

О.В. Осадчук¹
Я.О. Осадчук¹
І.М. Швець¹
С.В. Ліхашорський¹
О.П. Червак¹

РАДІОВІМІРЮВАЛЬНИЙ ОПТИЧНИЙ ВИТРАТОМІР ГАЗУ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено радіовимірювальний оптичний витратомір газу на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором. Отримано аналітичні вирази функції перетворення та рівняння чутливості. На основі експериментальних досліджень встановлено, що частота генерації змінювалась від 532 МГц до 698 МГц при зміні напруги керування від 2,5 В до 4,5 В. Чутливість розробленого радіовимірювального оптичного витратоміра складає 200,3 кГц/л/год – 568,65 кГц/л/год.

Ключові слова: радіовимірювальний оптичний витратомір газу; оптичне випромінювання; від'ємний диференціальний опір; реактивні властивості.

Abstract

Radiomeasuring optical gas flowmeter based on transistor structure with negative differential resistance was developed. Analytical expressions of the transformation function and the sensitivity equation are obtained. Based on experimental studies, it was found that the frequency of generation varied from 532 MHz to 698 MHz with a change in control voltage from 2.5 V to 4.5 V. The sensitivity of the developed radio-measuring optical flowmeter is 200.3 kHz/l/h - 568.65 kHz/l/h.

Keywords: radiomeasuring optical gas flowmeter; optical radiation; negative differential resistance; reactive properties.

Вступ

Використання фотореактивного ефекту і від'ємного опору напівпровідникових чутливих елементів дає змогу підвищити чутливість і точність перетворення оптичних сигналів для побудови радіовимірювальних оптичних витратомірів газу [1-4]. Конструктивно частотні оптичні витратоміри газу з виконуються у вигляді інтегральної гібридної схеми, яка складається із арсенід-галієвого польового транзистора із бар'єром Шоткі і біполярного транзистора. В якості фоточутливих елементів виступає фоточутливий діод. Для вивчення властивостей оптичних витратомірів газу з частотним виходом необхідно розробити математичні моделі на основі яких отримати основні характеристики перетворювачів, залежність активної і реактивної складової повного опору, частоти генерації від оптичного випромінювання та режимів живлення. Розгляду цих питань присвячений дана робота.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Для створення радіовимірювальних оптичних витратомірів газу використаємо інтерферометричний спосіб рефрактометрії оптично прозорих рідин і газів, а в якості фоточутливого елемента частотний перетворювач на основі транзисторної структури з від'ємним опором [5]. На рис.1 зображено схему радіовимірювального оптичного витратоміру газу. Пристрій містить джерело світлового випромінювання 1, напівпрозору пластину 2 на оптичній осі променю, промінь світла 3, що відбивається від напівпрозорої пластини 2 та через оптичні скляні пластини 4, 5 потрапляє на дзеркало 6, а промінь світла 7 проходить через напівпрозору пластину 8 на додаткове дзеркало 9 і через оптичні скляні пластини 10, 11 потрапляє на дзеркало 12, відбиті від дзеркал 6 і 12 промені потрапляють в вузол вимірювання оптичної різниці ходу променів (частотний перетворювач на основі транзисторної структури з від'ємним опором) 13, причому додаткове дзеркало 9, напівпрозорі пластини 8 і 2 розміщені на одній оптичній осі з джерелом світлового випромінювання 1. Схема радіовимірювального оптичного витратоміру газу на основі біполярного транзистора і польового транзистора з бар'єром Шоткі, фоточутливим елементом в якого є фотодіод, подана на рис.1.

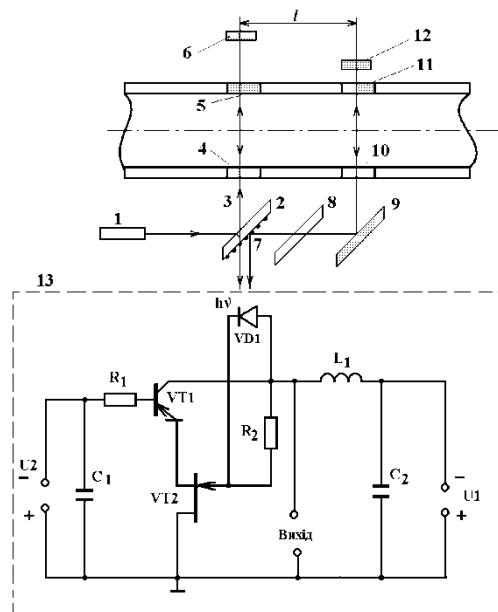


Рис.1. Електрична схема витратоміра з фотодіодом

Функція перетворення визначається на основі еквівалентної схеми радіовимірювального перетворювача з розрахунком повного опору на електродах колектор-стік фотоперетворювача [6, 7]. Величина реактивної складової визначає величину ємності коливального контуру, тому її неважко визначити, знаючи резонансну частоту та індуктивність контуру. З поданого графіка видно, що зі зростанням напруги живлення у даній структурі фотоперетворювача реактивна складова зростає, проте, якщо напруга дорівнює 4,2 В, то вона має найменшу чутливість від потужності випромінювання. Функція перетворення фоточутливого перетворювача від витрат газу визначається виразом:

$$F_0 = \frac{1}{4} \left[\sqrt{2} \sqrt{\frac{B_1 + \sqrt{B_1^2 + 4LC_{gd}R_d^2(Q)C_d^2(Q)}}{LC_{gd}R_d^2(Q)C_d^2(Q)}} \right] / \pi, \quad (1)$$

де

$$B_1 = R_d^2(Q)C_d^2(Q) + C_{gd}R_d^2(Q)C_d(Q) - LC_{gd}.$$

Теоретична і експериментальна залежність частоти генерації від витрат газу подані на рис.2. З графіка видно, що зі збільшенням витрат газу від 0 л/год до 6 л/год спостерігається зростання частоти генерації від напруги живлення (рис.2,а). Експериментально доведено, що змінюючи режим живлення фоточутливого перетворювача, можна отримати лінійну залежність частоти генерації від витрат газу. Зі збільшенням витрат газу частота генерації зменшується, причому найбільша зміна частоти генерації спостерігається з напругами живлення і керування 3 В (рис.2, б).

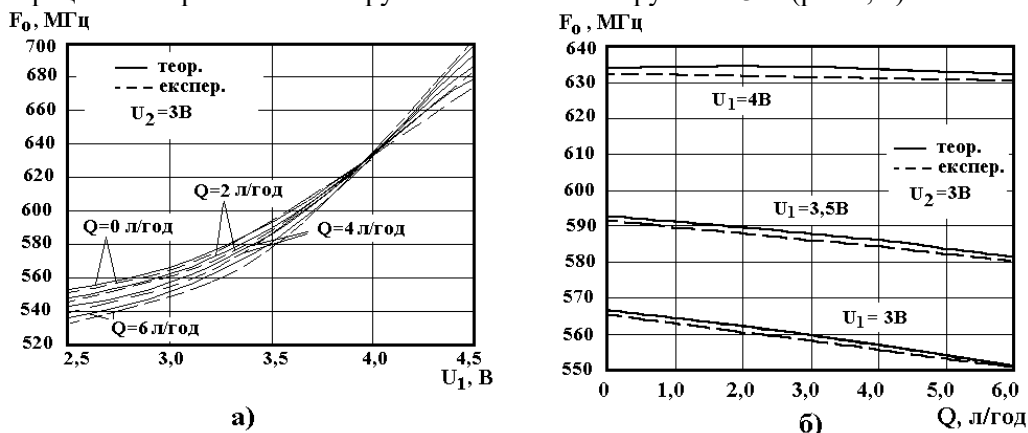


Рис.2. Теоретичні і експериментальні залежності частоти генерації від напруги живлення (а) і витрат газу (б)

Висновки

Розроблено схему радіовимірювального оптичного витратоміра газу на основі транзисторної структури з від'ємним диференційним опором. Отримано аналітичні вирази функції перетворення та рівняння чутливості. На основі експериментальних досліджень встановлено, що частота генерації змінювалась від 532 МГц до 698 МГц при зміні напруги керування від 2,5 В до 4,5 В. Чутливість розробленого радіовимірювального оптичного витратоміра складає 200,3 кГц/л/год – 568,65 кГц/л/год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Schaumburg H. Sensoren / Schaumburg H. – Stuttgart: B.G.Teubner. 1992. – 517 p.
2. Осадчук В. С., Осадчук А. В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем. - Винница: «Универсум-Винница», 1999. - 275 с.
3. Alexander V. Osadchuk; Vladimir S. Osadchuk; Iaroslav A. Osadchuk; Olena O. Seletska; Piotr Kisała; Karlygash Nurseitova. Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors // Proceedings Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019; 111761I (2019) <https://doi.org/10.1117/12.2538264>
4. Oleksandr V. Osadchuk, Volodymyr S. Osadchuk, Iaroslav O. Osadchuk, Maksat Kolimoldayev, Pawel Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output // Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104451X (August 7, 2017); doi:10.1117/12.2280892
5. Осадчук В. С., Осадчук А. В. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором. –Вінниця: ВНТУ, 2006. – 162 с.
6. Khutorenko, S., Osadchuk, O., Osadchuk, I., Vasilchuk, D., Semenets, D., and Lukin, V., (2017) Mathematical model of piezoelectric oscillating system with electrodes of variable nonlinear and constant linear air gap, Telecommunications and Radio Engineering, 76(18), pp. 1639-1648.
7. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Осадчук Я.О. Мікроелектронний перетворювач тиску з частотним виходом на основі тунельно-резонансного діода // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2015. №1, 2015 (221), -С.97-101.

Осадчук Олександр Володимирович — докт. техн. наук, проф., зав. кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, osadchuk.av69@gmail.com

Осадчук Ярослав Олександрович — канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет

Швець Ігор Михайлович — аспірант кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет

Ліхашорський Сергій Володимирович — аспірант кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет

Червак Оксана Петрівна — провідний інженер кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет

Alexander Osadchuk — Doc. Tech. Sc., prof. Head of Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, osadchuk.av69@gmail.com

Iaroslav Osadchuk — Ph.D.Tech., Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

Igor Shvets — Postgraduate Student, Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

Sergiy Lihashorsky — Postgraduate Student of the Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

Oksana Chervak — Leading Engineer, Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine