

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

УДК 621.382

Ю. С. Кравченко, к. ф.-м. н, доц.;

В. С. Осадчук, д. т. н., проф.;

С. Ю. Кравченко, студ.

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТОТНОГО ОПТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ДВОКАНАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПЛАЗМОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Отримано аналітичний вираз вольт-амперної характеристики оптичного частотного перетворювача для контролю плазмохімічних процесів на основі системи рівнянь Кірхгофа, складеної для еквівалентної схеми перетворювача по постійному струму.

Вступ

Підвищення ефективності контролю плазмохімічних процесів (ПХП) фахівці пов'язують як із застосуванням багатоканальних систем контролю [1, 2], так і з використанням методу перетворення інформаційних аналогових сигналів в частотні [3].

Запропонована авторами статті двоканальна система емісійно-спектрального контролю ПХП [4] на основі використання частотного перетворювача з активним індуктивним елементом [5] 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 оптичного частотного перетворювача на основі використання його еквівалентної схеми та складеної для неї системи рівнянь Кірхгофа.

Визначення вольт-амперної характеристики

Схема двоканальної системи контролю ПХП наведена на рис 1.

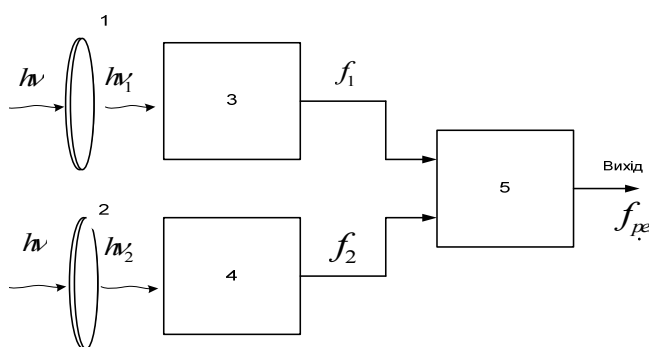


Рис. 1. Двоканальна система контролю плазмохімічних процесів: 1, 2 — інтерференційні фільтри; 3, 4 — оптичні частотні перетворювачі; 5 — частотний компаратор

До складу цієї системи входять два оптичні частотні перетворювачі, які перетворюють аналогові світлові сигнали (інформаційний і фоновий), що надходять на їх входи від інтерференційних фільтрів, на відповідні частотні сигнали, частота яких залежить від інтенсивності випромінювання, а самі частотні сигнали порівнюють між собою і за величиною різниці частот визначають момент закінчення процесу плазмохімічного травлення.

На рис. 2 показана електрична схема емісійно-спектрального частотного перетворювача.

Для визначення вольт-амперної характеристики частотного перетворювача використаємо спрощену еквівалентну схему нашого

частотного перетворювача по постійному струму (рис. 3).

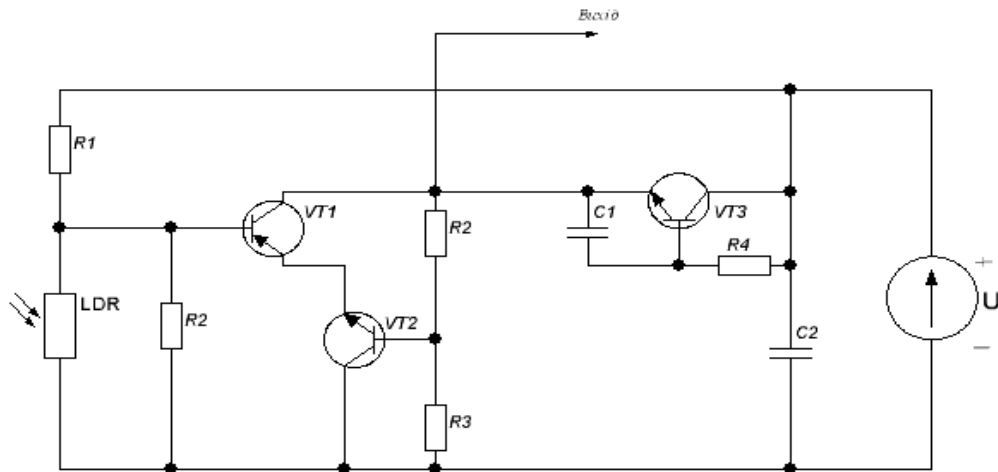


Рис. 2. Електрична схема оптичного частотного перетворювача на основі двох біполярних транзисторів та з активним індуктивним елементом

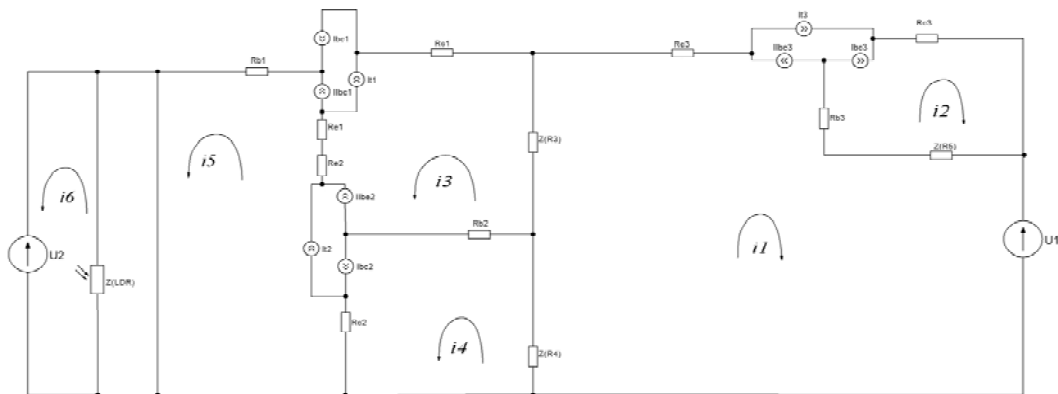


Рис. 3. Еквівалентна схема частотного перетворювача по постійному струму

Згідно з вибраними контурами запишемо систему рівнянь Кірхгофа

$$\left. \begin{aligned}
 U_1 &= (R_5 + R_{b_3} + R_{e_3} + R_3 + R_4)(i_1 - I_{be_3}) + (R_5 + R_{b_3})i_2 + R_3i_4 + R_4i_3; \\
 0 &= (R_{c_3} + R_{b_3} + R_5)(i_2 - I_{bc_3}) + (R_{b_3} + R_5)i_1; \\
 0 &= (R_4 + R_{b_2} + R_{c_2})(i_3 + I_{bc_2}) + R_{c_2}i_5 + R_4i_1 - R_{b_2}i_4; \\
 0 &= (R_{c_1} + R_{e_1} + R_{e_2} + R_{b_2} + R_3)(i_4 + I_{m_1} + I_{bc_1} - I_{be_1} - I_{bc_2}) + (R_{e_1} + R_{e_2})i_5 - R_{b_2}i_3 + R_3i_1; \\
 0 &= (R_{b_1} + R_{e_1} + R_{c_2} + R_{LDR})(i_5 + I_{be_2} + I_{be_1} - I_{m_2} - I_{bc_2}) + R_{LDR}i_6 + (R_{e_1} + R_c)i_3 + R_{c_2}i_4; \\
 U_2 &= R_{LDR}i_6 + R_{LDR}i_5.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Для спрощення виразу введемо такі заміни:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= R_5 + R_{b_3} + R_{e_3} + R_3 + R_4; & N_2 &= R_5 + R_{b_3}; & N_3 &= R_{e_3} + R_{b_3} + R_5; & N_4 &= R_4 + R_{b_2} + R_{c_2}; \\
 N_5 &= R_{c_1} + R_{e_1} + R_{e_2} + R_{b_2} + R_3; & N_6 &= R_{e_1} + R_{e_2}; & N_7 &= R_{b_1} + R_{e_1} + R_{e_2} + R_{c_2} + R_{LDR}. \\
 I_1 &= -I_{be_3}; & I_2 &= I_{bc_3}; & I_3 &= I_{bc_2}; & I_4 &= I_{bc_2}; & I_5 &= I_{T_2} - I_{bc_2} + I_{be_2} + I_{be_1},
 \end{aligned}$$

з урахуванням яких система (1) набуває вигляду:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= N_1 i_1 + N_1 I_1 + N_2 i_2 + R_4 i_4 + R_4 i_3; \\ 0 &= N_3 i_2 + N_3 I_2 + N_2 i_1; \\ 0 &= N_4 i_3 + N_4 I_3 + R_{e_2} i_5 + R_4 i_1 - R_4 I_3 - R_{b_2} i_4 - R_{b_2} I_2; \\ 0 &= N_5 i_4 + N_5 I_4 + N_6 i_5 - R_{b_2} i_3 + R_3 i_1; \\ 0 &= N_7 i_5 + I_5 N_7 + i_6 Z_{LDR} + i_3 N_6 + i_4 R_{c_2}; \\ U_2 &= R_{LDR} i_6 + R_{LDR} i_5. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Позначимо $D_1 = U_1 - N_1 I_1$; $D_2 = N_3 I_2$; $D_3 = N_3 I_2$; $D_4 = N_5 I_4$; $D_5 = N_7 I_5$; $D_6 = U_2$.
З урахуванням останніх замінь система рівнянь (2) перетвориться наступним чином:

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= N_1 i_1 + N_2 i_2 - R_4 i_4 - R_4 i_3; \\ D_2 &= N_3 i_2 + N_2 i_1; \\ D_3 &= N_4 i_3 + R_{e_2} i_5 + R_4 i_1 + R_{b_2} i_4; \\ D_4 &= N_5 i_4 + N_6 i_5 - R_{b_2} i_3 + R_3 i_1; \\ D_5 &= N_7 i_5 + R_{LDR} i_6 + N_6 i_3 + R_{c_2} i_4; \\ D_6 &= R_{LDR} i_6 + R_{LDR} i_5. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

З шостого рівняння системи (3) визначаємо струм i_6

$$i_6 = -\frac{D_6 - R_{LDR} i_5}{R_{LDR}}, \quad (4)$$

а з п'ятого — струм i_5

$$i_5 = -\frac{N_8 + R_{c_2} i_4 - N_6 i_3}{R_{LDR} + N_7}, \quad (5)$$

де $N_8 = D_6 - D_5$.

Струм i_4 визначається з четвертого рівняння системи (3)

$$i_4 = \frac{N_{10} + R_3 N_9 i_1 + N_{12} i_3}{N_{11}}, \quad (6)$$

де $N_9 = D_4 R_{LDR} - D_4 N_7 + N_6 N_8$; $N_{10} = R_{c_2} N_6 - N_5 R_{LDR} + N_5 N_7$; $N_{11} = R_3 R_{LDR} + R_3 N_7$;
 $N_{12} = N_6^2 + R_{b_2} R_{LDR} - R_{b_2}^* N_7$, а струм i_3 — з третього рівняння даної системи

$$i_3 = \frac{N_{13} - N_{15} i_1}{N_{14}}, \quad (7)$$

де $N_{13} = D_3 N_{10} R_{ldr} - D_3 N_{10} N_7 - R_{b_2} N_9 R_{ldr} + R_{b_2} N_9 N_7 + R_{e_2} N_8 N_{10} + R_{e_2} R_{c_2} N_9$;
 $N_{14} = R_{e_2} N_{12} R_{e_2} + R_{e_2} N_6 N_{10} - N_4 N_{10} R_{LDR} + N_4 N_{10} N_7 - N_{12} R_{b_2} R_{LDR} + N_{12} R_{b_2} N_7$;
 $N_{15} = R_{b_2} N_{11} R_{LDR} - R_{b_2} N_{11} N_7 - R_{e_2} R_{c_2} N_{11} - R_4 N_{10} R_{LDR} + R_4 N_{10} N_7$.

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

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

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

$$i_1 = \frac{N_{16}}{N_{17}}, \quad (9)$$

де $N_{16} = D_1 N_3 N_{14} N_{10} + D_2 N_2 N_{14} N_{10} + R_4 N_3 N_9 N_{14} + R_4 N_3 N_{13} N_{12} + N_{13} R_4 N_3 N_{10}$;

$$N_{17} = N_1 N_3 N_{14} N_{10} + N_2^2 N_{14} N_{10} + R_4 N_3 N_{11} N_{14} + R_4 N_3 N_{15} N_{12} + N_{15} R_4 N_3 N_{10}.$$

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.

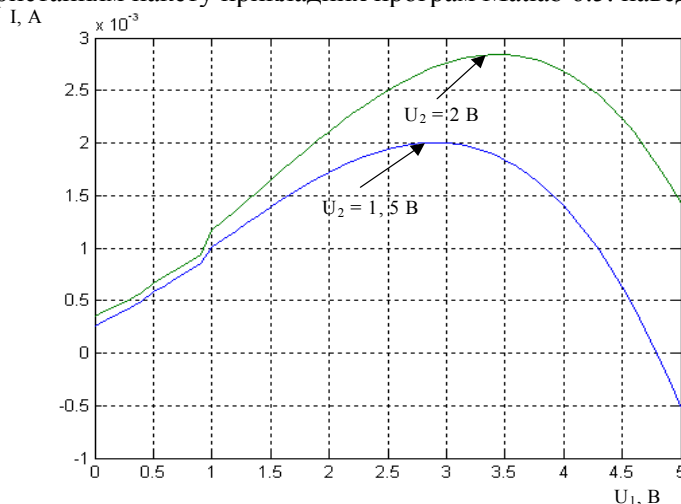


Рис. 4. Вольт-амперна характеристика емісійно-спектрального частотного перетворювача

Висновок

На основі використання еквівалентної схеми отримано аналітичний вираз для розрахунку вольт-амперної характеристики оптичного частотного перетворювача для контролю плазмохімічних процесів. 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 оптичного частотного перетворювача [6].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Орликовский А. А. Диагностика in situ плазменных технологических процессов микроэлектроники: Современное состояние и ближайшие перспективы. Часть I. / А. А. Орликовский, К. В. Руденко // Микроэлектроника. — 2001. — Т. 30, № 2. — С. 85 — 105.
2. Данилин В. С. Контроль процессов травления материалов в низкотемпературной газоразрядной плазме / В. С. Данилин, В. Ю. Киреев, В. А. Каплин, Э. А. Лебедев, Н. Н. Федоров // Приборы и техника эксперимента. — 1980. — № 1. — С. 13 — 28.
3. Даниленко О. О. Оптический емісійно-спектральный контроль процесів травлення в низкотемпературній плазмі / О. О. Даниленко, Ю. С. Кравченко, В. С. Осадчук // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2005. — № 2 (10). — С. 173 — 180.
4. Патент № 26976 Україна, МПК⁷ H01L 21/302. Спосіб визначення моменту закінчення процесу плазмового травлення / С. Ю. Кравченко, Ю. С. Кравченко, В. С. Осадчук, О. В. Осадчук / № 06553; Заявл. 11.06.2007; Опубл. 10.10.2007. Бюл. № 16. — 2 с.
5. Патент № 26975 Україна, МПК⁷ H01L 21/302. Пристрій для визначення моменту закінчення процесу плазмового травлення / С. Ю. Кравченко, Ю. С. Кравченко, В. С. Осадчук, О. В. Осадчук / — № 06552; Заявл. 11.06.2007; Опубл. 10.10.2007. Бюл. № 16. — 2 с.
6. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі структур з від'ємним опором / О. В. Осадчук // Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. — 303 с.

Рекомендована кафедрою електроніки

Надійшла до редакції 1.12.08
Рекомендована до друку 25.12.08

Кравченко Юрій Степанович — доцент; **Осадчук Володимир Степанович** — завідувач кафедри;

Кафедра електроніки;

Кравченко Сергій Юрійович — студент Інституту радіотехніки, зв'язку та приладобудування.

Вінницький національний технічний університет