

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИТРАТ РІДИНИ В ТРУБОПРОВОДІ

Отримано аналітичний вираз вольт-амперної характеристики частотного перетворювача для контролю витрат рідини в трубопроводі на основі системи рівнянь Кірхгофа, складеної для еквівалентної схеми перетворювача по постійному струму.

Ключові слова: рівняння Кірхгофа, трубопровід, частотний перетворювач, від'ємний диференціальний опір, робоча точка.

Y. S. KRAVCHENKO, V.S. OSADCHUK, N.A. YAREMISENA
Vinnytsya National Technical University, Vinnytsya, Ukraine

DEFINITION OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTIC OF FREQUENCY CONVERTER FOR CONTROLLING LIQUID FLOW IN THE PIPELINE

Abstract - The aim of the research - to determine the current-voltage characteristics of the frequency converter on the basis of its equivalent circuit and compiled system of Kirchhoff equations.

An analytical expression of current-voltage characteristics of the frequency converter for controlling the liquid flow in the pipeline on the basis of Kirchhoff equations compiled for the equivalent circuit of the DC converter.

Keywords: Kirchhoff equation, pipeline, frequency converter, a negative differential resistance, operating point.

Вступ

Підвищення ефективності контролю витрат рідини в трубопроводі фахівці пов'язують як із застосуванням сучасних методів контролю [1, 2], так і з використанням нових розробок в області контролю витрат рідини в трубопроводі, зокрема, методу перетворення інформаційних аналогових сигналів в частотні [3].

Запропонована нами система контролю витрат рідини в трубопроводі [4] на основі використання частотного перетворювача з активним індуктивним елементом певним чином вирішує цю задачу, але потребує деяких практичних уточнень, зокрема, пов'язаних з вибором робочої точки автогенератора зазначеного перетворювача, а, значить, і визначення його вольт-амперної характеристики.

Метою роботи – є визначення вольт-амперної характеристики частотного перетворювача на основі використання його еквівалентної схеми та складеної для неї системи рівнянь Кірхгофа.

Визначення вольт-амперної характеристики

Схема системи контролю витрат рідини в трубопроводі наведена на рис. 1.

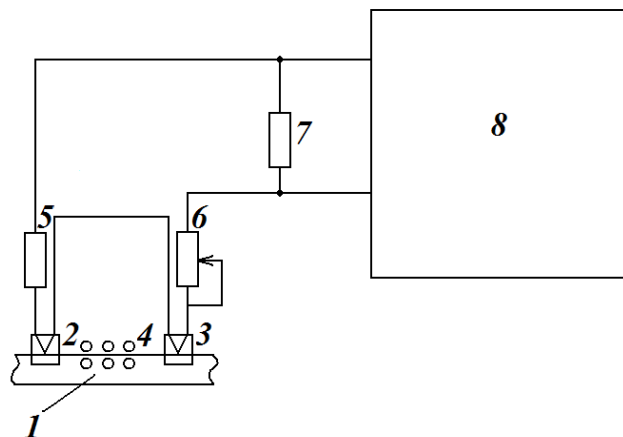


Рис. 1. Система контролю витрат рідини в трубопроводі: 1 – трубопровід; 2, 3 – термоперетворювачі; 4 – дротовий нагрівач, 5, 6, 7 – резистори; 8 – частотний перетворювач

До складу цієї системи входить частотний перетворювач, на вхід якого подається аналоговий сигнал, що виділяється на опорі 7, причому даний сигнал представляє собою різницю температур рідини до і після нагрівача, ця різниця температур є пропорційною величині витрат даної рідини в трубопроводі.

На рис. 2 наведена електрична схема частотного перетворювача.

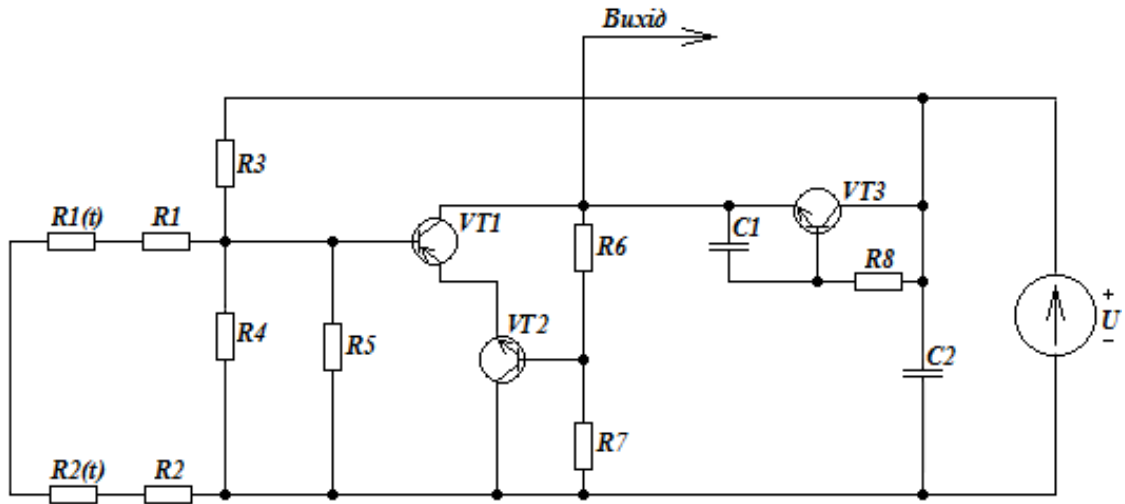


Рис. 2. Електрична схема частотного перетворювача на основі двох біполярних транзисторів та з активним індуктивним елементом

Для визначення вольт-амперної характеристики частотного перетворювача використаємо спрощену еквівалентну схему нашого частотного перетворювача по постійному струму (рис. 3).

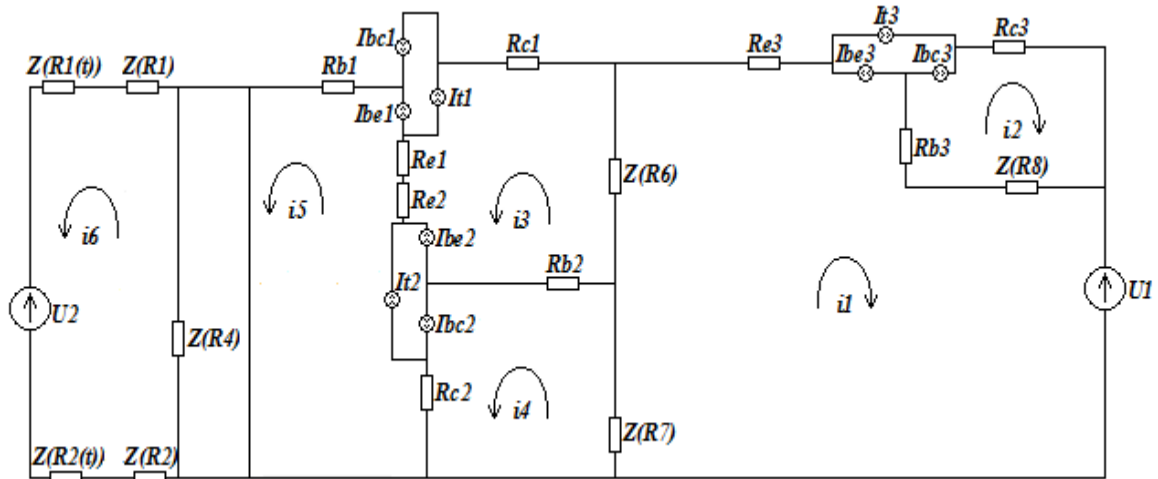


Рисунок 3 - Еквівалентна схема частотного перетворювача по постійному струму

Згідно вибраних контурів запишемо систему рівнянь Кірхгофа

$$\begin{cases}
 U_1 = (R_5 + R_{B2} + R_{C2} + R_6 + R_7) \cdot (i_1 - I_{B2}) + (R_8 + R_{B2}) \cdot i_2 + R_6 \cdot i_4 + R_7 \cdot i_3; \\
 0 = (R_{C3} + R_{B3} + R_8) \cdot (i_2 - I_{B3}) + (R_{B1} + R_8) \cdot i_1; \\
 0 = (R_7 + R_{B2} + R_{C2}) \cdot (i_3 + I_{B2}) + R_{C2} \cdot i_5 + R_7 \cdot i_1 - R_{B2} \cdot i_4; \\
 0 = (R_{C1} + R_{E1} + R_{C2} + R_{B2} + R_6) \cdot (i_4 + I_{C1} + I_{B2} - I_{B1} - I_{B3}) + \\
 + (R_{E1} + R_{C2}) \cdot i_5 - R_{B2} \cdot i_3 - R_6 \cdot i_1; \\
 0 = (R_{B1} + R_{E1} + R_{C2} + R_{C3} + R_7) \cdot (i_5 + I_{B1} + I_{B3} - I_{C2} - I_{B3}) + \\
 + R_7 \cdot i_6 + (R_{E1} + R_{C1}) \cdot i_5 + R_{C3} \cdot i_4; \\
 U_2 = (R_3 + R_1 + R_1(t) + R_2(t) + R_2) \cdot i_6 + R_3 \cdot i_5.
 \end{cases} \quad (1)$$

Для спрощення виразу введемо наступні заміни:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= R_5 + R_{B2} + R_{C2} + R_6 + R_7, & N_2 &= R_8 + R_{B2}; \\
 N_3 &= R_{C3} + R_{B3} + R_8, & N_4 &= R_7 + R_{B2} + R_{C2}; \\
 N_5 &= R_{C1} + R_{E1} + R_{C2} + R_{B2} + R_6, & N_6 &= R_{E1} + R_{C2}; \\
 N_7 &= R_{B1} + R_{E1} + R_{C2} + R_{C3} + R_7; \\
 N_8 &= R_3 + R_1 + R_2 + R_1(t) + R_2(t); \\
 I_1 &= -I_{B2}; \\
 I_2 &= I_{B3}; \\
 I_3 &= I_{B2};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_4 &= I_{c1} + I_{oc1} - I_{oc2} - I_{oc3} \\ I_5 &= I_{c2} - I_{oc2} + I_{oc3} + I_{oc1} \end{aligned}$$

з урахуванням яких система (1) набуває вигляду:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= N_1 \cdot i_1 + N_1 \cdot I_1 + N_2 \cdot i_2 + R_6 \cdot i_4 + R_7 \cdot i_3 \\ 0 &= N_3 \cdot i_2 + N_3 \cdot I_2 + N_2 \cdot i_1 \\ 0 &= N_4 \cdot i_3 + N_4 \cdot I_3 + R_{c2} \cdot i_2 + R_7 \cdot i_1 - R_{c2} \cdot i_4 \\ 0 &= N_5 \cdot i_4 + N_5 \cdot I_4 + N_6 \cdot i_2 - R_{c2} \cdot i_3 + R_6 \cdot i_1 \\ 0 &= N_7 \cdot i_3 + N_7 \cdot I_3 + R_3 \cdot i_6 + N_6 \cdot i_2 + R_{c2} \cdot i_4 \\ U_2 &= N_8 \cdot i_6 + R_3 \cdot i_3 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Позначимо

$$\begin{aligned} D_1 &= U_1 - N_1 \cdot I_1 \\ D_2 &= N_3 \cdot I_2 \\ D_3 &= N_4 \cdot I_3 \\ D_4 &= N_5 \cdot I_4 \\ D_5 &= N_7 \cdot I_3 \\ D_6 &= U_2 \end{aligned}$$

З урахуванням останніх замінь система рівнянь (2) перетвориться наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= N_1 \cdot i_1 + N_2 \cdot i_2 - R_6 \cdot i_4 - R_7 \cdot i_3 \\ D_2 &= N_3 \cdot i_2 + N_2 \cdot i_1 \\ D_3 &= N_4 \cdot i_3 + R_{c2} \cdot i_2 + R_7 \cdot i_1 + R_{c2} \cdot i_4 \\ D_4 &= N_5 \cdot i_4 + N_6 \cdot i_2 - R_{c2} \cdot i_3 + R_6 \cdot i_1 \\ D_5 &= N_7 \cdot i_3 + R_3 \cdot i_6 + N_6 \cdot i_2 + R_{c2} \cdot i_4 \\ D_6 &= N_8 \cdot i_6 + R_3 \cdot i_3 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

З шостого рівняння системи (3) визначаємо струм i_6 :

$$i_6 = -\frac{D_6 - R_3 i_3}{N_8} \quad (4)$$

а з п'ятого – струм i_3 :

$$i_3 = -\frac{N_7 + R_{c2} \cdot i_4 - N_6 \cdot i_2}{R_3 + N_7} \quad (5)$$

Тут $N_8 = D_6 - D_2$.

Струм i_4 визначається з четвертого рівняння системи (3):

$$i_4 = \frac{N_{14} + R_6 \cdot N_{10} \cdot i_2 + N_{15} \cdot i_3}{N_{12}} \quad (6)$$

де $N_{10} = D_4 - R_3 - D_2 \cdot N_7 + N_6 \cdot N_7$, $N_{11} = R_{c2} \cdot N_6 - N_2 \cdot R_3 + N_2 \cdot N_7$,
 $N_{12} = R_6 - R_3 - R_6 \cdot N_7$, $N_{13} = N_6^2 + R_{c2} \cdot R_3 - R_{c2} \cdot N_7$,

а струм i_2 – з третього рівняння даної системи:

$$i_2 = \frac{N_{14} - N_{15} \cdot i_3}{N_{13}} \quad (7)$$

де $N_{14} = D_3 - N_{11} \cdot R_3 - D_3 \cdot N_{11} \cdot N_7 - R_{c2} \cdot N_{10} \cdot R_3 + R_{c2} \cdot N_{10} \cdot N_7 + R_{c2} \cdot N_6 \cdot N_{11} + R_{c2} \cdot R_{c2} \cdot N_{10}$,
 $N_{15} = R_{c2} \cdot N_{13} \cdot R_{c2} + R_{c2} \cdot N_6 \cdot N_{11} - N_4 \cdot N_{11} \cdot R_3 + N_4 \cdot N_{11} \cdot N_7 - R_{c2} \cdot N_{13} \cdot R_3 + N_{13} \cdot R_{c2} \cdot N_7$,
 $N_{16} = R_{c2} \cdot N_{12} \cdot R_3 - R_{c2} \cdot N_{12} \cdot N_7 - R_{c2} \cdot N_{12} \cdot R_{c2} - R_7 \cdot N_{11} \cdot R_3 + R_7 \cdot N_{11} \cdot N_7$.

Аналогічно струм i_2 можна визначити з другого рівняння системи (3):

$$i_2 = \frac{D_2 + N_2 \cdot i_1}{N_3} \quad (8)$$

Використовуючи усі попередні знайдені значення і підставляючи їх у перше рівняння системи (3) визначаємо струм i_1 :

$$i_1 = \frac{N_{12}}{N_{15}}, \quad (9)$$

де $N_{17} = D_1 \cdot N_3 \cdot N_{18} \cdot N_{11} + D_2 \cdot N_3 \cdot N_{18} \cdot N_{11} + R_7 \cdot N_3 \cdot N_{10} \cdot N_{18} + R_7 \cdot N_3 \cdot N_{14} \cdot N_{18} + R_7 \cdot N_3 \cdot N_{14} \cdot N_{11}$,
 $N_{18} = N_1 \cdot N_3 \cdot N_{18} \cdot N_{11} + N_2^2 \cdot N_{18} \cdot N_{11} + R_7 \cdot N_3 \cdot N_{12} \cdot N_{18} + R_7 \cdot N_3 \cdot N_{16} \cdot N_{18} + R_7 \cdot N_3 \cdot N_{16} \cdot N_{11}$.

Вольт-амперна характеристика, як залежність струму i_1 від прикладеної напруги, розрахована на основі виразу (9) з використанням пакету прикладних програм Matlab 6.5. наведена на рис. 3.

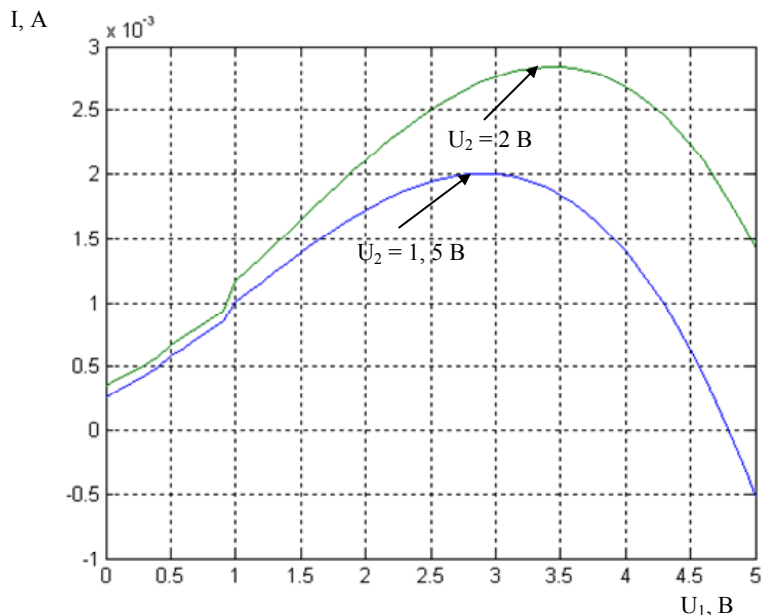


Рис. 4. Вольт-амперна характеристика частотного перетворювача

Висновок

На основі використання еквівалентної схеми отримано аналітичний вираз для розрахунку вольт-амперної характеристики частотного перетворювача для контролю витрат рідини в трубопроводі. Розрахована за даною 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.

Література

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества / П.П. Кремлевский. – Л. : Машиностроение, 1975. – 776 с.
2. Пат. 2140538 Российская Федерация, МПК E21B47/10. Способ измерения расхода при неравномерном движении жидкости / Э.Л. Герасимов, Ш.Ф. Тахаутдинов, М.В. Вышенский. – №9810014803 ; Заявл. 08.01.1998 ; Опубл. 27.10.1999.
3. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі структур з від'ємним опором / О.В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2001. – 303 с.
4. Пат. 71949 Україна, МПК G01F1/66. Спосіб вимірювання витрат рідини в трубопроводі / Ю.С. Кравченко, В.С. Осадчук, Н.А. Яремішена. – № 03215 ; Заявл. 19.03.2012 ; Опубл. 25.07.2012.

References

1. Kremlevskij P. P. Rashodometry i schetchiki kolichestva. Leningrad, Mashynostroenie, 1975. – 776 c. [in Russian]
2. Pat. 2140538 Russia, MPK E21B47/10. Sposob izmereniya pri neravnomernom dvizhenii zhidkosti / E. L. Gerasimov, Sh. F. Tahautdinov, M. V. Vyshenskiy. – №9810014803; Zajavl. 08.01.1998; Opubl. 27.10.1999. [in Ukrainian]
3. Osadchuk O. V. Mikroelektronni chastotni peretvorjuvachi na osnovi struktur z vidjemnym oporom. Vinnitsa, UNIVERSUM, – 2001. – 303 c. [in Ukrainian]
4. Pat. 71949 Ukraine, MPK G01F1/66. Sposib vymirjuvannja vytrat ridyny v tryboprovodi / Y. S. Kravchenko, V. S. Osadchuk, N. A. Yaremishena. – №03215; Zajavl. 19.03.2012; Opubl. 25.07.2012. [in Ukrainian]

Рецензія/Peer review : 10.5.2013 р.

Надрукована/Printed : 18.6.2013 р.
 Рецензент: д.т.н., проф. Кичак В.М.