

ПЕРЕТВОРЮВАЧ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано і досліджено автогенераторний перетворювач 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 оптичного перетворювача, яка базується 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 перетворювача в діапазоні від 0 мкВт/см² до 90 мкВт/см² складала 88,1кГц/мкВт/см² до 93,5кГц/мкВт/см² в інтервалі частот від 857,5МГц до 849,3МГц.

Ключові слова: автогенераторний перетворювач оптичного випромінювання, перетворювач з частотним виходом, оптичний чутливий елемент, функція перетворення, рівняння чутливості.

Вимірювання потужності оптичного випромінювання необхідно в багатьох галузях виробництва і техніки, зокрема, у мікроелектронній технології, сонячній енергетиці, космічних дослідженнях, військовій техніці, ядерній енергетиці, дослідженні довкілля, що потребує створенню вимірювальних приладів високої точності та чутливості, стабільності і швидкодії, а також дослідження впливів всієї сукупності факторів, що супроводжують вимірювальний процес [1, 2]. 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 [3–5].

В роботі запропоновано і досліджено автогенераторний перетворювач для вимірювання оптичної потужності, в якій фоточутливим елементом є фоторезистор, що також зменшує апаратні затрати в комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних системах. На рис. 1 представлено електричну схему автогенераторного оптичного перетворювача. Вона складається з біполярного транзистора VT1 і арсенід-галійового польового транзистора VT2. На електродах колектор-стік існує від'ємний диференціальний опір, що відповідає спадній ділянці вольт-амперної характеристики перетворювача.

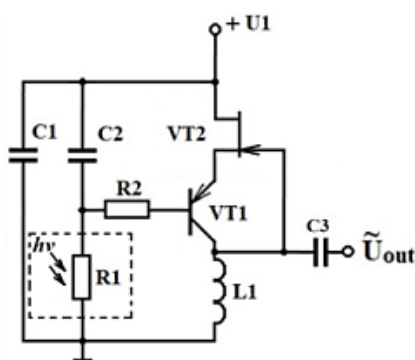


Рис.1. Електрична схема автогенераторного оптичного перетворювача

Коливальний контур утворений пасивною індуктивністю L1 і ємністю повного опору, який існує на електродах колектора біполярного транзистора VT1 і стоку польового транзистора VT2. Під час дії світла на фоторезистор R1 здійснюється зміна активної та реактивної складових повного опору на електродах колектор-стік пристрою, що викликає зміну вихідної частоти автогенераторного оптичного перетворювача. 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

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{U_{\sim}^2 h\nu}{2Ktq\eta_i A\Phi a L V U_{\Phi}} - \frac{U_{\sim}^4 (h\nu)^2}{4K^2 t^2 q^2 \eta_i^2 A^2 \Phi^2 R_g^2 a^2 V^2 U_{\Phi}^2} \right]^{1/2}.$$

На рис. 2 подано графічну залежність розрахункової та експериментальної кривих функцій перетворення оптичного перетворювача. Графік чутливості перетворювача подано на рис. 3. Як видно з графіка (рис.3), чутливість в діапазоні від 0 мкВт/см² до 90 мкВт/см² складала 88,1кГц/мкВт/см² до 93,5кГц/мкВт/см² в інтервалі частот від 857,5МГц до 849,3МГц.

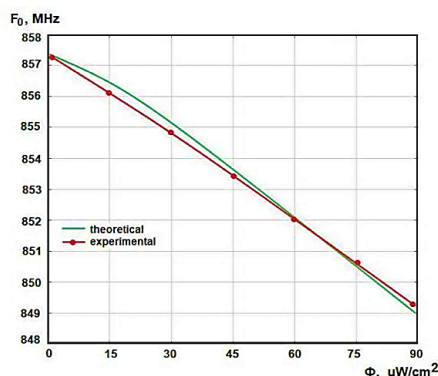


Рис.2. Залежність розрахункової та експериментальної кривих функцій перетворення від оптичної потужності

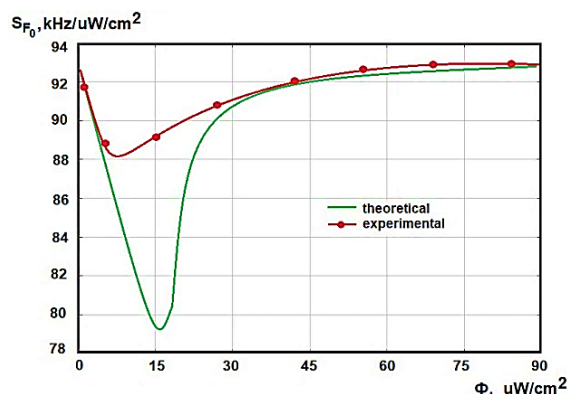


Рис. 3. Розрахункова та експериментальна залежність функції чутливості перетворювача від оптичної потужності

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Gupta A., Pal P. Flexible sensors for biomedical application // *Environmental, Chemical and Medical Sensors*, Springer, Singapore, 2018. pp. 287-314.
2. Szczurek A, Gonstał D, Maciejewska M. A Multisensor Device Intended as an IoT Element for Indoor Environment Monitoring. *Sensors*. 2024; 24(5):1461. <https://doi.org/10.3390/s24051461>
3. 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.
4. 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.
5. A. Osadchuk, O. V. Osadchuk, V. S. Osadchuk and A. O. Semenov, "Optical Sensor with Frequency Output Based on Resonant Tunneling Diode," *2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2022, pp. 442-446.

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

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

Шукун Костянтин Віталійович – аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

OPTICAL RADIATION CONVERTER WITH FREQUENCY OUTPUT

Abstract

A self-oscillating optical radiation converter based on a transistor structure with negative differential resistance has been proposed and investigated, which allows to significantly reduce hardware costs in computer and information and measuring systems. A mathematical model has been developed to describe the operation of an optical converter, 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 oscillator. The sensitivity of the converter in the range from $0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ to $90 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ was $88.1 \text{ kHz}/\mu\text{W}/\text{cm}^2$ to $93.5 \text{ kHz}/\mu\text{W}/\text{cm}^2$ in the frequency range from 857.5 MHz to 849.3 MHz .

Keywords: self-oscillating converter of optical radiation, converter with frequency output, optical sensitive element, conversion function, sensitivity equation.

Osadchuk Iaroslav Oleksandrovych - Ph.D., Associate Professor of the Department information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.j93@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

Shykun Kostyantyn Vitaliyovych – postgraduate student of the Department of information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.