

## РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ СЕНСОР ГАЗУ НА ОСНОВІ СЕНСОРА ХОЛЛА

Вінницький національний технічний університет

**Анотація** - Розроблено математичну модель радіовимірювального сенсора газу на основі сенсора Холла. 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 радіовимірювального сенсора газу. Найбільша чутливість радіовимірювального сенсора газу лежить у діапазоні від 0 до 15 % концентрації кисню і становить 2,5...10 кГц/%.

**Ключові слова:** радіовимірювальний сенсор газу, сенсор Холла, магніточутливість, від'ємний диференціальний опір.

**Abstract** - A mathematical model of a radio gas measuring sensor based on a Hall sensor 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 of the radio-measuring gas sensor are obtained. The highest sensitivity of the radio measuring gas sensor is in the range from 0 to 15% of the oxygen concentration and is 2.5... 10 kHz /%.

**Keywords:** radio measuring gas sensor, Hall sensor, magnetic sensitivity, negative differential resistance.

### Вступ

Із збільшенням технологічної складності електричних, механічних та хіміко-технологічних приладів та пристроїв з одного боку, та із зростанням екологічної свідомості людства з питань індустріальних та технологічних відходів з другого боку, буде зростати потреба у сенсорах фізичних величин [1-3]. Одним із перспективних наукових напрямків у розробці радіовимірювальних параметричних сенсорів газу є використання залежності реактивних властивостей і від'ємного диференціального опору напівпровідникових пристроїв від впливу зовнішніх фізичних величин і створення на цій основі нових частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів концентрації газу [4-6]. У радіовимірювальних параметричних сенсорах газу відбувається перетворення концентрації газу у частоту, що дозволяє виконувати первинні параметричні перетворювачі за інтегральною технологією, а також дає можливість підвищити точність, чутливість та швидкодію, розширити діапазон вимірювання концентрації газу, покращити заводостійкість і довгочасову стабільність параметрів самих сенсорів газу.

### Теоретичні та експериментальні дослідження

Магнітні газоаналізатори побудовані на фізичних явищах, заснованих на впливі магнітного поля на газу [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 [2]:

$$J = kH, \quad (1)$$

де  $k$  – об'ємна магнітна сприйнятливність. Векторна сума магнітних полів визначає величину індукції  $B$  в цьому об'ємі:

$$B = \mu_0(H + J) = \mu_0(1+k)H = \mu_0\mu H, \quad (2)$$

де  $\mu_0$  – магнітна постійна;  $\mu$  – відносна магнітна проникність газу. У вакуумі  $\mu = 1$ . Всі відомі газу є слабоманітними речовинами які характеризуються значенням відносної магнітної проникності, яка несильно відрізняється від одиниці. Газу в залежності від способу орієнтації векторів  $J$  і  $H$  відносять-

ся або до парамагнетиків ( $k > 0$ , напрямки  $J$  і  $H$  збігаються), або до діамгнетиків ( $k < 0$ ,  $J$  і  $H$  направлені протилежно). У неоднорідному магнітному полі з градієнтом  $\frac{\partial H}{\partial x}$  (по осі  $x$ ) на об'єм газу  $dV$  діє сила, рівна [2]:

$$dF = kH \frac{\partial H}{\partial x} dV . \quad (3)$$

Під дією цієї сили об'єм парамагнітного газу втягується в область з більшою напруженістю магнітного поля  $H$ , а порція діамгнітного газу навпаки виштовхується з цієї зони. Переважна більшість газів володіють діамгнітними властивостями. Лише кисень і деякі газоподібні сполуки, які рідко зустрічаються, наприклад,  $NO$ ,  $NO_2$  є парамагнетиками. При цьому у кисню питома магнітна сприйнятливність аномально висока і складає  $+106,2$  [2].

Для створення радіовимірювального сенсора газу на основі сенсора Холла розглянемо транзисторну структуру з від'ємним диференціальним опором в складі якої і працює сенсор Холла. Електрична схема перетворювача подана на рис. 1. Вона являє собою гібридну інтегральну схему, яка складається з двох біполярних і одного польового транзисторів, опорів  $R_1$ – $R_8$ , ємностей  $C_1$ – $C_3$ , що дозволяє створити автогенераторний пристрій. Коливальний контур пристрою утворений на основі еквівалентної ємності повного опору на електродах стоку польового двозатворного транзистора VT1 і колектор біполярного транзистора VT2 та активної індуктивності на основі біполярного транзистора VT3 з фазозсувним колом  $R_8C_2$  [3].

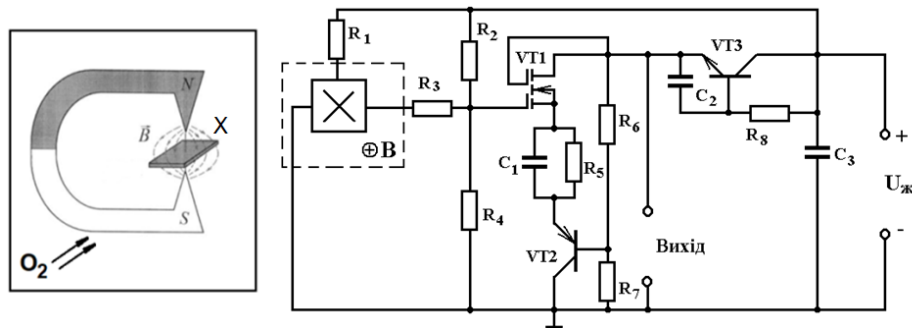


Рис.1. Електрична схема радіовимірювального параметричного сенсора газу

На елемент Холла діє магнітне поле, що приводить до зміни як еквівалентної ємності коливального контура, так і від'ємного опору на виході пристрою, що викликає зміну резонансної частоти автогенератора. Втрати енергії в коливальному контурі компенсуються за рахунок від'ємного опору [6, 3]. Опори ( $R_1$ – $R_8$ ) здійснюють живлення автогенераторного пристрою з допомогою джерела постійної напруги. За рахунок електричного кола  $R_5C_1$  здійснюють термостабілізацію вимірювального пристрою. Вольт-амперна характеристика на вихідних клеммах, яка розраховується на основі еквівалентної схеми перетворювача, має спадну ділянку, що відповідає від'ємному опору. Згідно з методом стійкості Ляпунова, виходячи з еквівалентної схеми перетворювача, визначена функція перетворення, яка є залежністю частоти генерації від магнітної індукції. Аналітична залежність функції перетворення має вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\pi |R_g(B)| C(B)} \left[ \frac{R_g^2(B) C(B)}{L} - 1 \right]^{1/2}, \quad (4)$$

де  $R_g(B)$  – активна складова повного опору на електродах стік-колектор польового транзистора VT1 і біполярного транзистора VT2, яка має від'ємне значення;  $C(B)$  – ємність коливального контура, яка визначається ємнісною складовою повного опору на електродах стік-колектор транзисторів VT1 і VT2;  $L$  – активна індуктивність.

Графічна залежність функції перетворення подана на рис. 2. Чутливість перетворювача магнітного поля з частотним виходом визначається з виразу (4) і описується формулою

$$S_B^{F_0} = \frac{dF_0}{dB} = -\frac{1}{2} \frac{\sqrt{\frac{R_g^2(B)C(B)}{L} - 1} \left( \frac{\partial R_g(B)}{\partial B} \right)}{\pi R_g^2(B) C(B)} - \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\frac{R_g^2(B)C(B)}{L} - 1} \left( \frac{\partial C(B)}{\partial B} \right)}{\pi R_g(B) C^2(B)} +$$

$$+ \frac{\frac{1}{4} \left( 2 R_g(B) C(B) \left( \frac{\partial R_g(B)}{\partial B} \right) / L + R_g^2(B) \left( \frac{\partial C(B)}{\partial B} \right) / L \right)}{\pi R_g(B) C(B) \sqrt{\frac{R_g^2(B) C(B)}{L} - 1}} \quad (5)$$

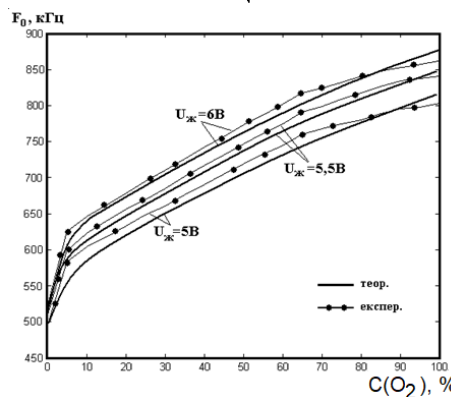


Рис.2. Залежність частоти генерації від концентрації газу (кисню  $O_2$ )

Графік залежності частоти генерації радіовимірювального параметричного сенсора газу від концентрації газу (кисню  $O_2$ ) наведений на рис.2. Як видно із графіка найбільша чутливість радіовимірювального параметричного сенсора газу лежить у діапазоні від 0 до 15 % концентрації кисню і становить 2,5...10 кГц/‰.

## ВИСНОВКИ

Розроблено математичну модель радіовимірювального параметричного сенсора газу на основі сенсора Холла. На основі математичного моделювання отримано графічні залежності функції перетворення радіовимірювального параметричного сенсора газу. Найбільша чутливість радіовимірювального параметричного сенсора газу від концентрації кисню становить 2,5...10 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** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна. e-mail: [osadchuk.av69@gmail.com](mailto:osadchuk.av69@gmail.com)

**Осадчук Ярослав Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехніки Вінницький національний технічний університет, e.mail [osadchuk.j93@gmail.com](mailto:osadchuk.j93@gmail.com)

**Пастушенко Ганна Олександрівна** – аспірантка кафедри радіотехніки Вінницький національний технічний університет

**Osadchuk Alexander Vladimirovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radio Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsia, Ukraine. e-mail: [osadchuk.av69@gmail.com](mailto:osadchuk.av69@gmail.com)

**Osadchuk Iaroslav Oleksandrovych** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, e.mail [osadchuk.j93@gmail.com](mailto:osadchuk.j93@gmail.com)

**Pastushenko Anna Oleksandrivna** - graduate student of the Department of Radio Engineering Vinnytsia National Technical University