

Национальная Академия наук Украины
Министерство образования и науки,
молодежи и спорта Украины

Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины

Институт физики полупроводников НАН Украины
имени В.Е. Лашкарева

Закрытое акционерное общество «НИК «Наука»

Харьковский национальный университет радиоэлектроники



Сборник научных трудов

V Международной научной конференции

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БАЗА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Полупроводниковые квантовые
наноструктуры и свехрешетки

Оптоэлектронные устройства на основе
наноструктур и нанопроцессов

Фотоника волноводных
наноразмерных структур

Микро- и наноэлектромеханические системы

Методы исследования наноструктур
и их метрологическое обеспечение

Солнечные элементы
с квантово-размерными структурами



Харьков – Крым
2012

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ЧАСТОТНИЙ СИГНАЛ

Осадчук В.С., Осадчук О.В., Жагловська О.М.

Вінницький національний технічний університет

21021, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, каф. Електроніки, тел. (0432) 59-84-31

E-mail: osadchuk69@mail.ru

The optiko-electronic transducer of a solar energy in a frequency signal on the basis of bipolar and two gate MOSFET transistors which form oscillatory system which consists from the capacitive component transistor structure with negative resistance and external inductance is offered. It are theoretically counted and experimentally tested functions of transformation and sensitivity of the device which changes from 320 to 7,6 kHz/uWt/cm² at change of power of a solar radiation 0 to 774 uWt/cm².

Вступ

Одним із нових наукових напрямків використання сонячної енергії на навколосемних космічних апаратах і передача її на Землю є дослідження і розробка радіовимірювальних приладів, які б перетворювали сонячну енергію у частотний вихідний сигнал і передавали цей сигнал на Землю. Цю проблему можна вирішити при використанні реактивних властивостей напівпровідникових приладів з від'ємним опором, які утворюють коливальну систему з чутливим оптичним елементом. Це дозволяє перетворювати оптичну потужність в частотний вихідний сигнал, що забезпечує високу завадостійкість отже, і високу точність вимірювання потужності оптичного випромінювання. Окрім того радіовимірювальні прилади на основі оптичних перетворювачів з частотним вихідним сигналом поєднують як простоту, так і універсальність, які властиві аналоговим пристроям, а також точність та завадостійкість, що характерні для приладів з кодовим виходом. Вони мають високу чутливість до вимірюваних параметрів, малу масу, габарити, інформаційну, конструктивну і технологічну сумісність з мікроелектронними засобами обробки інформації, що забезпечує їх перевагу перед існуючими оптичними перетворювачами [1, 2].

Математична модель

З метою вивчення властивостей радіовимірювальних приладів на основі оптичних перетворювачів необхідно розробити математичну модель, за допомогою якої отримують основні метрологічні характеристики: залежності активної та реактивної складових повного опору структури, рівняння чутливості, частоти генерації від потужності оптичного випромінювання, режимів живлення. Розгляду цих питань присвячено дану роботу.

Для суттєвого розширення робочого діапазону вимірюваної величини, підвищення чутливості і надійності роботи приладу, а також для ефективного вирішення проблеми дистанційної передачі потужності оптичного випромінювання запропонований прилад, схема якого показана на рис. 1.

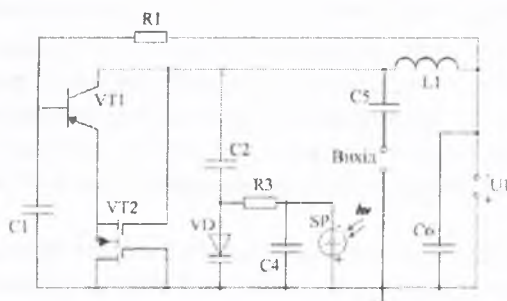


Рис. 1. Схема оптико-електронного перетворювача сонячної енергії у частотний сигнал

Принцип дії приладу ґрунтується на зміні оптичної потужності, що приймається сонячною батареєю SP. Таким чином змінюється вихідна напруга на сонячній батареї, яка приводить до зміни ємності варикапа VD, що в свою чергу змінює ємнісну складову повного

опору на електродах стік-колектор двозатворного МДН-транзистора VT2 і біполярного транзистора VT1, а це викликає ефективну зміну резонансної частоти коливального контуру, який утворений паралельним включенням повного опору з ємнісним характером на електродах стік-колектор та пасивної індуктивності L1.

Для визначення основних параметрів, що характеризують роботу приладу (рис. 1), необхідно скласти еквівалентну схему приладу для змінного струму (рис. 2).

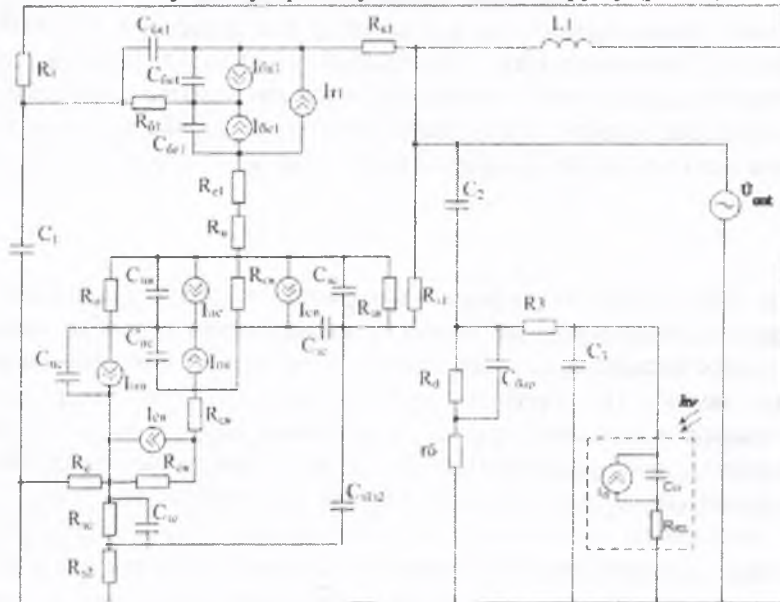


Рис.2. Еквівалентна схема приладу з сонячною батареєю по змінному струму

В еквівалентній схемі на рис. 2 використано наступні позначення: $R_{\beta 1}$, $R_{\kappa 1}$, $R_{\epsilon 1}$ – об’ємний опір бази, колектора і емітера біполярного транзистора VT1 відповідно; R_b , R_c , R_g та R_{s2} – об’ємні опори витoku, стоку та першого і другого затворів VT2; R_n – опір підкладки VT2; R_{ce} – об’ємний опір стік-витік транзистора VT2; R_{gs} – об’ємний опір затвор-витік транзистора VT2; R_{j1} – об’ємний опір затвору транзистора VT2; R_c – опір p-n переходу стоку транзистора VT2; R_{sc} – опір затвор-стік транзистора VT2; C_w – ємність сонячної батареї; $C_{\beta \kappa 1}$, $C_{\beta \epsilon 1}$ – ємність переходу база-колектор та база-емітер транзистора VT1; $C_{\beta \kappa 1}$ – ємність між зовнішнім виводом бази і колектора біполярного транзистора VT1; C_{ns} – ємність підкладка-витік VT2; C_{nc} – ємності підкладка-стік транзистора VT2; C_{sc} – ємності затвор-стік VT2; C_{gs} – ємність затвор-витік транзистора VT2; $C_{s1,2}$ – ємність між першим і другим затвором транзистора VT2; $C_{бар}$ – бар’єрна ємність p-n переходу варикапа VD; R_d – опір p-n переходу варикапа VD; r_d – омичний опір бази варикапа VD; R_{GS} – опір сонячної батареї.

Для визначення активної та реактивної складових повного опору структури, функції перетворення та рівняння чутливості складено систему рівнянь Кірхгофа на основі еквівалентної схеми (рис.2), яка вирішена за допомогою програмного пакету Matlab 6.5.

Проведені дослідження впливу вихідної напруги сонячної батареї на частоту генерації вимірювального каналу приладу показали, що цей вплив відбувається по майже лінійному закону (рис.3).

Основною характеристикою вимірювального каналу приладу на основі перетворювача (рис. 1) є функція перетворення, на основі якої мікроконтролерна вимірювальна система визначає значення оптичної потужності. Для визначення функції перетворення необхідно знайти залежність частоти генерації від потужності падаючого випромінювання. Залежність частоти генерації від потужності оптичного випромінювання визначається по контуру зворотного струму згідно еквівалентної схеми (рис. 2) на основі теорії стійкості Ляпунова.

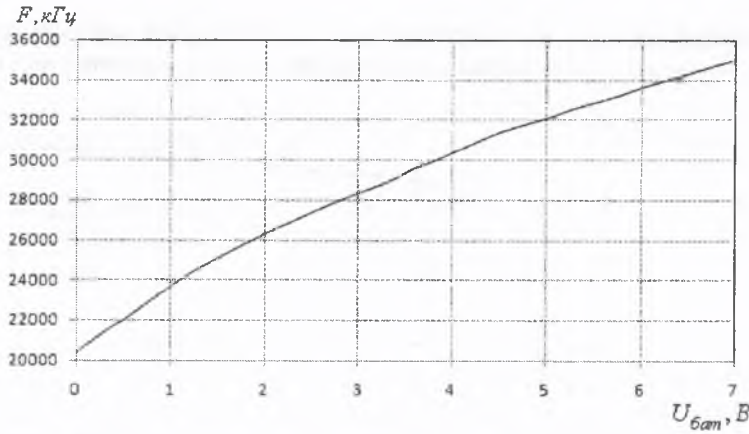


Рис.3. Залежність частоти генерації оптико-електронного перетворювача від вихідної напруги на сонячній батареї ($U_1 = 4B$)

Функція перетворення вимірювального каналу приладу на основі біполярного та двозатворного МДН-транзистора з сонячною батареєю описується виразом (1), а чутливість вимірювального каналу приладу – виразом (2):

$$F = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sqrt{D} - (L_1 B - AR_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) - BR_d^2 C_{\text{бар}}(P))}{2L_1 BR_d^2 C_{\text{бар}}^2(P)}}; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} S_F^F = \frac{1}{8} \sqrt{2} & \left[\left\{ \frac{1}{2} (2D_1 \left(L_1 \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} - 2R_d^2 C_{\text{бар}}(P) A \left(\frac{\partial}{\partial P} C_{\text{бар}}(P) \right) - R_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) \right) \right. \right. \right. \\ & \times \left(\left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} + \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} + \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{з1з2}} + \right. \\ & \left. \left. \left. + \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} \right) - R_d^2 B \left(\frac{\partial}{\partial P} C_{\text{бар}}(P) \right) - R_d^2 C_{\text{бар}}(P) \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} \right\} + \right. \\ & \left. + 4L_1 \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} R_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) A + 8L_1 BR_d^2 C_{\text{бар}}(P) A \left(\frac{\partial}{\partial P} C_{\text{бар}}(P) \right) + 4L_1 BR_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) \right. \\ & \times \left(\left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} + \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} + \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{з1з2}} + \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) \right. \\ & \times \left. \left. \left. C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} \right) \right\} / \sqrt{D_2} - L_1 \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} + 2R_d^2 C_{\text{бар}}(P) A \left(\frac{\partial}{\partial P} C_{\text{бар}}(P) \right) + R_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) \right. \\ & \times \left(\left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} + \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} + \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{з1з2}} + \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} \right) + \\ & \left. R_d^2 B \left(\frac{\partial}{\partial P} C_{\text{бар}}(P) \right) + R_d^2 C_{\text{бар}}(P) \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}} \right\} / L_1 BR_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) - \left(\sqrt{D_2} - D_1 \right) \left(\frac{\partial}{\partial P} C_w(P) \right) / L_1 B \times \\ & \times C_w(P) R_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) - 2 \left(\sqrt{D_2} - D_1 \right) \left(\frac{\partial}{\partial P} C_{\text{бар}}(P) \right) / L_1 BR_d^2 C_{\text{бар}}^3(P) \left. \right] / \pi \sqrt{\left(\sqrt{D_2} - D_1 \right) / L_1 BR_d^2 C_{\text{бар}}^2(P)}, \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{де } B &= C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_w(P) C_{\text{з1з2}}; \quad D = (L_1 B - AR_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) - BR_d^2 C_{\text{бар}}(P))^2 + 4AL_1 BR_d^2 C_{\text{бар}}^2(P); \\ A &= C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_w(P) C_{\text{з1з2}} + C_{\text{бк1}} C_{\text{зс}} C_w(P) C_{\text{з1з2}} + C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_w(P) C_{\text{з1з2}} + C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_w(P) + C_{\text{бк1}} C_{\text{бел}} C_{\text{зс}} C_{\text{з1з2}}; \\ D_1 &= L_1 B - R_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) A - R_d^2 C_{\text{бар}}(P) B; \quad D_2 = (L_1 B - R_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) A - R_d^2 C_{\text{бар}}(P) B)^2 + 4L_1 BR_d^2 C_{\text{бар}}^2(P) A. \end{aligned}$$

На рис. 4 подана експериментальна та теоретична залежність частоти генерації вимірювального каналу приладу з сонячною батареєю від зміни потужності оптичного випромінювання, як видно, частота генерації збільшується зі збільшенням потужності

оптичного випромінювання, а на ділянці від 0 до 80 мкВт/см^2 спостерігається більша крутість характеристики залежності частоти генерації від зміни оптичної потужності.

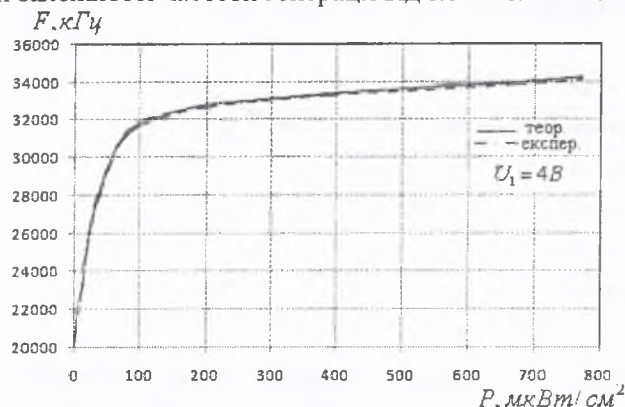


Рис.4. Функція перетворення вимірювального каналу приладу

Графік залежності чутливості від величини потужності оптичного випромінювання представлений на рис. 5. З рис. 5 видно, що зі зміною потужності оптичного випромінювання від 0 до 774 мкВт/см^2 , чутливість змінюється від 320 до $7,6 \text{ кГц/мкВт/см}^2$.

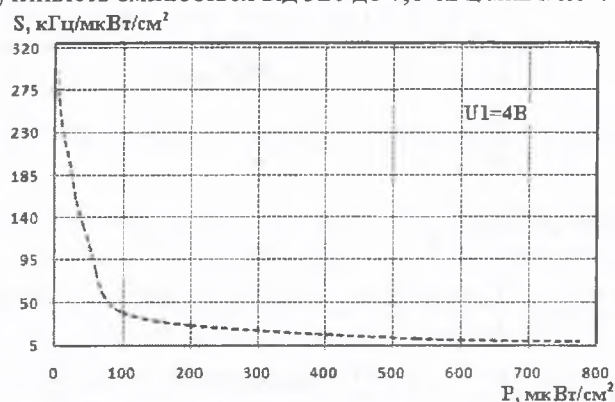


Рис.5. Залежність чутливості вимірювального каналу приладу від зміни величини потужності оптичного випромінювання

Висновки

Запропоновано оптико-електронний перетворювач сонячної енергії у частотний сигнал на основі біполярного та двозатворного МДН транзисторів, які утворюють коливальну систему, що складається з ємнісної складової транзисторної структури з від'ємним опором та зовнішньої індуктивності. Теоретично розраховані і експериментально перевірено функції перетворення і чутливості пристрою, яка змінюється від 320 до $7,6 \text{ кГц/мкВт/см}^2$ при зміні потужності сонячного випромінювання від 0 до 774 мкВт/см^2 .

Список літератури:

1. Осадчук А. В. Фоточувствительные преобразователи на основе структур с отрицательным сопротивлением / Александр Владимирович Осадчук, – Вінниця: Континент, 1998. – 129 с. – ISBN 966-561-024-9.
2. Осадчук В. С. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця: Універсум – Вінниця, 1999. – 275 с. – ISBN 966-7199-67-3.
3. Пат. 31974 УКРАЇНА, МКІ G 01 J 1/44. Мікроелектронний вимірювач оптичного випромінювання / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. М. Льченко, С. В. Барабан; заявник та патентовласник Вінн. нац. техн. ун-т. – №u200714925; заявл. 27.12.2007; опубл. 25.04.2008; Бюл. № 8.