

АВТОГЕНЕРАТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ІОТ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі представлено дослідження автогенераторного перетворювача оптичного випромінювання на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором, що дозволяє значно зменшити апаратні затрати в комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних системах. Розроблено математичну модель опису роботи перетворювача, яка побудована на принципі перетворення енергії оптичного випромінювання в енергію змінного електричного поля на виході перетворювача, що дозволяє отримати параметричну залежність вихідної частоти перетворювача від параметрів чутливого елементу і параметрів автогенератора. чутливість розробленого автогенераторного перетворювача на основі фоточутливого МДН транзистора складає від $194 \text{ кГц}/\mu\text{Вт}/\text{см}^2$ до $215,2 \text{ кГц}/\mu\text{Вт}/\text{см}^2$ в діапазоні оптичної потужності $0 \text{ мкВт}/\text{см}^2$ до $90 \text{ мкВт}/\text{см}^2$.

Ключові слова: автогенераторний перетворювач оптичного випромінювання, частота, МДН фоточутливий елемент, функція перетворення, рівняння чутливості.

Abstract

The paper presents a study of a self-oscillating optical radiation converter based on a transistor structure with negative differential resistance, which allows to significantly reduce hardware costs in computer and information and measuring systems. A mathematical model for describing the operation of the converter has been developed, which is based on the principle of converting optical radiation energy into the energy of an alternating electric field at the converter output, which allows to obtain a parametric dependence of the converter output frequency on the parameters of the sensitive element and the parameters of the self-oscillating converter. The sensitivity of the developed self-oscillating converter based on a photosensitive MOSFET transistor is from $194 \text{ kHz}/\mu\text{W}/\text{cm}^2$ to $215.2 \text{ kHz}/\mu\text{W}/\text{cm}^2$ in the optical power range of $0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ to $90 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Keywords: self-oscillating converter of optical radiation, frequency, MOSFET photosensitive element, conversion function, sensitivity equation.

Одним з перспективних напрямків розвитку вимірювальних перетворювачів оптичної потужності є автогенераторні перетворювачі, що працюють в режимі перетворення «оптичне випромінювання – частота», що дає можливість значно зменшити апаратні затрати в комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних системах і мережах [1, 2]. В роботі запропоновано і досліджено автогенераторний перетворювач для вимірювання оптичної потужності, в якій фоточутливим елементом є МДН-транзистор, що також зменшує апаратні затрати в комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних системах. На рис. 1 представлено електричну схему автогенераторного перетворювача оптичного випромінювання.

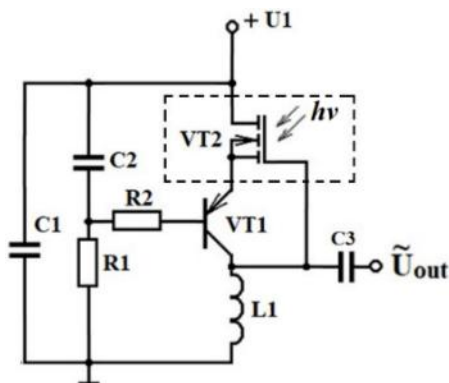


Рис.1. Схема мікроелектронного автогенераторного оптичного перетворювача з фоточутливим польовим транзистором

Вона побудована на основі біполярного транзистора VT1 і фоточутливого польового транзистора VT2 з індукованим каналом, який і є чутливим до оптичного випромінювання елементом. Живлення схеми з постійного струму відбувається через резистори R1 і R2 від джерела постійної напруги U1. Додатковий позитивний зворотний зв'язок у схемі здійснюється за рахунок електричного кола R1C2, що збільшує диференціальний від'ємний опір на електродах колектор VT1 і стік VT2. На цих електродах існує повний опір, активна частина якого має від'ємне значення, а реактивна носить ємнісний характер. При підключенні індуктивності L1 до колектора біполярного транзистора VT1 і верхнього виводу конденсатора C1 створюється коливальний контур, в якому компенсуються втрати енергії через енергію диференціального від'ємного опору. Резонансна частота коливального контуру автогенераторного оптичного

перетворювача залежить від дії оптичного випромінювання на фоточутливий польовий транзистор VT2, оскільки змінюється величина струму, яка протікає через нього [3-4]. На основі принципу перетворення енергії оптичного випромінювання в енергію змінного електричного поля на виході перетворювача розроблено математичну модель, з якої отримано функцію перетворення і чутливості. Функція перетворення описується формулою

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{U_{\sim}^2 L_{\text{кан}}}{2KU_{\text{св}} t Z \mu_n C_0 [U_3 - U_{\text{пор}}]^2 L} - \frac{U_{\sim}^4 L_{\text{кан}}^2}{4K^2 U_{\text{св}}^2 t^2 Z^2 \mu_n^2 C_0^2 [U_3 - U_{\text{пор}}]^4 R_g^2} \right]^{1/2}.$$

На рис. 2 подано графічну залежність розрахункової та експериментальної кривих функцій перетворення оптичного перетворювача. Графік чутливості перетворювача подано на рис. 3.

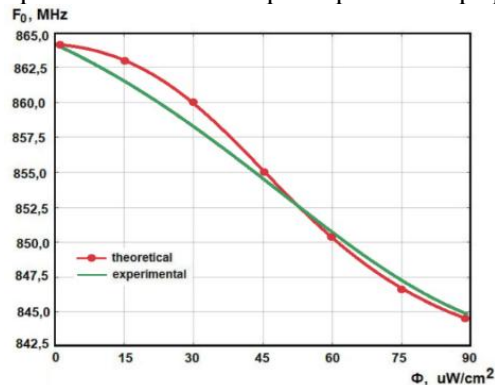


Рис.2. Теоретична та експериментальна залежності функцій перетворення

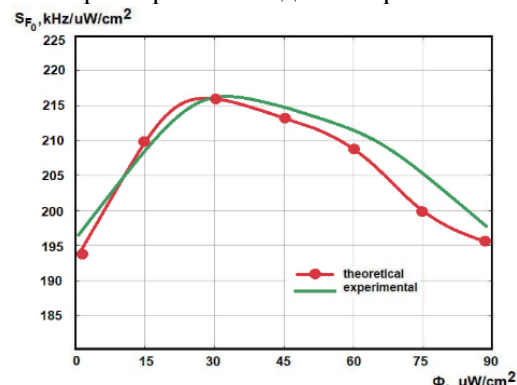


Рис. 3. Теоретична та експериментальна залежності функцій чутливості

Як видно з графіка (рис.3), чутливість розробленого автогенераторного перетворювача на основі фоточутливого МДН транзистора складає від 194 кГц/мкВт/см² до 215,2 кГц/мкВт/см² в діапазоні оптичної потужності 0 мкВт/см² до 90 мкВт/см².

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Liu C-H, Lin S-D. N-Channel MOSFET Reliability Issue Induced by Visible/Near-Infrared Photons in Image Sensors. *Sensors*. 2023; 23(23):9586. <https://doi.org/10.3390/s23239586>
2. Jeong U-H, Park J-H, Choi J-H, Lee W-G, Park J-G. Hybrid Organic-Si C-MOSFET Image Sensor Designed with Blue-, Green-, and Red-Sensitive Organic Photodiodes on Si C-MOSFET-Based Photo Signal Sensor Circuit. *Nanomaterials*. 2024; 14(13):1066. <https://doi.org/10.3390/nano14131066>
3. O.V. Osadchuk, I.O. Osadchuk, A.O. Semenov, "The Mathematical Model of Radio-measuring Frequency Transducer of Optical Radiation Based on MOS Transistor Structures with Negative Differential Resistance", *Journal of Nano- and Electronic Physics. Scientific journal*. Vol. 13 No 4, 04001(6 pp). 2021.
4. A.V. Osadchuk, V.S. Osadchuk, I.A. Osadchuk, O.O. Seletska, Piotr Kisała, and Karlygash Nurseitova, "Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors", *Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 111761I, pp.1-12. 2019.

Осадчук Олександр Володимирович – д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com

Осадчук Ярослав Олександрович – д.т.н., доцент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osadchuk.j93@gmail.com

Шукун Костянтин Віталійович – аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: shykunkv@gmail.com

Osadchuk Oleksandr Volodymyrovych - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com

Osadchuk Iaroslav Oleksandrovysh - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.j93@gmail.com

Shykun Kostyantyn Vitaliyovych – postgraduate student of the Department of information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: shykunkv@gmail.com