

ЧАСТОТНИЙ ОПТИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ФОТОТРАНЗИСТОРОМ ТА АКТИВНИМ ІНДУКТИВНИМ ЕЛЕМЕНТОМ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПЛАЗМОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Розроблено математичну модель частотного оптичного перетворювача з фототранзистором та активним індуктивним елементом для контролю плазмохімічних процесів, яка складається з біполярного і МДН-транзисторів та двох фототранзисторів в якості фоточутливих елементів, на основі якої отримано аналітичні залежності для функції перетворення та рівняння чутливості.

Ключові слова: оптичний перетворювач, біполярний транзистор, польовий транзистор, плазмохімічне травлення.

V.S. OSADCHUK, O. V. OSADCHUK, O.O. SELETSKA, O.S. ZVIAHIN
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

FREQUENCY OPTICAL TRANSDUCER WITH A PHOTO TRANSISTOR AND AN ACTIVE INDUCTIVE ELEMENT FOR CONTROL PLASMA CHEMICAL PROCESSES

Abstract - The aim of the research - to increase the sensitivity of measurement of intensity of plasma radiation.

This work presents optical transducer with frequency output on the basis of semiconductor structures with negative resistance, the principle of which operation is based on the functional connection of reactive properties of transistor structures with negative resistance from the effects of illumination of plasma light, which enables creation and development competitive is models of this production.

The mathematical model of frequency optical transducer composed of bipolar and mosfet transistors with photo transistor as photosensitive element and an active inductive element has been developed. On the base of this model analytical dependences of function of transformation and the equation of sensitivity are received.

The frequency optical transducer can be used in the microelectronic industry for plasma chemical etching control systems.

Keywords: optical transducer, a bipolar transistor, mosfet transistor, a plasma chemical etching.

Вступ

Безперервний моніторинг фізичних та технологічних параметрів технологічних процесів є необхідним елементом системи управління плазмохімічних технологічних процесів [1, 2]. Реалізується такий моніторинг шляхом збору та обробки інформації від спеціальних перетворювачів, до яких пред'являють ряд вимог, зокрема вони повинні мати високу чутливість, щоб забезпечувати високу точність контролю технологічних процесів. Досягнути високої чутливості можливо використанням в системах контролю технологічних процесів оптоелектронних сенсорів на основі транзисторних структур з від'ємним опором [3]. Тому дана робота присвячена дослідженню характеристик оптичного перетворювача на основі автогенераторного пристрою, в якому коливальний контур створено на основі ємнісної складової повного вихідного опору, а роль індуктивної складової виконує біполярний фототранзистор з RC-колом, що дозволяє виготовити оптичний перетворювач повністю за інтегральною технологією. Фоточутливими елементами схеми є два фототранзистори, що мають істотно більшу інтегральну чутливість, ніж фотодіод та ширший частотний діапазон, ніж у фоторезистора [4].

Для виявлення властивостей частотного оптичного перетворювача необхідно розробити математичну модель, на основі якої можна отримати залежність активної і реактивної складової повного опору структури від освітленості та вивести функцію перетворення оптичного перетворювача, який використовується в системі контролю плазмохімічних процесів. Одним із таких процесів є процес травлення органічного фоторезисту, де оптичний частотний перетворювач використовується для реєстрації випромінювання смуги СО з довжиною хвилі 520 нм. Розгляду цих питань присвячена дана робота.

Математична модель

На рис. 1 представлена схема оптичного частотного перетворювача з чутливим елементом – фототранзистором VT3, яка складається з МДН-транзистора VT1 та біполярного транзистора VT2, живлення яких здійснюють джерела напруги U1 та U2. Роль індуктивної складової виконує біполярний фототранзистор VT3 з RC-колом, утвореним конденсатором C2 та резистором R4. Таким чином, коливальний контур утворено ємнісною складовою повного опору на електродах колектор-стік транзисторів VT2 та VT1 та індуктивною складовою повного опору на електродах емітер-колектор біполярного фототранзистора VT3.

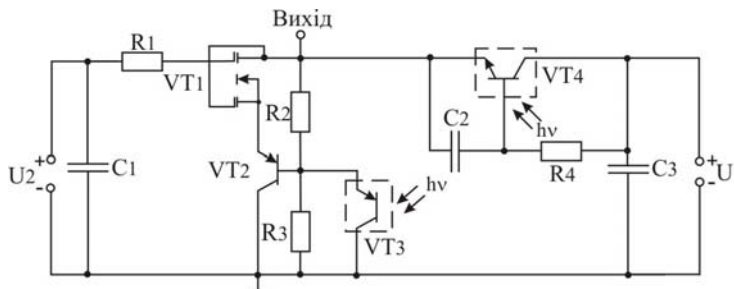


Рис. 1. Електрична схема частотного оптичного перетворювача з фототранзистором та активним індуктивним елементом

Максимальна спектральна чутливість фототранзисторів відповідає довжині хвилі пропускання інтерференційного світлофільтру, що використовується для виділення контрольної смуги із загального спектру випромінювання плазми.

Для визначення функції перетворення оптичного перетворювача необхідно розрахувати повний опір на електродах колектор-стік транзисторів VT2 та VT1 згідно з його еквівалентною схемою для змінного струму (рис. 2).

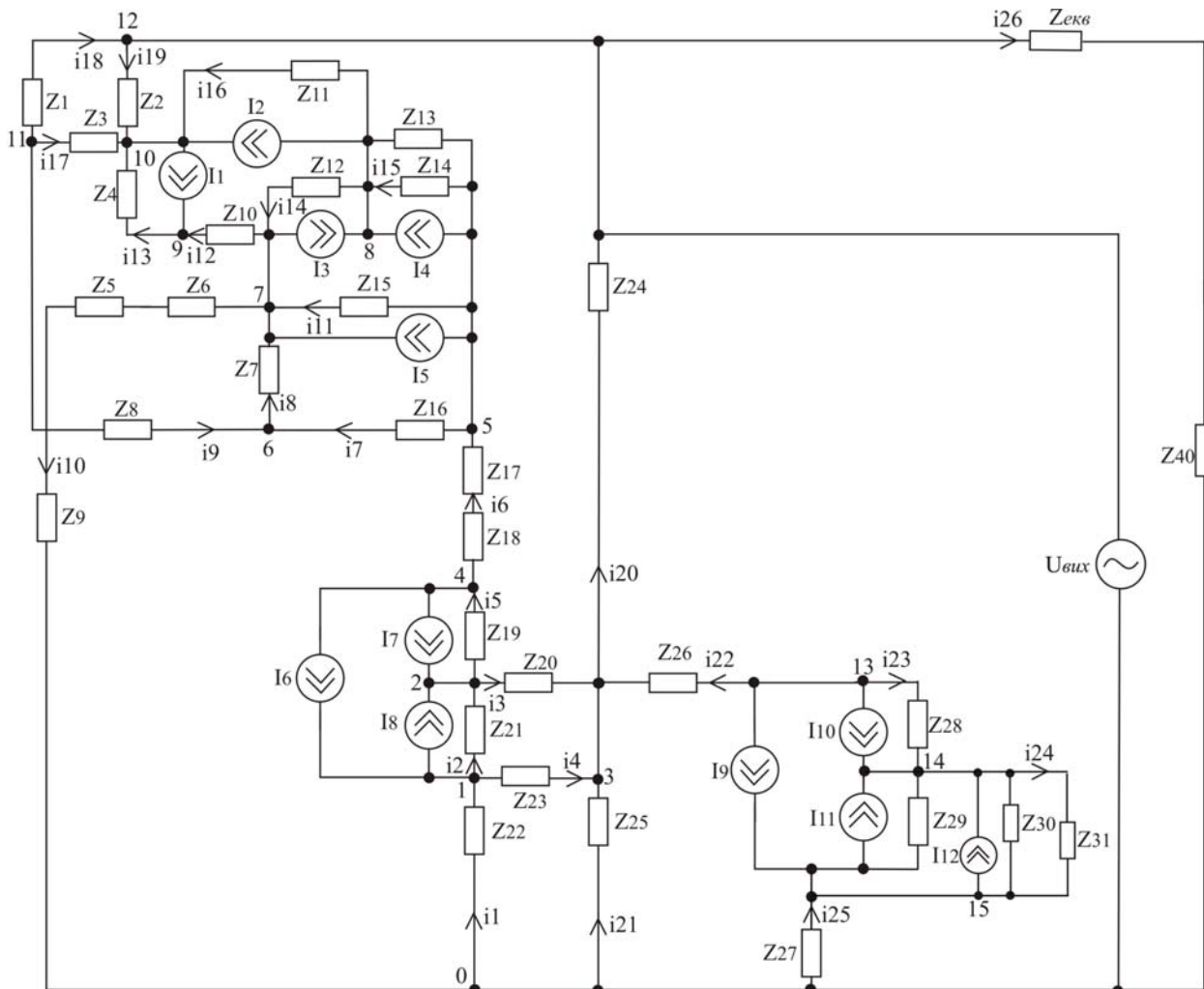


Рис. 2. Перетворена еквівалентна схема оптичного перетворювача по змінному струму

В еквівалентній схемі (рис. 2) використано наступні позначення:

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= R_1, Z_2 = R_5, Z_3 = R_2 / (1 + \omega^2 R_2^2 C_4^2) - jR_2^2 \omega C_4 / (1 + \omega^2 R_2^2 C_4^2), Z_4 = R_3, Z_5 = R_4, Z_6 = R_7, Z_7 = -j / (\omega C_8), \\
 Z_8 &= -j / \omega(C_7), Z_9 = -j / (\omega C_1), Z_{10} = R_6, Z_{11} = -j / (\omega C_3), Z_{12} = -j / (\omega C_5), Z_{13} = R_8, Z_{14} = -j / (\omega C_6), \\
 Z_{15} &= R_9 / (1 + \omega^2 R_9^2 C_9^2) - jR_9^2 \omega C_9 / (1 + \omega^2 R_9^2 C_9^2), Z_{16} = R_{10}, Z_{17} = R_{11}, Z_{18} = R_{12}, Z_{19} = -j / (\omega C_{10}), Z_{20} = R_{13}, \\
 Z_{21} &= -j / (\omega C_4), Z_{22} = R_{14}, Z_{23} = -j / (\omega C_{12}), Z_{24} = R_{15}, Z_{25} = R_{16}, Z_{26} = R_{17}, Z_{27} = R_{20}, Z_{28} = -j / (\omega C_{17}), \\
 Z_{29} &= -j / (\omega C_{18}), Z_{30} = R_{18} / (1 + \omega^2 R_{18}^2 C_{19}^2) - jR_{18}^2 \omega C_{19} / (1 + \omega^2 R_{18}^2 C_{19}^2), Z_{31} = R_{19}, Z_{32} = R_{21}, Z_{33} = -j / (\omega C_2), \\
 Z_{34} &= -j / (\omega C_{13}), Z_{35} = -j / (\omega C_{14}), Z_{36} = R_{22} / (1 + \omega^2 R_{22}^2 C_{15}^2) - jR_{22}^2 \omega C_{15} / (1 + \omega^2 R_{22}^2 C_{15}^2), Z_{37} = R_{23}, Z_{38} = R_{25}, \\
 Z_{39} &= R_{24}, Z_{40} = -j / (\omega C_{16}),
 \end{aligned}$$

де R_1 – опір другого затвору МДН-транзистора VT1; R_2 – опір стік – другий затвор двозатворного МДН-транзистора VT1; R_3, R_6, R_9 – опори витоку-стоку двозатворного МДН-транзистора VT1; R_4 – опір резистора R_1 на схемі на рис. 1; R_5 – опір $p-n$ переходу стоку транзистора VT1; R_7 – омичний опір другого затвору двозатворного МДН-транзистора VT1; R_8 – опір підкладки МДН-транзистора VT1; R_{10} – опір витік – перший затвор двозатворного МДН-транзистора VT1; R_{11} – опір витоку МДН-транзистора VT1; R_{12}, R_{17}, R_{21} – опори емітера біполярного транзистора VT2 та фототранзисторів VT2 та VT3 відповідно; R_{13} – опір бази біполярного транзистора VT2; R_{14}, R_{20}, R_{25} – опори колектора біполярного транзистора VT2 та фототранзисторів VT2 та VT3 відповідно; R_{15} – опір резистора R_2 на схемі на рис. 1; R_{16} – опір резистора

R_3 на схемі на рис. ; R_{18} та R_{22} – шунтуючий опір, що входить до складу фототранзистора VT3 та фототранзистора VT4 відповідно; R_{19} та R_{23} – опір p - n переходу діода, що входить до складу фототранзистора VT3 та фототранзистора VT4 відповідно; R_{24} – опір резистора R_4 на схемі C_1 , C_2 та C_{16} – ємності конденсаторів C_1 , C_2 та C_3 на схемі на рис. 1 відповідно; C_3 та C_5 – ємності підкладка-стік МДН-транзистора VT1; C_4 та C_9 – ємності перший затвор-стік МДН-транзистора VT1; C_6 – ємність підкладка-вітик МДН-транзистора VT1; C_7 – ємність між першим і другим затвором МДН-транзистора VT1; C_8 – ємність затвор-стік МДН-транзистора VT1; C_{10} , C_{11} – ємність переходу база-емітер та база-колектор транзистора VT2 відповідно; C_{12} – ємність між зовнішнім виводом бази і колектора транзистора VT2; C_{13} , C_{14} – ємність переходу база-емітер та база-колектор фототранзистора VT4 відповідно; C_{15} та C_{19} – ємності p - n переходів діодів фототранзисторів VT4 та VT3 відповідно; C_{17} , C_{18} – ємність переходу база-емітер та база-колектор фототранзистора VT3 відповідно.

Струми, I_6 , I_7 , I_9 , I_8 , I_{10} , I_{11} , I_{13} , I_{14} , I_{15} , що входять до складу еквівалентних схем біполярного транзистора VT2 та фототранзисторів VT3 і VT4 відповідно та струми МДН-транзистора I_1 , I_3 , I_4 , I_5 , I_{12} , I_{16} описані в роботі [5].

На основі перетвореної еквівалентної схеми (рис. 2) для розрахунку повного опору схеми складемо систему рівнянь Кірхгофа, використавши метод вузлових потенціалів. Система рівнянь Кірхгофа для змінного струму має вигляд:

$$\begin{cases} I_8 - I_6 = -\phi_1(y_1 + y_2 + y_4) + \phi_2 y_2 + \phi_3 y_4; \\ -(I_7 + I_8) = \phi_1 y_2 - \phi_2(y_2 + y_3 + y_5) + \phi_3 y_3 + \phi_4 y_5; \\ 0 = \phi_1 y_4 + \phi_2 y_3 - \phi_3(y_{20} + y_{21} + y_4 + y_3 + y_{22}) + \phi_{12} y_{20} + \phi_{17} y_{22}; \\ I_7 + I_6 = \phi_2 y_5 - \phi_4(y_5 + y_6) + \phi_5 y_6; \\ I_5 + I_4 = \phi_4 y_6 - \phi_5(y_6 + y_7 + y_{11} + y_{15}) + \phi_6 y_7 + \phi_7 y_{11} + \phi_8 y_{15}; \\ 0 = \phi_5 y_7 - \phi_6(y_7 + y_8 + y_9) + \phi_7 y_8 + \phi_{11} y_9; \\ I_3 - I_5 = \phi_5 y_{11} + \phi_6 y_8 - \phi_7(y_8 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{14}) + \phi_8 y_{14} + \phi_9 y_{12}; \\ I_2 - I_3 - I_4 = \phi_5 y_{15} + \phi_7 y_{14} - \phi_8(y_{15} + y_{16} + y_{14}) + \phi_{10} y_{16}; \\ -I_1 = \phi_7 y_{12} - \phi_9(y_{12} + y_{13}) + \phi_{10} y_{13}; \\ I_1 - I_2 = \phi_8 y_{16} + \phi_9 y_{13} - \phi_{10}(y_{13} + y_{16} + y_{17} + y_{19}) + \phi_{11} y_{17} + \phi_{12} y_{19}; \\ 0 = \phi_6 y_9 + \phi_{10} y_{17} - \phi_{11}(y_9 + y_{17} + y_{18}) + \phi_{12} y_{18}; \\ U_{\text{вих}}(y_{18} + y_{19} + y_{20} + y_{26}) = \phi_3 y_{20} + \phi_{10} y_{19} + \phi_{11} y_{18}; \\ I_{10} + I_9 = \phi_3 y_{22} - \phi_{13}(y_{22} + y_{23}) + \phi_{14} y_{23}; \\ -I_{10} - I_{11} - I_{12} = \phi_{13} y_{23} - \phi_{14}(y_{23} + y_{24}) + \phi_{15} y_{24}; \\ -I_9 + I_{11} + I_{12} = \phi_{14} y_{24} - \phi_{15}(y_{25} + y_{24}), \end{cases} \quad (1)$$

де провідності гілок схеми визначаються за формулами:

$$y_1 = 1/Z_{22}; \quad y_2 = 1/Z_{21}; \quad y_3 = 1/Z_{20}; \quad y_4 = 1/Z_{23}; \quad y_5 = 1/Z_{19}; \quad y_6 = 1/(Z_{17} + Z_{18});$$

$$y_7 = 1/Z_{16}; \quad y_8 = 1/Z_7; \quad y_9 = 1/Z_8; \quad y_{10} = 1/Z_9; \quad y_{11} = 1/Z_{15}; \quad y_{12} = 1/Z_{10}; \quad y_{13} = 1/Z_4; \quad y_{14} = 1/Z_{12};$$

$$y_{15} = (Z_{13} + Z_{14})/(Z_{13}Z_{14}); \quad y_{16} = 1/Z_{11}; \quad y_{17} = 1/Z_3; \quad y_{18} = Z_1; \quad y_{19} = 1/Z_2; \quad y_{20} = 1/Z_{24}; \quad y_{21} = 1/Z_{25};$$

$$y_{22} = 1/Z_{26}; \quad y_{23} = 1/Z_{28}; \quad y_{24} = (Z_{29} + Z_{30} + Z_{31})/(Z_{29}Z_{30}Z_{31}); \quad y_{25} = 1/Z_{27}; \quad y_{26} = 1/(Z_{\text{екв}} + Z_{40}).$$

Для визначення повного опору активного індуктивного елемента $Z_{\text{екв}}$ скористаємось схемою на рис.

3.

Для визначення повного опору складемо систему рівнянь Кірхгофа:

$$\begin{cases} U_1 = i_1(Z_{33} + Z_{39}) - i_2 Z_{33} - i_5 Z_{39}; \\ 0 = -i_1 Z_{33} + i_2(Z_{32} + Z_{33} + Z_{34}) + Z_{34}(-I_{13} - I_{14} + I_{15}); \\ 0 = -i_2 Z_{35} + i_3(Z_{35} + Z_{36}) - i_4 Z_{36} + Z_{35}(-I_{13} + I_{16} - I_{15}) - Z_{36} I_{16}; \\ 0 = -i_3 Z_{36} + i_4(Z_{37} + Z_{38}) - i_5 Z_{39} + Z_{38} I_{16}; \\ 0 = -i_1 Z_{39} - i_4 Z_{37} + i_5(Z_{37} + Z_{38} + Z_{39}). \end{cases} \quad (2)$$

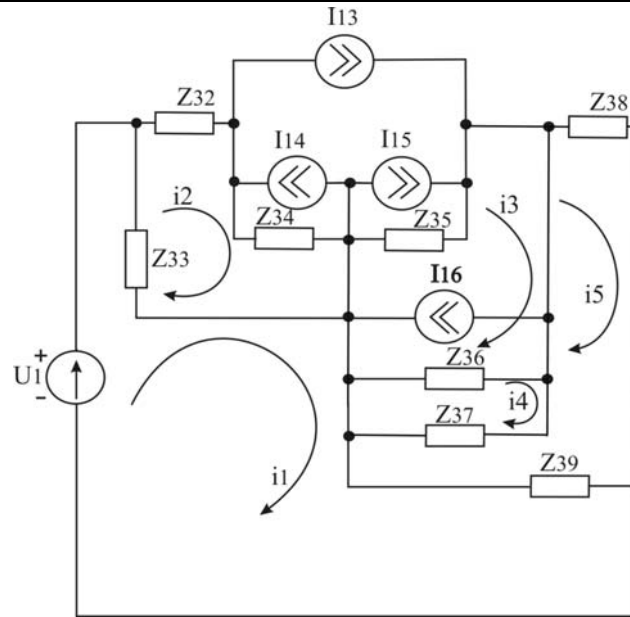


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема активного індуктивного елемента по змінному струму

Розв'язавши систему рівнянь (2), отримаємо еквівалентний опір активного індуктивного елемента

$$Z_{екв} = U_1 / i_1 = U_1 / \left(\frac{U_1 A_2}{Z_{33} B_1} - \frac{A_1 A_2 A_3}{Z_{33}^2 B_1} - \frac{U_1 A_2 Z_{39} B_3}{Z_{33} B_1 B_2} - \frac{A_2 Z_{36} I_{16} Z_{39}}{Z_{33} B_1 B_2} - \frac{A_1 A_2^2 A_3 Z_{39}^2}{Z_{33}^3 Z_{37} B_1 B_2} + \frac{A_2 A_3 A_6 Z_{39}^2}{Z_{33}^2 Z_{37} B_1 B_2} - \frac{A_1 A_2 A_3 Z_{35} Z_{36} Z_{39}}{A_4 Z_{33}^2 B_1^2 B_2} - \frac{A_2 A_5 Z_{36} Z_{39}}{A_4 Z_{33} B_1 B_2} + \frac{A_1 A_2^2 A_3 Z_{39}^2 Z_{36}^2}{A_4 Z_{33}^3 Z_{37} B_1^2 B_2} - \frac{A_2 A_3 Z_{39}^2 Z_{36}^2}{A_4 Z_{33}^2 Z_{37} B_2} \right), \quad (3)$$

де

$$A_1 = Z_{33} + Z_{39}; \quad A_2 = Z_{32} + Z_{33} + Z_{34}; \quad A_3 = Z_{34} (-I_{13} - I_{14} + I_{15}); \quad A_4 = Z_{35} + Z_{36};$$

$$A_5 = Z_{35} (-I_{13} - I_{15} + I_{16}) - Z_{36} I_{16}; \quad A_6 = Z_{37} + Z_{36}; \quad A_7 = Z_{37} + Z_{38} + Z_{39}.$$

На основі системи рівнянь (1) за допомогою програмного пакету Matlab 6.5. розрахована активна та реактивна складові повного опору, теоретичні та експериментальні залежності яких від інтенсивності падаючого світла (довжина хвилі дорівнює 520 нм) показані на рис. 4 та 5.

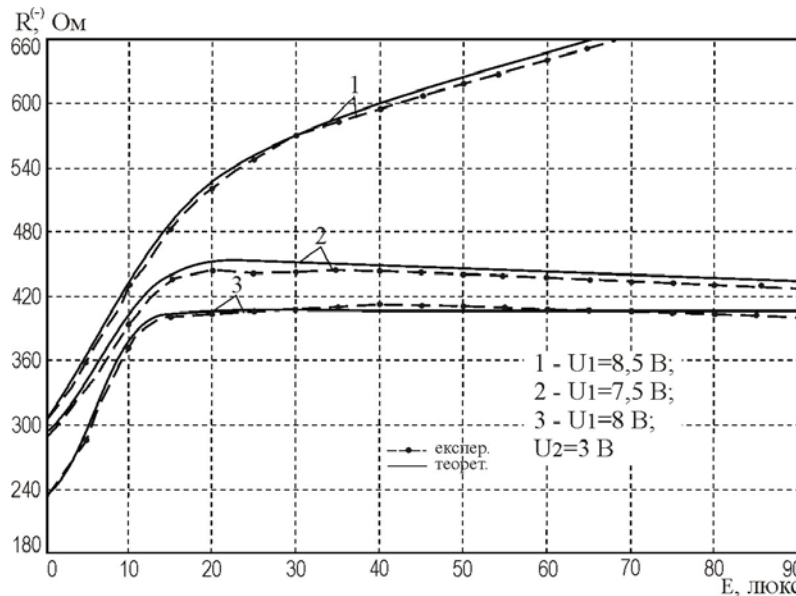


Рис. 4. Теоретичні та експериментальні залежності активної складової повного опору від освітленості ($\lambda=520$ нм)

З рис. 4 та 5 видно, що зі збільшенням освітленості активна і реактивна складова повного опору збільшуються.

Для визначення функції перетворення необхідно на основі розв'язку системи рівнянь Кірхгофа (1) знайти залежність частоти генерації від потужності оптичного випромінювання. Функція перетворення в

цьому випадку буде мати вигляд:

$$F = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{2} \sqrt{L_{екв}(E)C_{17}(-L_{екв}(E)C_{17} + R_{19}^2(E)C_{19}^2(E) + R_{19}^2(E)C_{19}(E)C_{17} + A)}}{L_{екв}(E)C_{19}(E)C_{17}R_{19}(E)}, \quad (4)$$

де

$$A = \sqrt{L_{екв}^2(E)C_{17}^2 + 2L_{екв}(E)C_{19}^2(E)C_{17}R_{19}^2(E) - 2L_{екв}(E)C_{17}^2C_{19}(E)R_{19}^2(E) + R_{19}^4(E)C_{19}^4(E) + 2R_{19}^4(E)C_{19}^3(E)C_{17} + R_{19}^4(E)C_{19}^2(E)C_{17}^2},$$

де $L_{екв}$ – значення активного індуктивного елемента, що визначається із повного опору $Z_{екв}$ у формулі (3).

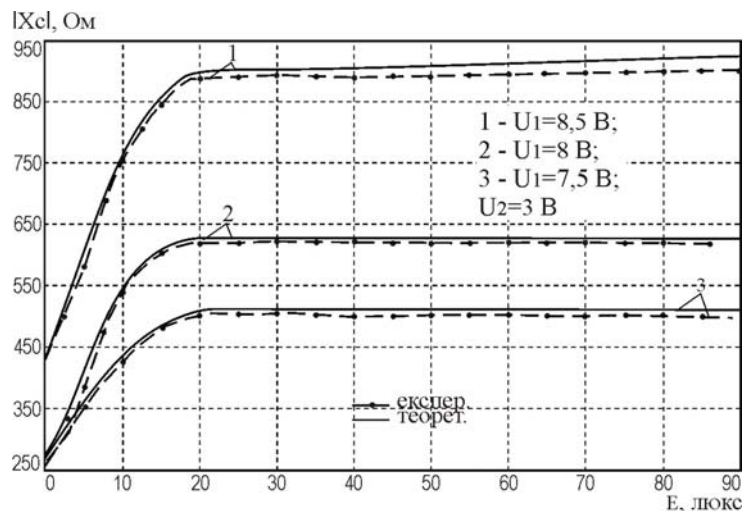


Рис. 5. Теоретичні та експериментальні залежності реактивної складової повного опору від освітленості ($\lambda=520$ нм)

Залежність частоти генерації від освітленості, визначена експериментально та розрахована за формулою (4) для випромінювання з довжиною хвилі 520 нм, показана на рис. 6.

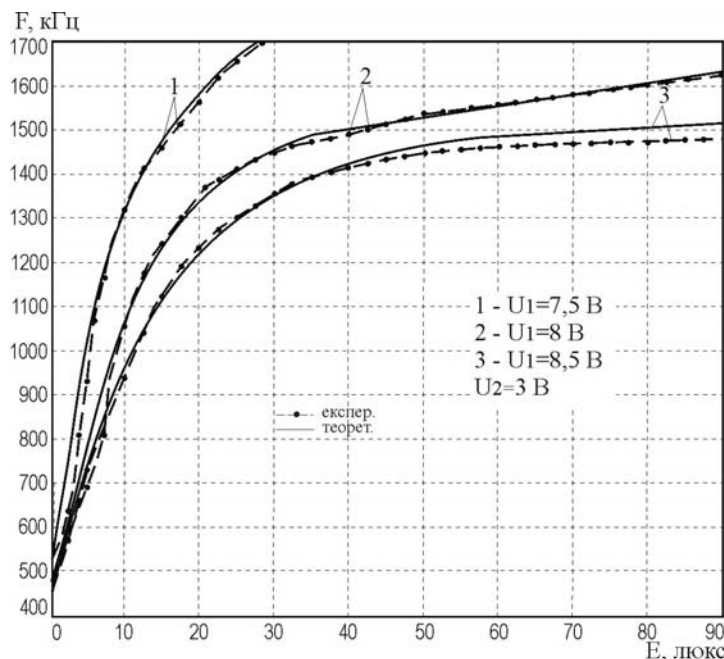


Рис. 6. Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації оптичного перетворювача з фототранзистором та активним індуктивним елементом від зміни величини освітленості ($\lambda=520$ нм)

З графіка видно, що із збільшенням освітленості випромінювання плазми спостерігається зростання частоти генерації. Розбіжність теоретичної та експериментальної складової не перевищує $\pm 5\%$.

Чутливість перетворювача визначається за формулою:

$$\begin{aligned}
 S = & \frac{1}{4} \sqrt{2} \left(\left(\frac{\partial}{\partial E} L_{\text{екв}}(E) \right) C_{17} (D_1 + D_2) + L_{\text{екв}}(E) C_{17}^2 \left(- \left(\frac{\partial}{\partial E} L_{\text{екв}}(E) \right) + 2R_{19}(E) C_{19}^2(E) \times \right. \right. \\
 & \times \left(\frac{\partial}{\partial E} R_{19}(E) \right) + 2R_{19}^2(E) C_{19}(E) \left(\frac{\partial}{\partial E} C_{19}(E) \right) + 2R_{19}(E) C_{19}(E) C_{17} \left(\frac{\partial}{\partial E} R_{19}(E) \right) + \\
 & + R_{19}^2(E) C_{17} \left(\frac{\partial}{\partial E} C_{19}(E) \right) + \frac{1}{2} (2L_{\text{екв}}(E) C_{17}^2 \left(\frac{\partial}{\partial E} L_{\text{екв}}(E) \right) + 2R_{19}^2(E) C_{19}^2(E) C_{17} \left(\frac{\partial}{\partial E} L_{\text{екв}}(E) \right) + \\
 & + 4L_{\text{екв}}(E) R_{19}(E) C_{19}^2(E) C_{17} \left(\frac{\partial}{\partial E} R_{19}(E) \right) + 4L_{\text{екв}}(E) R_{19}(E) C_{19}^2(E) C_{17} \left(\frac{\partial}{\partial E} R_{19}(E) \right) + 4L_{\text{екв}}(E) \times \\
 & \times R_{19}^2(E) C_{19}(E) C_{17} \left(\frac{\partial}{\partial E} C_{19}(E) \right) - 2R_{19}^3(E) C_{19}(E) C_{17}^2 \left(\frac{\partial}{\partial E} L_{\text{екв}}(E) \right) - 4L_{\text{екв}}(E) R_{19}(E) C_{19}(E) C_{17}^2 \times \\
 & \times \left(\frac{\partial}{\partial E} R_{19}(E) \right) - 2L_{\text{екв}}(E) R_{19}^2(E) C_{17}^2 \left(\frac{\partial}{\partial E} C_{19}(E) \right) + 4R_{19}^3(E) C_{19}^4(E) \left(\frac{\partial}{\partial E} R_{19}(E) \right) + 4R_{19}^4(E) C_{19}^3 \times \\
 & \times (E) \left(\frac{\partial}{\partial E} C_{19}(E) \right) + 8R_{19}^3(E) C_{19}^3(E) C_{17} \left(\frac{\partial}{\partial E} R_{19}(E) \right) + 6R_{19}^4(E) C_{19}^2(E) C_{17} \left(\frac{\partial}{\partial E} C_{19}(E) \right) + \\
 & + 4R_{19}^3(E) C_{19}^2(E) C_{17}^2 \left(\frac{\partial}{\partial E} R_{19}(E) \right) + 2R_{19}^4(E) C_{19}(E) C_{17}^2 \left(\frac{\partial}{\partial E} C_{19}(E) \right) \left. \right) / D_2 \Big) \Big) / \\
 & / \left(\sqrt{L_{\text{екв}}^2(E) C_{19}(E) R_{19}(E) C_{17}^2 (D_1 + D_2)} \right) - \frac{1}{2} \sqrt{2} \sqrt{\frac{L_{\text{екв}}(E) C_{17} (D_1 + D_2) \left(\frac{\partial}{\partial E} L_{\text{екв}}(E) \right)}{L_{\text{екв}}^2(E) R_{19}(E) C_{19}(E) C_{17}}} - \\
 & - \frac{1}{2} \sqrt{2} \sqrt{\frac{L_{\text{екв}}(E) C_{17} (D_1 + D_2) \left(\frac{\partial}{\partial E} R_{19}(E) \right)}{L_{\text{екв}}(E) R_{19}^2(E) C_{19}(E) C_{17}}} - \frac{1}{2} \sqrt{2} \sqrt{\frac{L_{\text{екв}}(E) C_{17} (D_1 + D_2) \left(\frac{\partial}{\partial E} C_{19}(E) \right)}{L_{\text{екв}}(E) R_{19}(E) C_{19}^2(E) C_{17}}},
 \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}
 D_1 &= -L_{\text{екв}}(E) C_{17} + R_{19}^2(E) C_{19}^2(E) + R_{19}^3(E) C_{19}(E) C_{17}; \\
 D_2 &= \sqrt{L_{\text{екв}}^2(E) C_{17}^2 + 2L_{\text{екв}}(E) C_{17} R_{19}^2(E) C_{19}^2(E) - 2L_{\text{екв}}(E) C_{17}^2 R_{19}^2(E) C_{19}(E) + \\
 & + R_{19}^4(E) C_{19}^4(E) + 2R_{19}^4(E) C_{19}^3(E) C_{17} + R_{19}^4(E) C_{19}^2(E) C_{17}^2}.
 \end{aligned}$$

На рис. 8 показана залежність чутливості оптичного перетворювача від освітленості.

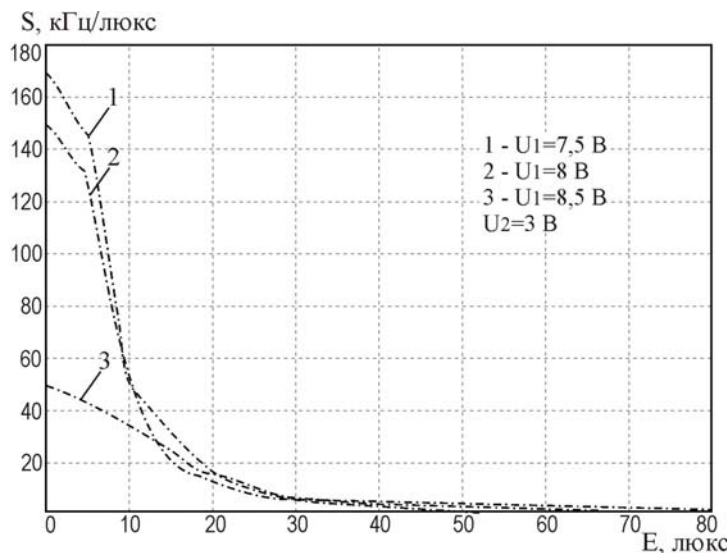


Рис. 7. Залежність чутливості оптичного перетворювача з фототранзистором та активним індуктивним елементом від величини освітленості ($\lambda=520$ нм)

З рис. 7 видно, що максимальну чутливість оптичний перетворювач з фототранзистором має за напруги живлення 7,5 В та напруги керування 2 В. Зі зміною освітленості від 10 до 50 люкс чутливість змінюється від 170 до 2 кГц/люкс, і є вищою, ніж у перетворювача з фототранзистором та пасивним індуктивним елементом [5].

Висновки

Розроблена математична модель частотного оптичного перетворювача, на основі автогенератора з біполярного топольового транзисторів з фототранзистором в якості чутливого елемента та активним індуктивним елементом. На основі моделі отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості. Теоретичні та експериментальні залежності показали, що чутливість розробленого оптичного перетворювача діапазоні від 10 до 50 люкс змінюється від 170 до 2 кГц/люкс.

Література

1. Таруи Я. Основы технологии СБИС / Ясуо Таруи ; [пер. с япон.] ; под. ред. В.Г. Ржанова. – М. : Радио и связь, 1985. – 480 с.
2. Кравченко Ю. С. Шляхи підвищення ефективності контролю і управління плазмохімічними процесами / Ю. С. Кравченко, В. С. Осадчук, С. Ю. Кравченко // Вісник ВПІ. – 2007. – № 6. – С. 119–125.
3. Осадчук А.В. Фоточувствительные преобразователи на основе структур с отрицательным сопротивлением : монография / А.В. Осадчук. – Винница : Континент, 1998. – 130 с.
4. Федотов Я.А. Основы физики полупроводниковых приборов / Я. А. Федотов. – М. : Сов. радио, 1970. – 591 с.
5. Осадчук В. С. Оптичний мікроелектронний перетворювач з фототранзистором для контролю плазмохімічних процесів / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Ю. С. Кравченко, О. О. Селецька // Вісник ХНУ. – 2009. – № 5. – С. 226–231.

References

1. Tarui Ya. Osnovy` tehnologii SBIS . Moskva, Radio I svyaz`, 1985, 480 p.
2. Kravchenko Yu. S., Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Kravchenko S. Yu. Shliahy pidvyshchennia efektyvnosti kontroliu I upravlinnia plazmokhimichnymy protsesamy, *Visnyk VPI*, 2007, No. 6, pp. 119-125.
3. Osadchuk A.V. Fotochuvstvitel`ny`e preobrazovateli na osnove structure s otricatel`ny`m soprotivleniem: monografiya. Vinnitsa, Kontinent, 1998, 130 p.
4. Fedotov Ya. A. Osnovy` fiziki poluprovodnikov`x priborov. Moskva, Sovetskoe radio, 1970, 591 p.
5. Osadchuk V.S., Osadchuk O.V., Kravchenko Yu. S., Seletska O.O. Optychnyj mikroelektronnyj peretvoriuvach dlia kontroliu plazmokhimichnykh procesiv. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical science. Khmelnytsky*. 2009. Issue 5. pp. 226-231.

Рецензія/Peer review : 3.8.2014 р. Надрукована/Printed : 1.10.2014 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.М. Кичак