

## РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ МАГНІТНИЙ СЕНСОР КИСНЮ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Розроблено радіовимірювальний магнітний сенсор кисню на основі магніточутливого двоколекторного транзистора. Отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості від дії індукції магнітного поля та від дії газу. На основі математичного моделювання отримано графічні залежності функції перетворення та чутливості радіовимірювального магнітного сенсора газу. Найбільша чутливість радіовимірювального магнітного сенсора кисню лежить у діапазоні від 0 до 30 % і становить 1,18...2,23 кГц/%.

**Ключові слова:** радіовимірювальний сенсор газу, магніточутливий двоколекторний транзистор, від'ємний диференційний опір.

### Abstract

The radiomeasuring magnetic oxygen sensor based on a magnetic sensitive two-collector transistor has been developed. Analytical expressions for the transformation function and sensitivity equation from the action of magnetic field induction and from the action of gas are obtained. Based on mathematical modeling, the graphical dependences of the conversion function and the sensitivity of the radiomeasuring magnetic gas sensor are obtained. The highest sensitivity of the radiomeasuring magnetic oxygen sensor is in the range from 0 to 30% and is 1.18... 2.23 kHz /%.

**Keywords:** radiomeasuring gas sensor, magnetic sensitive two-collector transistor, negative differential resistance.

### Вступ

Сенсори фізичних величин все більше набувають значення в часи швидких технічних змін. Крім того сенсори фізичних величин виявляють себе в якості ключової технології для просування вперед автоматизацій у багатьох галузях промисловості, а також збільшення їх конкурентної спроможності на ринку [1-3].

Одним із перспективних наукових напрямків у розробці радіовимірювальних сенсорів газу є використання залежності реактивних властивостей і від'ємного диференційного опору напівпровідникових пристроїв від впливу зовнішніх фізичних величин і створення на цій основі нових частотних перетворювачів концентрації газу [4-6]. У радіовимірювальних магнітних сенсорах газу відбувається перетворення концентрації газу у частоту, що дозволяє виконувати первинні перетворювачі за інтегральною технологією, а також дає можливість підвищити точність, чутливість та швидкодію, розширити діапазон вимірювання концентрації газу, покращити завадостійкість і довгочасову стабільність.

### Результати дослідження

Магнітні газоаналізатори побудовані на фізичних явищах, заснованих на впливі магнітного поля на гази [2, 3]. Під дією індукції магнітного поля напруженістю  $H$  в об'ємі газу виникає намагніченість  $J$ , яка пропорційна магнітному полю  $H$  і викликана орієнтацією індукованих магнітних моментів атомів і молекул. Гази в залежності від способу орієнтації векторів  $J$  і  $H$  відносяться або до парамагнетиків ( $k > 0$ , напрямки  $J$  і  $H$  збігаються), або до діамагнетиків ( $k < 0$ ,  $J$  і  $H$  направлені протилежно). Під дією цієї сили об'єм парамагнітного газу втягується в область з більшою напруженістю магнітного поля  $H$ , а порція діамагнітного газу навпаки виштовхується з цієї зони. Переважна більшість газів мають діамагнітні властивості, а кисень і деякі газоподібні сполуки, які рідко зустрічаються, наприклад,  $NO$ ,  $NO_2$  є парамагнетиками. При цьому у кисню питома магнітна сприйнятливність дуже висока і складає +106,2 [2].

Для створення радіовимірювального магнітного сенсора газу на основі двоколекторного магніточутливого транзистора розглянемо транзисторну структуру з від'ємним диференційним опором в складі якої і працює двоколекторний магніточутливого транзистор. При ввімкненні двоколекторного

магніточутливого транзистора за схемою зі спільним емітером і резисторами навантаження в колах колекторів, коли відсутнє магнітне поле, інжектвані емітером носії заряду приблизно однаково розподіляться між колекторами транзистора. Струми обох колекторів двоколекторного магнітотранзистора будуть однаковими, і різниця потенціалів між ними буде дорівнювати нулю. У поперечному магнітному полі  $B+$  відбувається перерозподіл інжектваних носіїв заряду між колекторами транзистора, при цьому струм другого колектора збільшується, а струм першого колектора транзистора зменшується, що викликає розбалансування мостової схеми. Даний фізичний механізм приводить до зміни напруги між колекторами двоколекторного магніточутливого транзистора. При зростанні індукції магнітного поля напруга збільшується між колекторами двоколекторного магніточутливого транзистора. Коли змінюється напрям магнітного поля ( $B-$ ), струм другого колектора зменшується, а струм першого колектора магніточутливого транзистора збільшується, що відповідно змінює знак напруги  $U$  між колекторами двоколекторного магніточутливого транзистора.

Електрична схема радіовимірювального магнітного сенсора газу на основі магніточутливого двоколекторного транзистора наведена на рис.1. Радіовимірювальний магнітний сенсор газу являє собою гібридну інтегральну схему, яка складається із двоколекторного біполярного магніточутливого транзистора, польового двозатворного транзистора та біполярного транзистора, які утворюють автогенераторний пристрій з від'ємним диференціальним опором, частота генерації якого залежить від індукції магнітного поля і в кінцевому випадку від концентрації кисню.

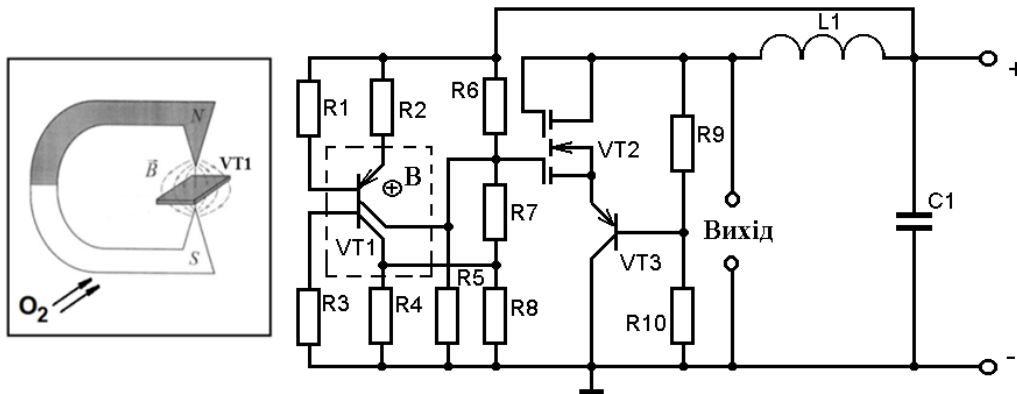


Рис.1. Електрична схема радіовимірювального магнітного сенсора газу

На електродах колектора біполярного транзистора VT3 і стоці польового двозатворного транзистора VT2 існує повний опір, активна складова якого має від'ємне значення, а реактивна – ємнісної характер. Підключення індуктивності  $L1$  до стоку двозатворного польового транзистора VT2 і загальної шини через блокувальну ємність  $C1$  створює коливальний контур, втрати енергії в якому компенсуються від'ємним опором. Резистори  $R9$  і  $R10$  забезпечують режим живлення за постійним струмом досліджуваної схеми. Під час дії магнітного поля на двоколекторний магніточутливий транзистор VT1 відбувається зміна еквівалентної ємності коливального контура, що викликає зміну резонансної частоти.

При дії магнітного поля на двоколекторний біполярний магніточутливий транзистор VT1 відбувається зміна еквівалентної ємності коливального контура, що викликає зміну резонансної частоти автогенератора. На підставі еквівалентної схеми радіовимірювального магнітного сенсора газу на основі магніточутливого двоколекторного транзистора відповідно до методу стійкості Ляпунова, визначена функція перетворення автогенераторного пристрою, що являє собою залежність частоти генерації від індукції магнітного поля і в кінцевому випадку концентрації газу (кисню  $O_2$ ). Аналітична залежність функції перетворення має вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A_1 + \sqrt{A_1^2 + 4L1C_{GD}(C_B(B)R_B(B))^2}}{2LC_{GD}(R_B(B)C_B(B))^2}}, \quad (1)$$

де  $A_1 = LC_{GD} - (C_B(B)R_B(B))^2 - C_{GD}C_B(B)R_B^2(B)$ ;  $L_1$  – зовнішня індуктивність;  $C_B, R_B$  – еквівалентна ємність і опір базової області магніточутливого транзистора;  $C_{GD}$  – ємність затвор-стік польового транзистора.

Графічна залежність функції перетворення радіовимірювального магнітного сенсора газу на основі магніточутливого двоколекторного транзистора представлена на рис.2. Графік залежності чутливості радіовимірювального магнітного сенсора газу на основі магніточутливого двоколекторного транзистора від індукції магнітного поля представлений на рис.3. Як видно із графіка найбільша чутливість радіовимірювального магнітного сенсора кисню лежить у діапазоні від 0 до 30 % і становить 1,18...2,23 кГц/%.

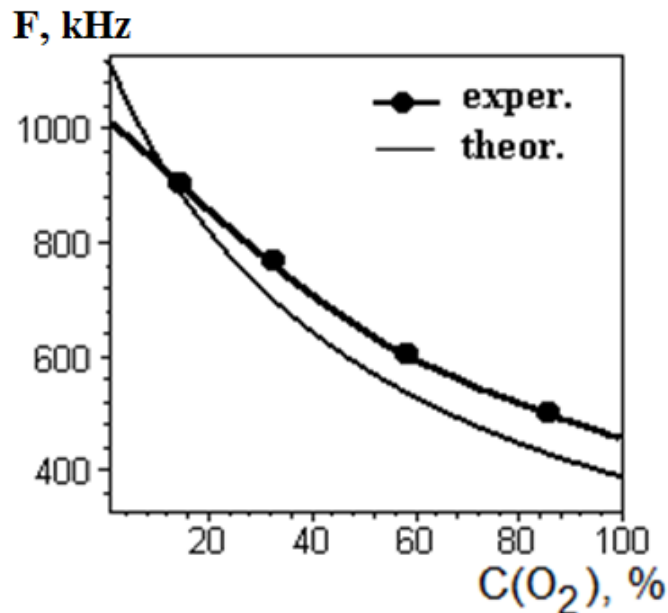


Рис.3. Залежність частоти генерації від концентрації кисню

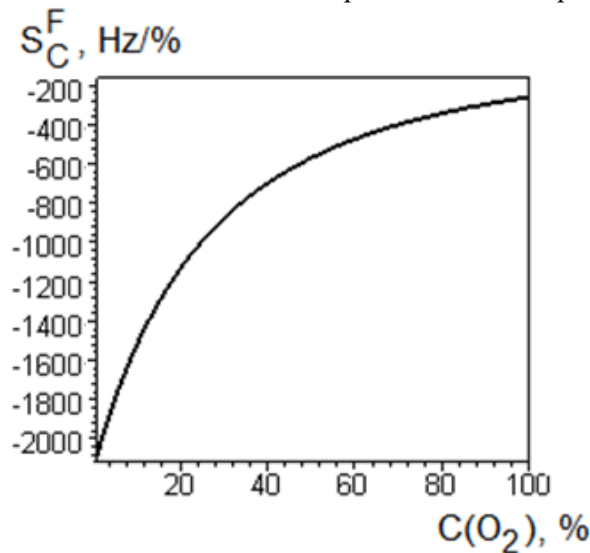


Рис.4. Залежність чутливості від концентрації кисню

### Висновки

Розроблено радіовимірювальний магнітний сенсора кисню на основі магніточутливого двоколекторного транзистора. На основі математичного моделювання отримано графічні залежності функції перетворення та чутливості радіовимірювального магнітного сенсора газу. Найбільша чутливість радіовимірювального магнітного сенсора кисню лежить у діапазоні від 0 до 30 % і становить 1,18...2,23 кГц/%.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Джексон Р.Г. Новейшие датчики. –М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
- 2 Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012. –624 с.
- 3 Пат. України № 123930 МПК G01N 27/72. Магнітоелектронний газоаналізатор / Вікулін І. М., Вікуліна Л. Ф., Горбачов В. Е., Софронков О. Н. // Заявка на винахід № u 2017 10231; Заяв. 23.10.2017; Опубл. 12.03.2018, Бюл.№ 5.
- 4 Осадчук В. С., Осадчук А. В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем. - Винница: «Универсум-Винница», 1999. - 275 с.
- 5 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)
- 6 Oleksandr V. Osadchuk, Volodymyr S. Osadchuk, Iaroslav O. Osadchuk, Maksat Kolimoldayev, Paweł 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).

**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

**Осадчук Володимир Степанович** — докт. техн. наук, проф., професор кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет

**Пастушенко Ганна Олександрівна** — магістр кафедри метрології та промислової автоматики, 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

**Volodimir Osadchuk** — Doc. Tech. Sc., prof., Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

**Pastushenko Ganna Oleksandrivna** — Master of the Department of Metrology and Industrial Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine