

Electrochemistry and Electrochemical Engineering. – 1967. – V.6. – Interscience. – New York. – P.329– 397.

6. Masayuki Itagaki. Impedance analysis on electric double layer capacitor with transmission line model. / Masayuki Itagaki, Satoshi Suzuki, Isao Shitanda, Kunihiro Watanabe, Hiroshi Nakazawa // Journal of Power Sources. – 2007. – V.164. – P.415– 424.

7. Мартинюк В.В. Методи та апаратура вимірювання параметрів електрохімічних суперконденсаторів / Мартинюк В.В // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – Хмельницький. – 2007. – № 3. – С.182-184.

8. Грилихес М.С. Контактная кондуктометрия: Теория и практика метода / М.С. Грилихес, Б.К. Филановский. – Л.: Химия, 1980. – 176с.

Надійшла 12.4.2011 р.

УДК: 621.586.776: 621.382

В.С. ОСАДЧУК, О.В. ОСАДЧУК, О.М. ІЛЬЧЕНКО  
Вінницький національний технічний університет

## ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА ОСНОВІ МДН-ТРАНЗИСТОРНОЇ СТРУКТУРИ З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ ТА З АКТИВНИМ ІНДУКТИВНИМ ЕЛЕМЕНТОМ

Показана можливість перетворення оптичного випромінювання на основі автогенераторного пристрою, який містить МДН-транзисторну структуру з від'ємним опором та активний індуктивний елемент, і в якому фоточутливим елементом є сонячний елемент. Отримано аналітичну залежність вольт-амперної характеристики. Похибка розробленої математичної моделі становить  $\pm 5\%$ .

In article the opportunity of transformation of optical radiation is shown on the basis of the self-oscillator which consist of MDS-transistor structure with negative resistance and an active inductive element, and which also contains the solar cell as photosensitive element. Analytical dependence of current-voltage characteristic are received. The divergence of theoretical and experimental results is  $\pm 5\%$ .

Ключові слова: оптичне випромінювання, сонячний елемент, вольт-амперна характеристика, від'ємний опір.

### Вступ

Технологія виробництва фотоелектричних перетворювачів є однією з найбільш швидко зростаючих технологій зі щорічним приростом в 40 % [1]. Адже фотоелектрична енергетика займає особливе місце завдяки здатності фотоелектричних приладів напряму перетворювати сонячне світло в електричні сигнали без шкоди для навколишнього середовища. Зокрема, сонячні батареї є надійним і економічним джерелом струму, що доводить їх актуальність [2].

Сьогодні ефективно вирішити проблему перетворення сонячної енергії в енергію електричного поля, яку потрібно передавати на відстань, можна завдяки використанню напівпровідникових приладів з від'ємним опором, які входять до складу сучасних інформаційних систем для сприймання, обробки, зберігання і передачі вимірної інформації на відстань [3]. Тому автори статті поставили задачу дослідити характеристики радіовимірювального оптичного перетворювача на основі автогенераторного пристрою з від'ємним опором, в якому вихідним сигналом є частота.

### Постановка задачі досліджень

Метою роботи є визначення вольт-амперної характеристики перетворювача на основі еквівалентної схеми шляхом розв'язку складених рівнянь Кірхгофа, що дає можливість вибрати робочу точку і тим самим досягнути стійкості роботи автогенератора перетворювача.

### Математична модель

Схема радіовимірювального оптичного перетворювача на основі двох МДН-транзисторів з чутливим елементом – кремнієвим сонячним елементом розміром 5x10 мм та з активним індуктивним елементом показана на рис. 1. Роль індуктивної складової виконує біполярний транзистор VT3 з RC-колом, утвореним конденсатором C2 та резистором R2. Таким чином, коливальний контур утворено ємнісною складовою повного опору на електродах стік-стік МДН-транзисторів VT1 та VT2 та індуктивною складовою повного опору на електродах емітер-колектор біполярного транзистора VT3.

Для визначення вольт-амперної характеристики складено еквівалентну схему по постійному струму (рис. 2).

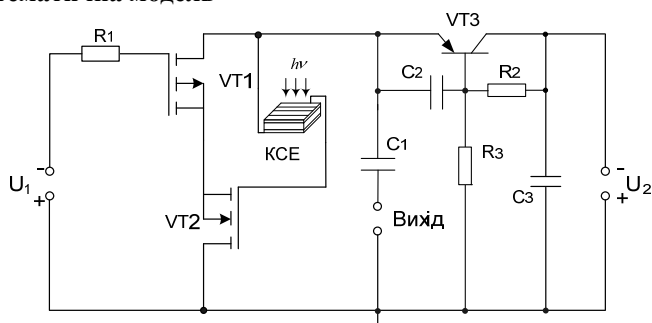


Рис. 1 Схема радіовимірювального оптичного перетворювача:

$U_1$  – напруга керування,  $U_2$  – напруга живлення

Елементи еквівалентної схеми описуються такими величинами:  $R_1$  – навантажувальний опір,  $R_3$  – омичний опір електрода затвора,  $R_{3e}$  – опір між електродами затвора і витоку,  $R_{ce}$  – опір стік-витік,  $R_c$  – опір p-n переходу стоку,  $R_e$  – опір p-n переходу витоку,  $R_n$  – опір підкладки,  $R_{S1}, R_{S4}$  – об’ємні опори p-n переходу підкладка-стік,  $R_{S2}, R_{S3}$  – об’ємні опори p-n переходу підкладка-витік,  $R_L$  – опір індуктивності коливального контуру,  $R_{e1}$  – опір

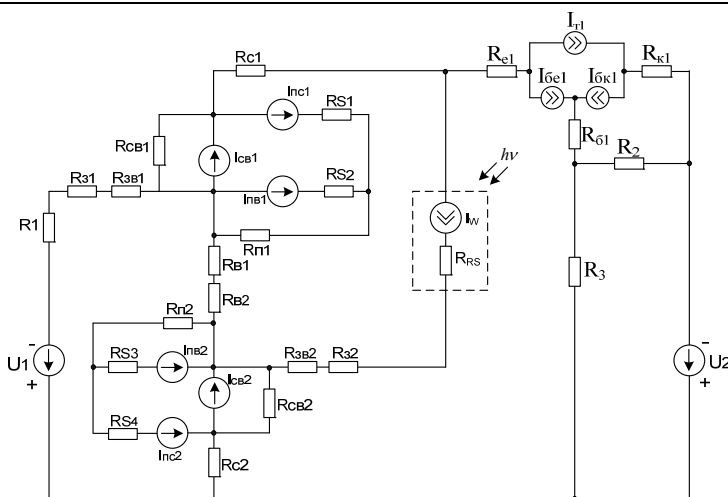


Рис. 2 Еквівалентна схема оптичного перетворювача по постійному струму

емітера біполярного транзистора  $VT3$ ;  $R_{k1}$  – опір колектора транзистора  $VT3$ ;  $R_{б1}$  – опір бази транзистора  $VT3$ ;  $I_{ce}$  – струм стік-витік,  $I_{ne}$  і  $I_{nc}$  – струм переходів підкладка-витік та підкладка-стік.

Струми  $I_{ne}$  і  $I_{nc}$  в лінійному режимі, якщо виконується умова  $U_{ce} < (U_{3e} - U_T)$ , визначаються згідно виразів [4]

$$I_{ne} = I_{ss} \left( \exp U_{ne} / (NU_t) - 1 \right), \tag{1}$$

$$I_{nc} = I_{ss} \left( \exp U_{nc} / (NU_t) - 1 \right), \tag{2}$$

де  $I_{ss}$  – струм насичення p-n переходу підкладки,  $U_{ne}$  – напруга підкладка-витік,  $U_{nc}$  – напруга підкладка-стік,  $N$  – коефіцієнт неідеальності переходу підкладка-стік,  $U_t$  – температурний потенціал p-n переходу.

Статична вихідна характеристика МДН-транзистора в лінійному режимі описується виразом [5]

$$I_{ce} = \frac{\mu \cdot C_0 \cdot W}{L} \left( (U_{3e} - U_T) \cdot U_{ce} - \frac{U_{ce}^2}{2} \right), \tag{3}$$

де  $L$  – довжина каналу,  $W$  – ширина каналу,  $\mu$  – рухливість носіїв в каналі,  $C_0$  – питома ємність оксиду,  $U_{3e}$  – напруга затвор-витік,  $U_{ce}$  – напруга стік-витік,  $U_T$  – порогова напруга.

Вираз для порогової напруги МДН-транзистора для аналітичних моделей має вигляд [5]

$$U_T = \phi_{SiO_2} + 2\phi_B - \frac{Q_S}{C_0} + \frac{1}{C_0} \sqrt{4\epsilon_S \cdot q \cdot N_A \cdot \phi_B}, \tag{4}$$

де  $Q_S$  – питома поверхневий заряд,  $\Phi / M^2$ ;  $\epsilon_S$  – відносна електрична проникність напівпровідника;  $N_A$  – концентрація домішок.

Потенціал Фермі, що входить у вираз (4), описується таким чином

$$\phi_B = \pm kT / q \cdot \ln(N_A / n_i). \tag{5}$$

Струм стоку в режимі насичення при  $U_{ce} \geq (U_{3e} - U_T)$  описується формулою [5]

$$I_{ceSAT} = \frac{\mu \cdot C_0 \cdot W}{6L} \left( \frac{(U_{ceSAT} + 2\phi_B)^2 + U_{3e} (U_{ceSAT} + 2\phi_B) -}{-12\phi_B \left( U_{3e} - \phi_B - \frac{4}{3} K \phi_B^{1/2} \right)} \right), \tag{6}$$

де

$$U_{ceSAT} = U_{3e} - 2\phi_B + K^2 \left( 1 - \left( 1 + 2U_{3e} / K^2 \right)^{1/2} \right), \tag{7}$$

$$K = (\epsilon_S q N_A / C_0)^{1/2}. \tag{8}$$

Опір стік-витік  $R_{c\phi}$  в лінійній області визначається виразом [5]

$$R_{c\phi} = \frac{L}{W\mu C_0} (U_{3\phi} - U_T), \quad (9)$$

а в області насичення

$$R_{c\phi} = \frac{12 \left[ L(U_c - U_{c\phi_{SAT}})^{1/2} - 2(\epsilon_s / qN_a)^{1/2} (U_c - U_{c\phi_{SAT}}) \right]}{W\mu C_0 (2\epsilon_s / qN_a)^{1/2}} \times \frac{1}{(U_{c\phi_{SAT}} + 2\phi_B)^2 + U_{3\phi} (U_{c\phi_{SAT}} + 2\phi_B) - 12\phi_B (U_{3\phi} - \phi_B - 4 / 3K\phi_B^{1/2})} \quad (10)$$

де  $U_c$  – напруга на стокові,  $U_{c\phi_{SAT}}$  – напруга стік-витік в режимі насичення.

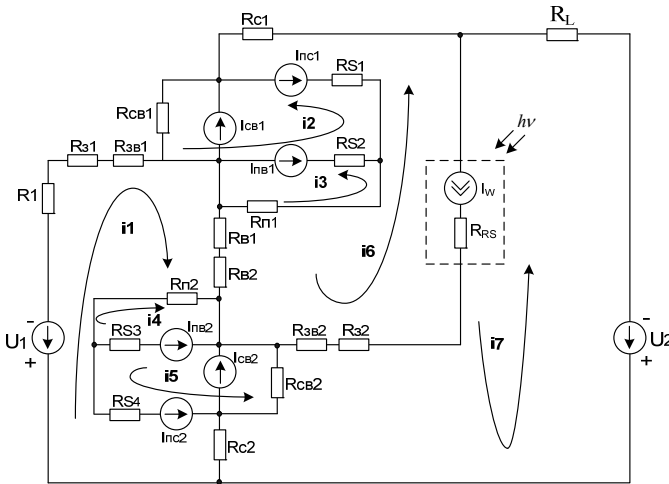


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема оптичного перетворювача по постійному струму

Перетворимо схему (рис. 2) у зручнішу для проведення розрахунків.

В схемі на рис. 3  $R_L$  – опір активного індуктивного елемента, показаного на рис. 4.

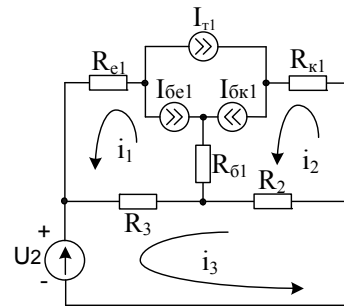


Рис. 4. Еквівалентна схема активного індуктивного елемента для постійного струму

Система рівнянь для рис. 4:

$$\begin{cases} 0 = (R_{e1} + R_{\phi 1} + R_3)(i_1 - I_{\phi e1} + I_{\phi k1} + I_{T1}) + R_{\phi 1}(-i_2 - I_{\phi k1} - I_{T1} + I_{\phi e1}) - R_3 i_3, \\ 0 = (R_{k1} + R_{\phi 1} + R_2)(i_2 - I_{\phi e1} + I_{\phi k1} + I_{T1}) + R_{\phi 1}(-i_1 - I_{\phi k1} - I_{T1} + I_{\phi e1}) - R_2 i_3, \\ -U_2 = (R_3 + R_2)i_3 + R_3(-i_1 - I_{\phi k1} - I_{T1} + I_{\phi e1}) + R_2(-i_2 + I_{\phi e1} - I_{\phi k1} - I_{T1}). \end{cases} \quad (11)$$

Введемо в систему рівнянь (11) заміни:

$$a = R_{e1} + R_{\phi 1} + R_3; b = R_{k1} + R_{\phi 1} + R_2; c = R_3 + R_2.$$

Тоді система рівнянь (11) набуде вигляду

$$\begin{cases} 0 = a(i_1 - I_{\phi e1} + I_{\phi k1} + I_{T1}) + R_{\phi 1}(-i_2 - I_{\phi k1} - I_{T1} + I_{\phi e1}) - R_3 i_3, \\ 0 = b(i_2 - I_{\phi e1} + I_{\phi k1} + I_{T1}) + R_{\phi 1}(-i_1 - I_{\phi k1} - I_{T1} + I_{\phi e1}) - R_2 i_3, \\ -U_2 = c i_3 + R_3(-i_1 - I_{\phi k1} - I_{T1} + I_{\phi e1}) + R_2(-i_2 + I_{\phi e1} - I_{\phi k1} - I_{T1}). \end{cases} \quad (12)$$

З першого рівняння системи рівнянь (12) знайдемо  $i_1$

$$i_1 = (I_{\phi e1} - I_{\phi k1} - I_{T1}) + \frac{R_{\phi 1}}{a} i_2 + \frac{R_{\phi 1}}{a} (I_{\phi k1} + I_{T1} - I_{\phi e1}) + \frac{R_3}{a} i_3, \quad (13)$$

Підставимо (13) в друге рівняння системи (12) та знайдемо  $i_2$

$$i_2 = -(I_{\phi k1} + I_{T1} - I_{\phi e1}) + i_3 \frac{R_{\phi 1} R_3 + a R_2}{ab - R_{\phi 1}^2}, \quad (14)$$

Підставимо (13) і (14) в третє рівняння системи (12) та знайдемо  $i_3$

$$i_3 = \frac{U_2}{\frac{(R_{\phi 1} R_3 + a R_2)^2}{a^2 b - a R_{\phi 1}^2} - ac - R_3^2}, \quad (15)$$

На основі розв'язку системи рівнянь (12) опір  $R_L$  визначається як:

$$R_L = \frac{U_2}{i_3} = \frac{U_2}{\frac{U_2}{\frac{(R_{\sigma 1} R_3 + a R_2)^2}{a^2 b - a R_{\sigma 1}^2} - \frac{ac - R_3^2}{a}}} = \frac{(R_{\sigma 1} R_3 + a R_2)^2}{a^2 b - a R_{\sigma 1}^2} - \frac{ac - R_3^2}{a}.$$

Для еквівалентної схеми (рис. 3) система рівнянь Кірхгофа має вигляд:

$$\begin{cases} -U_1 = A_1 \cdot (i_1 + I_{nc2}) + A_2 (i_6 - I_w) - R_{n2} i_4 + R_{S4} (i_5 + I_{nc2}) + R_{c2} i_7, \\ 0 = A_3 (i_2 - I_{nc1} + I_{c\sigma 1} + I_{n\sigma 1}) + R_{S2} (-i_3 + I_{n\sigma 1}) + R_{S1} (-i_6 - I_{nc1} + I_w), \\ 0 = A_4 (i_3 - I_{n\sigma 1}) + R_{S2} (-i_2 - I_{n\sigma 1}) + R_{n1} (-i_6 + I_w), \\ 0 = A_5 (i_4 - I_{n\sigma 2}) - R_{n2} i_1 + R_{S3} (i_5 - I_{n\sigma 2}), \\ 0 = A_6 (i_5 + I_{nc2} - I_{c\sigma 2} - I_{n\sigma 2}) + R_{c\sigma 2} (-i_7 - I_{c\sigma 2}) + R_{S4} (i_1 + I_{nc2}) + \\ + R_{S3} (i_4 - I_{n\sigma 2}), \\ 0 = A_7 (i_6 + I_{nc1} - I_w) - A_8 (i_7 + I_w) + R_{S1} (-i_2 + I_{nc1}) + \\ + R_{n1} (-i_3 + I_{n\sigma 1}) + A_2 i_1, \\ -U_2 = A_9 (i_7 + I_w + I_{c\sigma 2}) - A_8 i_6 + R_{c\sigma 2} (-i_5 + I_{c\sigma 2}) + R_{c2} (i_1 + I_{nc2}). \end{cases} \quad (16)$$

В даній системі рівнянь (16) для спрощення запису введено наступні позначення:

$$\begin{aligned} A_1 &= R_1 + R_{S1} + R_{\sigma 1} + R_{\sigma 1} + R_{\sigma 2} + R_{n2} + R_{S4} + R_{c2}, \quad A_2 = R_{\sigma 1} + R_{\sigma 2}, \quad A_3 = R_{c\sigma 1} + R_{S1} + R_{S2}, \\ A_4 &= R_{n1} + R_{S2}, \quad A_5 = R_{n2} + R_{S3}, \quad A_6 = R_{c\sigma 2} + R_{S3} + R_{S4}, \\ A_7 &= R_{\sigma 2} + R_{S2} + R_{RS} + R_{c1} + R_{S1} + R_{n1} + R_{\sigma 1} + R_{\sigma 2}, \\ A_8 &= R_{\sigma 2} + R_{S2} + R_{RS} + R_{c1} + R_{S1} + R_{n1} + R_{\sigma 1} + R_{\sigma 2}, \quad A_8 = R_{\sigma 2} + R_{S2} + R_{RS}, \\ A_9 &= R_L + R_{RS} + R_{\sigma 2} + R_{S2} + R_{c\sigma 1} + R_{c2}. \end{aligned}$$

У вихідному колі еквівалентної схеми перетворювача по постійному струму протікає струм  $i_7$ , значення якого визначається з останнього рівняння системи (16). Отже, зробивши відповідні підстановки та перетворення, отримаємо аналітичний вираз вольт-амперної характеристики оптичного перетворювача:

$$I_{вих} = i_7 = \frac{-A_8 M_1 N_4 K_3 A_1 - R_{c2} R_{n2}^2 A_2 M_1 N_4 - D_1 K_3 M_2 N_4 A_1 + D_2 - D_3 + D_4 + D_5}{-A_9 M_2 N_4 K_3 A_1 + A_8 M_3 N_4 K_3 A_1 + D_6 + D_7 + D_8 + D_9 + D_{10}}, \quad (17)$$

де

$$\begin{aligned} D_1 &= -U_2 + A_{16}, \quad D_2 = R_{c\sigma 2} K_3 A_1 M_2 N_1 + R_{c\sigma 2} K_3 A_1 M_1 N_2, \\ D_3 &= R_{c2} K_3 U_1 M_2 N_4 - R_{c2} K_3 A_{10} M_2 N_4 + R_{c2} K_3 A_2 M_1 N_4, \\ D_4 &= R_{c2} R_{n2} K_1 M_2 N_4 + R_{c2} R_{n2} K_2 M_2 N_1 + R_{c2} R_{n2} K_2 M_1 N_2, \quad D_5 = R_{c2} R_{S4} K_3 M_2 N_1 + R_{c2} R_{S4} K_3 M_1 N_2, \\ D_6 &= -R_{c\sigma 2} M_3 N_2 K_3 A_1 - R_{c\sigma 2} M_2 N_3 K_3 A_1, \quad D_7 = R_{c2} M_3 N_4 K_3 A_2 + R_{c2} R_{n2}^2 M_3 N_4 A_2, \\ D_8 &= -R_{c2} R_{n2} M_3 N_2 K_2 - R_{c2} R_{n2} M_2 N_3 K_2, \quad D_9 = -R_{c2} R_{S4} M_3 N_2 K_3 - R_{c2} R_{S4} M_2 N_3 K_3, \\ D_{10} &= R_{c2}^2 M_2 N_4 K_3 + R_{c2}^2 R_{n2}^2 M_2 N_4, \\ M_1 &= N_4 K_3 (A_3 B_2 A_{15} + A_1 R_{S1} B_2 A_{11} + A_1 R_{S1} R_{S2} B_1 + A_1 A_3 R_{n1} B_1 + A_3 B_2 U_1 A_2 - A_3 B_2 A_2 A_{10}) - \\ &- A_3 B_2 A_2 R_{n2} N_4 K_1 - A_3 B_2 A_2 R_{n2} K_2 N_1 - K_3 A_3 B_2 A_2 R_{S4} N_1, \\ M_2 &= N_4 K_3 (A_1 A_3 B_2 A_7 - A_1 R_{S1} R_{S2} B_3 - A_1 B_2 R_{S1} - A_1 A_3 R_{n1} B_3 - A_3 B_2 A_2^2) - \\ &- A_3 B_2 A_2^2 R_{n2} N_4 R_{n2} + A_3 B_2 A_2 R_{n2} K_2 N_2 + K_3 A_3 B_2 A_2 R_{S4} N_2, \\ M_3 &= N_4 K_3 A_1 A_3 B_2 A_8 + N_4 K_3 A_3 B_2 A_2 R_{c2} + A_3 B_2 A_2 R_{n2} K_2 N_3 - \\ &- A_3 B_2 A_2 R_{n2}^2 N_4 R_{c2} + K_3 A_3 B_2 A_2 R_{S4} N_3, \\ N_1 &= -R_{S3} A_1 K_1 + R_{S4} U_1 K_3 - R_{S4} A_{10} K_3 - R_{S4} R_{n2} K_1 + A_{14} K_3 A_1, \\ N_2 &= R_{S3} A_1 R_{n2} A_2 + R_{S4} A_2 K_3 + R_{S4} R_{n2}^2 A_2, \end{aligned}$$

$$N_3 = R_{S3}A_1R_{n2}R_{c2} + R_{c2}K_3A_1 + R_{S4}R_{n2}^2R_{c2} + R_{S4}R_{c2}K_3,$$

$$N_4 = R_{S4}R_{n2}K_2 + R_{S4}^2K_3 - A_6K_3A_1 + R_{S3}A_1K_2,$$

$$K_1 = A_{13}A_1 - R_{n2}(U_1 - A_{10}), \quad K_2 = R_{n2}R_{S4} + A_1R_{S3}, \quad K_3 = A_1A_5 - R_{n2}^2,$$

$$B_1 = A_2A_3 + R_{S2}A_{11}, \quad B_2 = A_3A_4 - R_{S2}^2, \quad B_3 = R_{S2}R_{S1} + A_3R_{n1},$$

Параметри еквівалентної схеми, необхідні для розрахунку вольт-амперної характеристики, отримані з роботи [4]. На основі аналітичного виразу (17) в пакеті прикладних програм Matlab 5.2 отримано графік ВАХ оптичного перетворювача (рис. 5).

### Експериментальні дослідження

При проведенні експерименту використовувалась гібридна схема перетворювача на основі двох МДН-транзисторів р-типу КП301Б та п-типу КП305И, біполярного транзистора BC857 з RC-колом, утвореним конденсатором  $C2=800 \text{ pF}$  та резистором  $R2=6.79 \text{ k}\Omega$ , конденсатора  $C3$ , ємність якого  $470 \text{ nF}$ , резистора  $R2=52.8 \text{ k}\Omega$ . В якості чутливого елемента використано сонячний елемент ( $5 \times 10 \text{ мм}$ ) на основі монокристалічного кремнію з ККД 16 %.

На рис. 5 показана теоретична та експериментальна ВАХ пристрою.

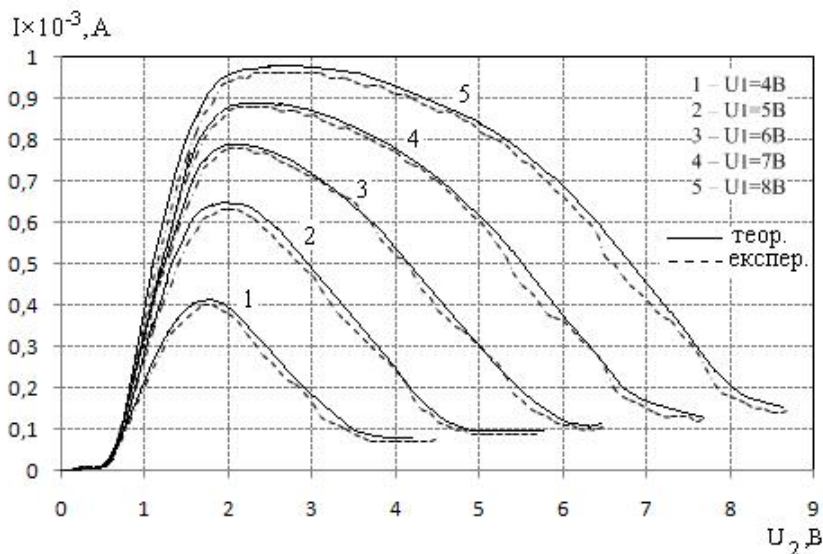


Рис. 5 – Теоретичні та експериментальні ВАХ оптичного перетворювача на основі транзисторів КП301Б, КП305И, BC857, та сонячного елемента

Графік показує, що зі збільшенням напруги керування  $U_1$  збільшується ділянка від'ємного опору. При  $U_1 = 4\text{В}$  ділянка від'ємного опору по  $U_2$  лежить в межах від 1,8 до 4 В, при  $U_1 = 6\text{В}$  – від 2,2 до 6,5 В, при  $U_1 = 8\text{В}$  – від 3,1 до 8,7 В.

### Висновки

1. Отримано аналітичний вираз вольт-амперної характеристики на основі системи рівнянь Кірхгофа, складених для еквівалентної схеми оптичного перетворювача на основі двох МДН-транзисторів та активного індуктивного елемента. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів становить  $\pm 5\%$ .

2. Графічна залежність вихідного струму  $I_{\text{вих}}$  від напруги живлення  $U_2$  доводить, що на електродах стік-стік МДН-транзисторів існує від'ємний опір, причому зі збільшенням напруги керування  $U_1$  збільшується ділянка від'ємного опору. Самозбудження і стійкість роботи автогенератора зумовлені вибором робочої точки на вольт-амперній характеристиці.

### Література

1. Mathew X. Photovoltaics, Solar Energy Materials // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2009. – № 1 – С. 1.
2. Шалимов Ю.Н. Современная альтернативная энергетика с точки зрения экономики и экологии / Ю.Н. Шалимов, А.Л. Гусев, Г.А. Мхиторян, Ю.В. Литвинов, В.Е. Ковалев, Е.А. Доброквашин, Е.С. Миленина, Е.Л. Савельева, Д.Л. Шалимов // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 10. – С. 114-139.

3. Ільченко О.М. Система вимірювання потужності оптичного випромінювання на основі частотних перетворювачів з від'ємним опором / Савчук Б.С. / Матеріали XV Міжнародного молодіжного форуму „Радиоелектроника и молодежь в XXI веке” // Сб. матеріалів форуму. Т. 2. / Харьков: ХНУРЕ, 2011. – С. 95-96.

4. Разевиг В.Д. Применение программ P-CAD и Pspice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. Выпуск 2. Модели компонентов аналоговых устройств / В.Д. Разевиг. – М.: Радио и связь, 1992. – 72 с.

5. Ферри Д. Электроника ультрабольших интегральных схем / Ферри Д., Эйкерс Л., Гринич Э. – М.: Мир, 1991. – 327 с.

Надійшла 11.4.2011 р.

УДК 621.375

А. ЛЯПАНДРА

Тернопільський національний економічний університет

## АМПЛІТУДНО-ЧАСОВІ ПАРАМЕТРИ БІОЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИГНАЛІВ ФАЗОВОГО РІВНЯ БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

*В статті обґрунтовано амплітудно-часові параметри біоелектромагнітних сигналів фазового рівня біотехнічних систем та узгоджено ці параметри з теорією сигналів. Набув подальшого розвитку опис фазового рівня біотехнічних систем. Обґрунтовані параметри практично застосовано при дослідженні вільно-радикальних властивостей біопроб за допомогою хемілюмінометра.*

*In the article the amplitude-time parameters of bioelectromagnetic signals of biotechnical systems' phase level are grounded and these parameters are agreed with the theory of signals. Assumed further development description of the biotechnical systems' phase-level. Grounded parameters are practically applied in the study of free-radical properties bioassays with chemiluminometer.*

Ключові слова: амплітудно-часові параметри, фазовий рівень, біоелектромагнітний сигнал, біотехнічна система.

### Постановка задачі

Важливою проблемою сьогодення є збільшення тривалості повноцінного життя людини. В рамках цієї проблеми актуальною технічною задачею є підвищення швидкодії та ефективності біотехнічних систем, робота яких полягає у прийнятті рішень на основі інформативних параметрів біоелектромагнітних сигналів.

Оскільки такі системи є складними, то їх структура поділена на рівні. Внаслідок цього отримують, в тому числі, фазовий рівень біотехнічної системи, що спрощує її проектування. Він утворений керованою зміною стану біопроби. Вихідною інформацією цього рівня є амплітудно-часові параметри біоелектромагнітних сигналів. Для забезпечення проведення ефективного проектування біотехнічних систем необхідно розробити моделі всіх їх рівнів з врахуванням тих параметрів, які повинні бути отримані на кожному рівні. Тому актуальною задачею є обґрунтування амплітудно-часових параметрів фазового рівня біотехнічних систем, робота яких ґрунтується на опрацюванні біоелектромагнітних сигналів.

### Аналіз досліджень та публікацій

Задачі обґрунтування амплітудно-часових параметрів, отриманих при біофізичних та медичних дослідженнях, присвячено численні роботи, серед яких відзначимо монографії В.Г. Абакумова «Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг» [1] та А.І. Биха, М.М. Рожицького «Електрохемілюмінесцентний метод» [2]. У цих працях розглянуто загальні питання стосовно параметрів сигналів.

### Виділення невирішених частин

Слід зауважити, що у вказаних працях недостатньо уваги приділено висвітленню підходів до обґрунтування амплітудно-часових параметрів біоелектромагнітних сигналів фазового рівня біотехнічних систем. Внаслідок цього при проектуванні низки біотехнічних систем, наприклад хемілюмінометрів, виникають суттєві труднощі.

### Формулювання цілей

У статті об'єктом дослідження є біоелектромагнітний процес, який виникає при збуренні біопроби, а його предметом – інформативні компоненти електричного сигналу, що викликаний біоелектромагнітним сигналом.

Для розв'язання задачі обґрунтування амплітудно-часових параметрів фазового рівня біотехнічних систем необхідно провести опис фазового рівня біотехнічної системи, узгодити ці параметри з теорією сигналів та визначити їх математичне сподівання. При цьому застосувати методи досліджень як теоретичного, так і практичного характеру.

### Опис фазового рівня біотехнічних систем

Типові параметри біопроб визначають на основі відображення електричного сигналу, який утворений біоелектромагнітним процесом. Електричний сигнал характеризується такими складовими:

1) інформативний детермінований сигнал  $s(t, p_1, p_2, \dots, p_n)$ . За умови, що випромінювання є детерміноване стосовно до властивостей біопроб [3] параметри  $p_1, p_2, \dots, p_n$  залежать від цих властивостей. У публікації [4] вказано, що інформативний детермінований хемілюмінесцентний сигнал описується таким чином: