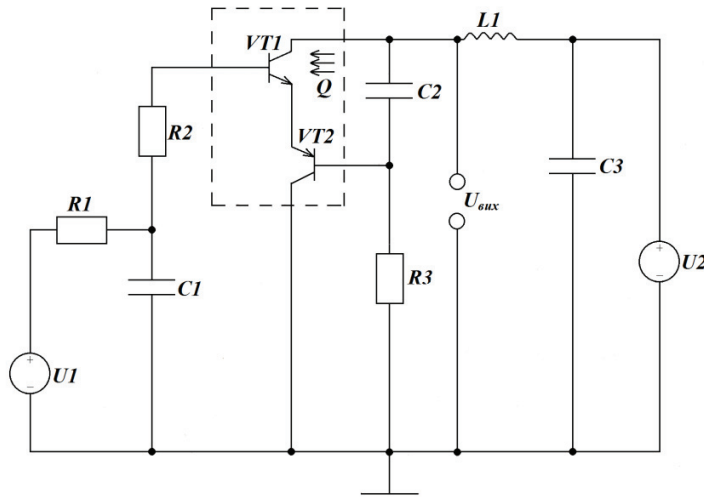


Рис. 1. Електрична схема радіовимірювального мікроелектронного перетворювача витрат рідини

Еквівалентна схема пристрою для постійного струму показана на рис. 2.

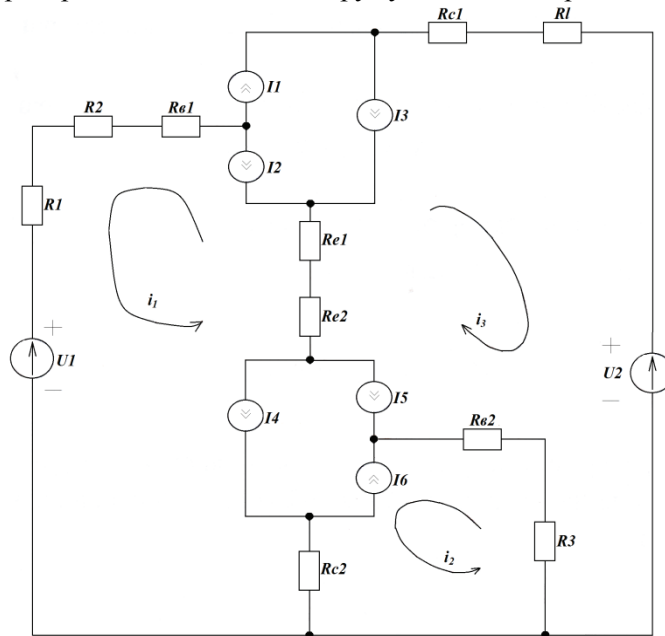


Рис. 2. Еквівалентна схема перетворювача з постійного струму

Елементи еквівалентної схеми описують такими величинами:  $R_b$  — опір бази,  $R_e$  — опір емітерного переходу,  $R_1 - R_3$  — опори діляника,  $R_L$  — опір індуктивності коливального контуру. Джерела струму  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$  описуються виразами [1, 2]

$$I_1 = \frac{I_{bc1}}{\beta_i}; \quad I_2 = \frac{I_{be1}}{\beta_N}; \quad I_3 = \beta_N I_{едиф1} + \beta_i I_{сдиф1};$$

$$I_4 = \beta_N I_{едиф2} + \beta_i I_{сдиф2}; \quad I_5 = \frac{I_{be2}}{\beta_N}; \quad I_6 = \frac{I_{bc2}}{\beta_i},$$

де  $I_{bc}, I_{be}$  — струм база-колектор та база-емітер;  $\beta_i$  — статичний коефіцієнт передачі струму в інверсному режимі;  $\beta_N$  — статичний коефіцієнт передачі струму в активному режимі;  $I_{едиф}$  — дифузійна складова емітерного струму;  $I_{сдиф}$  — дифузійна складова колекторного струму.

Струм бази-емітера  $I_{be}$  і бази-колектора  $I_{bc}$  описуються виразами [1]

$$I_{be} = I_{be0} \left[ \exp(U_{be}/(m_e \phi_T)) - 1 \right]; \quad I_{bc} = I_{bc0} \left[ \exp(U_{bc}/(m_c \phi_T)) - 1 \right],$$

де  $I_{bc0}, I_{be0}$  — теплові струми колекторного і емітерного переходів,  $U_{bc}, U_{be}$  — напруги на переходах база-колектор і база-емітер;  $m_c, m_e$  — коефіцієнти не ідеальності колекторного і емітерного переходів;  $\phi_T$  — температурний потенціал.

Опір напівпровідникового матеріалу бази описується формулою [1]

$$R_b = R_{b0} + R_{bg}, \quad (1)$$

де  $R_{b0}$  — омичний опір матеріалу бази,  $R_{bg}$  — диференціальний опір бази.

Омичний опір бази описується виразом

$$R_{b0} = \rho \left[ \frac{1}{2w} + \frac{l}{aw_1} \right], \quad (2)$$

де  $\rho$  — питомий опір матеріалу бази,  $a, l, w, w_1$  — ширина, довжина та товщина активної і пасивної частини базової області, відповідно.

Дифузійний опір визначається за формулою

$$R_{bg} = \frac{kT}{2qI_e(1-h_{21B})}. \quad (3)$$

З урахуванням (2) і (3) формула (1) набуває вигляду:

$$R_b = \rho \left[ \frac{1}{2w} + \frac{l}{aw_1} \right] + \frac{kT}{2qI_e(1-h_{21B})}. \quad (4)$$

Опір емітерного переходу має вигляд [3]

$$R_e = \frac{kT}{2qI_e}.$$

Опір колекторного переходу описується виразом [3]

$$R_c = \frac{wU_c}{d_c I_e (1-h_{21B})},$$

де  $w$  — ширина бази,  $d_c$  — товщина шару об'ємного заряду колекторного переходу,  $h_{21B}$  — коефіцієнт передачі струму.

Рівняння Кірхгофа, згідно з напрямками контурних струмів, мають вигляд

$$\begin{cases} U_1 = (R_1 + R_{c2} + R_{e1} + R_{e2} + R_{d1} + R_2)(i_1 + I_3 - I_2 + I_1 - I_4 + I_5 - I_6) + \\ \quad + (R_{e1} + R_{e2})(i_3 - I_3 - I_1 + I_2 - I_5 + I_6 + I_4); \\ 0 = (R_{d2} + R_{c2} + R_3)(i_3 - I_6 + I_5 - I_4) - R_{c2}(i_1 + I_3 - I_2 + I_1 - I_4 + I_5 - I_6) + \\ \quad + (R_{d2} + R_3)(i_3 - I_3 - I_1 + I_2 - I_5 + I_6 + I_4); \\ U_2 = (R_L + R_{c1} + R_{e1} + R_{e2} + R_{d2} + R_3)(i_3 - I_3 - I_1 + I_2 - I_5 + I_6 + I_4) + \\ \quad + (R_{e1} + R_{e2})(i_1 + I_3 - I_2 + I_1 - I_4 + I_5 - I_6) + (R_{d2} + R_3)(i_3 - I_6 + I_5 - I_4). \end{cases} \quad (5)$$

Для спрощення запису системи рівняння (5) введемо такі позначення:

$$\begin{aligned} A_1 &= (R_1 + R_{c1} + R_{e1} + R_{e2} + R_2); & I_7 &= (I_3 - I_2 - I_1); \\ A_2 &= (R_{e1} + R_{e2}); & I_8 &= (I_5 - I_4 - I_6); \\ A_3 &= (R_{d2} + R_{c2} + R_3); & I_9 &= (I_2 - I_1 - I_3); \\ A_4 &= (R_{d2} + R_3); & I_{10} &= (I_6 - I_5 - I_4); \\ A_5 &= (R_L + R_{c1} + R_{e1} + R_{e2} + R_{d2} + R_3); \end{aligned} \quad (6)$$

тоді система рівнянь (5) набуде вигляду:

$$\begin{cases} U_1 = A_1(i_1 + I_7 + I_8) + A_2(i_3 + I_9 + I_{10}) - R_{c2}(i_2 + I_8); \\ 0 = A_3(i_2 + I_8) - R_{c2}(i_1 + I_7 + I_8) + A_4(i_3 + I_9 + I_{10}); \\ U_2 = A_5(i_3 + I_9 + I_{10}) + A_2(i_1 + I_7 + I_8) + A_4(i_2 + I_8). \end{cases} \quad (7)$$

Зробимо подальше спрощення запису системи рівнянь (7) введенням таких позначень:

$$\begin{aligned} B_1 &= U_1 - A_1 I_7 - A_1 I_8 - A_1 I_9 - A_2 I_{10} - R_{c2} I_8; \\ B_2 &= -A_3 I_8 + R_{c2} I_7 + R_{c2} I_8 - A_4 I_9 - A_4 I_{10}; \\ B_3 &= U_1 - A_5 I_9 - A_5 I_{10} - A_2 I_8 - A_2 I_7 - A_4 I_8. \end{aligned} \quad (8)$$

Тоді систему (7) можна записати у вигляді

$$\begin{cases} B_1 = A_1 i_1 + A_2 i_3 - R_{c2} i_2; \\ B_2 = A_3 i_2 - R_{c2} i_1 + A_4 i_3; \\ B_3 = A_5 i_3 + A_2 i_1 + A_4 i_2. \end{cases} \quad (9)$$

З першого рівняння системи (9) визначимо струм  $i_1$

$$i_1 = D_1 - D_2 i_3 + D_3 i_2, \quad (10)$$

де

$$D_1 = \frac{B_1}{A_1}; \quad D_2 = \frac{A_2}{A_1}; \quad D_3 = \frac{R_{c2}}{A_1}.$$

З другого рівняння системи (9) визначаємо струм  $i_2$ , підставляючи в нього значення струму  $i_1$ , отже

$$i_2 = D_4 + D_5 - D_6 i_3, \quad (11)$$

де

$$D_4 = \frac{B_2}{A_3 - R_{c2} D_3}; \quad D_5 = \frac{R_{c2} D_1}{A_3 - R_{c2} D_3}; \quad D_6 = \frac{R_{c2} D_2 + A_4}{A_3 - R_{c2} D_3}.$$

На рис. 3 зображені теоретичні та експериментальні залежності струму від напруги досліджуваного перетворювача.

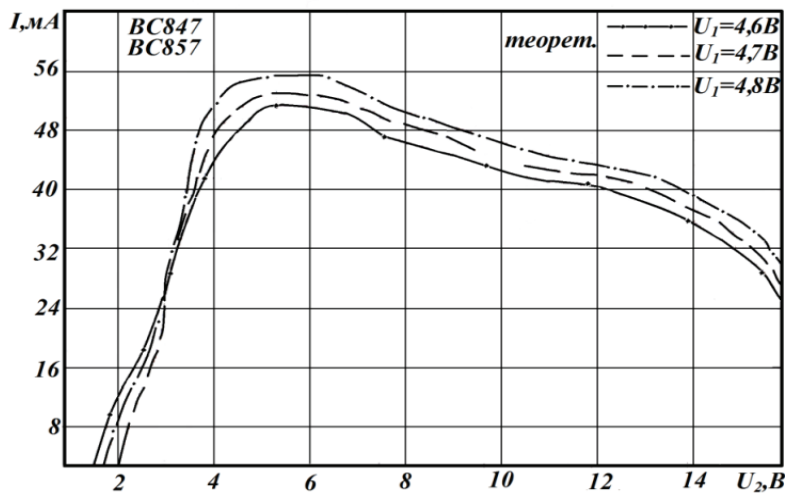


Рис. 3. Теоретична та експериментальна залежність струму від напруги для радіовимірального перетворювача витрат рідини на основі біполярної транзисторної структури

Підставляючи (10) і (11) в третє рівняння системи (9), отримуємо значення струму  $i_3$

$$i_3 = \frac{B_3 - A_2 D_1 - A_4 D_4 - A_4 D_5 - A_2 D_3 D_4 - A_2 D_3 D_5}{A_2 - A_2 D_2 - A_4 D_6 - A_2 D_3 D_6}. \quad (12)$$

Виходячи з виразу (12), розраховано вольт-амперну характеристику перетворювача витрат на основі біполярної транзисторної структури. Гібридна інтегральна схема виготовлена із застосуванням кристалів біполярних транзисторів BC847 і BC857. Як видно з графіка, коли напруга керування  $U_1 = 4,6 \text{ В}$ , ділянка від'ємного опору по  $U_2$  лежить в діапазоні від 5 В до 14 В.

### Висновок

На основі використання еквівалентної схеми отримано аналітичний вираз для розрахунку вольт-амперної характеристики частотного перетворювача витрат рідини. Розрахована за запропонованою методикою вольт-амперна характеристика має чітко виражену ділянку від'ємного диференційного опору, яка є базою для вибору робочої точки (режиму роботи) і розрахунків параметрів частотного перетворювача.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества / П. П. Кремлевский. — Л. : Машиностроение, 1975. — 776 с.
2. Разевиг В. Д. Применение программ P-САД и Pspice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. Выпуск 2 : Модели компонентов аналоговых устройств / В. Д. Разевиг. — М.: Радио и связь, 1992. — 64 с.
3. Ющенко Ю. А. Тепловий витратомір на основі транзисторної структури з від'ємним опором / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Ю. А. Ющенко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Спецвипуск. — 2007. — С. 221—223.

Рекомендована кафедрою електроніки

Стаття надійшла до редакції 17.04.2014

**Осадчук Володимир Степанович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри електроніки;  
**Осадчук Олександр Володимирович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки;  
**Ющенко Юрій Андрійович** — канд. техн. наук, асистент кафедри радіотехніки;  
**Яремішена Наталія Андріївна** — студентка Інституту радіотехніки, зв'язку та приладобудування;  
**Осадчук Ярослав Олександрович** — студент Інституту радіотехніки, зв'язку та приладобудування.  
 Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**V. S. Osadchuk<sup>1</sup>**  
**O. V. Osadchuk<sup>1</sup>**  
**Yu. A. Yushchenko<sup>1</sup>**  
**N. A. Yaremishena<sup>1</sup>**  
**Ya. O. Osadchuk<sup>1</sup>**

## Current-voltage characteristics of radiometric microelectronic transducer fluid flow based on bipolar transistor structure

<sup>1</sup>Vinnytsia National Technical University

*It has been offered to use the equivalent chart of radiomeasuring microelectronic transducer of fluid consumption on the basis of which analytical expression is got for the calculation of volt-ampere description of the frequency of converter fluid flow.*

**Keywords:** Kirchhoff equation, frequency, negative differential resistance, operating point.

**Osadchuk Volodymyr S.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor the Chair of Electronics;  
**Osadchuk Oleksandr V.** — Dr. Sc. (Econ.), Professor, Head of the Chair of Radio Engineering;  
**Yushchenko Yuriy A.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant of the Chair of Radio Engineering;  
**Yarmishena Nataliia A.** — Student of the Institute of Radio Engineering and Communication Instrument;  
**Osadchuk Yaroslav O.** — Student of the Institute of Radio Engineering and Communication Instrument

**В. С. Осадчук<sup>1</sup>**  
**А. В. Осадчук<sup>1</sup>**  
**Ю. А. Ющенко<sup>1</sup>**  
**Н. А. Яремишена<sup>1</sup>**  
**Я. А. Осадчук<sup>1</sup>**

## **Вольт-амперная характеристика радиоизмерительных микроэлектронных преобразователей расхода жидкости на основе биполярной транзисторной структуры**

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

*Предложено использовать эквивалентную схему радиоизмерительного микроэлектронного преобразователя расхода жидкости, на основе которой получено аналитическое выражение для расчета вольт-амперной характеристики частотного преобразователя расхода жидкости.*

**Ключевые слова:** уравнения Кирхгофа, частотный преобразователь, отрицательный дифференциальное сопротивление, рабочая точка.

**Осадчук Владимир Степанович** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электроники;

**Осадчук Александр Владимирович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники;

**Ющенко Юрий Андреевич** — канд. техн. наук, ассистент кафедры радиотехники;

**Яремишена Наталья Андреевна** — студентка Института радиотехники, связи и приборостроения;

**Осадчук Ярослав Александрович** — студент Института радиотехники, связи и приборостроения