

**XIV
2015**

Міністерство освіти і науки України
Українська технологічна академія
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова
Редакція міжнародного науково-технічного журналу "ВОТТП"
Хмельницький національний університет
Редакція наукового журналу "Вісник ХНУ"
Вінницький національний технічний університет
Мордовський державний університет ім. Огарьова (Саранськ, Росія)
Видавництво "Техносфера"
Науково-технічний журнал "Фотоніка"
Томська група відділення Інституту інженерів
з електротехніки і радіоелектроніки ІЕЕЕ



**ВИМІРЮВАЛЬНА
ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ
(ВОТТП-14-2015)**

Матеріали XIV міжнародної
науково-технічної конференції

*5–10 червня 2015 р.,
м. Одеса*

В.С. ОСАДЧУК, О.В. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК

Вінницький національний технічний університет (Україна)

osadchuk69@mail.ru

РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ СЕНСОР КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

Анотація. В роботі досліджено мікроелектронний сенсор концентрації газу, який представляє собою автогенераторну схему, що складається з двозатворного польового і біполярного транзисторів, в коло зворотного зв'язку автогенератора включено газочутливий резистивний елемент. При дії газу на газочутливий резистивний елемент відбувається перетворення зміни концентрації газу на зміну частоти генерації, що значно покращує метрологічні характеристики сенсора. Отримано аналітичні функції перетворення і чутливості сенсора. Чутливість сенсора складає 100-15,5 Гц/ррм.

Ключові слова: сенсор газу, частота, функція перетворення, чутливість, від'ємний опір.

V.S. OSADCHUK, O.V. OSADCHUK, Y.O. OSADCHUK

Vinnytsia National Technical University (Ukraine)

osadchuk69@mail.ru

RADIOMEASURING MICROELECTRONIC SENSOR GAS CONCENTRATION WITH FREQUENCY OUTPUT

Abstract. We have studied the gas concentration sensor, which is an autogenerating circuit consisting of two gate field effect and bipolar transistors in the feedback loop of the oscillator is enabled gas sensitive resistive element. When exposed to gas at a gas-sensitive resistive element is converted into a gas concentration change of oscillation frequency change, which significantly improves the metrological performance of the sensor. The analytical function of conversion and sensitivity of the sensor. The sensitivity of the sensor is 100-15.5 Hz/ppm.

Keywords: gas sensor, the frequency conversion function, sensitivity, negative resistance.

Вступ

Задачі контролю і управління технологічними процесами в різних галузях промисловості неможливі без використання сенсорів газу. Проте багато з розроблених раніше методів те сенсорів несумісні з сучасною обчислювальною технікою [1].

Одним нових напрямків в розробці мікроелектронних сенсорів газу є створення приладів вимірювання концентрації газу з частотним виходом на основі напівпровідникових структур з від'ємним опором. Використання принципу «концентрація газу - частота» на основі транзисторних структур з від'ємним опором виключає використання аналого-цифрових перетворювачів при подальшій обробці сигналів, що знижує собівартість систем контролю і управління. Крім того, мікроелектронні сенсори газу з частотним вихідним сигналом поєднують як простоту так і універсальність, які властиві аналоговим пристроям, а також точність і завадостійкість, що характерні для пристроїв з кодовим виходом, мають високу чутливість до вимірювальних параметрів, малу масу, габарити, інформаційну, конструктивну і технологічну сумісність з мікроелектронними засобами обробки інформації. Це є їх перевагою перед існуючими перетворювачами концентрації газу [2-4].

Теоретичні та експериментальні дослідження

Схема радіовимірювального мікроелектронного сенсора газу подано на рис. 1. Внаслідок різної провідності каналу польового транзистора VT1 і бази біполярного транзистора VT2 на електродах стоку польового транзистора VT1 і колектора біполярного транзистора VT2 вольт-амперна характеристика має спадаючу ділянку, що відповідає появі від'ємного диференційного опору. Робоча точка автогенератора з постійного струму обирається на спадаючій ділянці вольт-амперної характеристики.

Коливальна система автогенератора (рис. 1) складається з ємності, яка існує на електродах стоку VT1 і колектора VT2, а також зовнішньої ємності C1 та індуктивності L1. Опори R1-R6 забезпечують режим роботи транзисторів VT1 і VT2 з постійного струму.

Радіовимірювальний мікроелектронний сенсор концентрації газу працює наступним чином. Вибором постійної напруги джерела U1 домагаємось генерації електричних коливань автогенератора. При наступній дії концентрації газу на фазочутливий резистор R₂ змінюється його опір, що приводить до зміни еквівалентної ємності коливального контуру автогенератора, а це, у свою чергу, змінює частоту генерації.

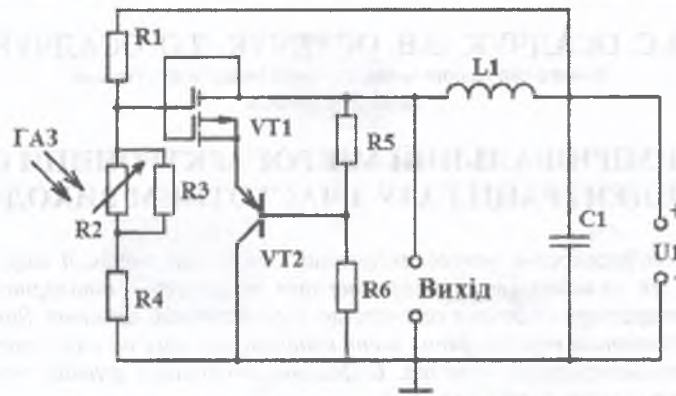


Рис. 1. Електрична схема сенсора газу з частотним виходом

Функція перетворення і чутливість радіовимірювального сенсора газу визначаються на основі еквівалентної схеми пристрою, що подано на рис. 2.

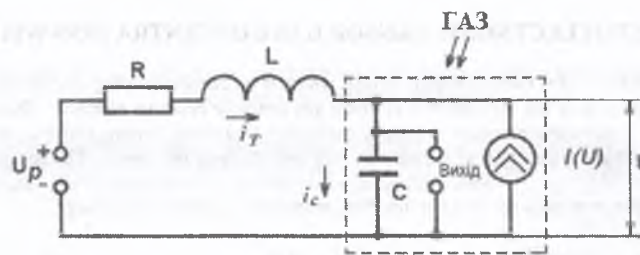


Рис. 2. Еквівалентна схема радіовимірювального сенсора газу

На схемі (рис. 2) сумарна індуктивність L містить у собі зовнішню індуктивність виводів схеми, ємність C містить в собі зовнішню ємність C_1 та внутрішню ємність польового транзистора $VT1$ і біполярного транзистора $VT2$ на електродах стік-колектор. Опір містить в собі опір навантаження схеми і опори виводів схеми.

Еквівалентна схема сенсора газу (рис. 2) описується рівняннями Кірхгофа.

$$U_p = Ri_T + L \frac{di_T}{dt} + U, \quad (1)$$

$$i_T = C \frac{dU}{dt} + I(U), \quad (2)$$

з яких визначається умова рівноважної роботи схеми.

В стані рівноваги схеми (U_0, i_{T0}) струми і напруги у схемі не змінюються, тому

$$\left. \frac{di_T}{dt} \right|_{i_T=i_{T0}} = 0, \quad \left. \frac{dU}{dt} \right|_{U=U_0} = 0. \quad (3)$$

з умови (3) та рівнянь (1) і (2) визначаємо

$$U_p = i_{T0}R - U_0 = 0, \quad i_{T0} - I(U_0) = 0. \quad (4)$$

Стан схеми у відповідності з (4) реалізується у точці перетину спадаючої ділянки вольт-амперної характеристики та лінії навантаження

$$I(U_0) = (U_1 - U_0) / R, \quad (5)$$

яке відповідає стану рівноваги досліджуваної схеми.

Динамічний режим роботи схеми описується диференціальним рівнянням другої степені, в якому змінна напруга на виході схеми залежить від часу. Його розв'язок складається з двох частин, які описують періодичний процес, амплітуда якого наростає по експоненціальному закону. Умови виникнення синусоїдальних коливань у системі визначаються нерівностями.

$$\left(\frac{1}{R_g C} + \frac{R}{L} \right) < 0, \quad \frac{1}{LC} \left(\frac{R}{R_g} + 1 \right) > 0. \quad (6)$$

де R_g – диференційний опір у робочій точці схеми, R – опір втрат в коливальній системі, C – еквівалентна ємність коливальної системи, L – індуктивність коливальної системи. Резонансна частота, яка

залежить від концентрації газу, представляє собою функцію перетворення сенсора. Вона визначається на основі рівняння нулю реактивної складової повного вхідного опору схеми (рис. 2) і має вигляд

$$F(C) = \frac{1}{2\pi R_g C(C)} \left[\frac{R_g^2 C(C)}{L} - 1 \right]^{1/2} \quad (7)$$

Чутливість сенсора газу визначається на основі виразу (7) і описується рівнянням

$$S_C^{F_g} = -\frac{1}{2} \frac{\sqrt{\frac{R_g^2 C(C)}{L} - 1} \left(\frac{dC(C)}{dC} \right)}{\pi R_g^2 C(C)} + \frac{1}{2} \frac{\frac{dC(C)}{dC}}{\pi L \sqrt{\frac{R_g^2 C(C)}{L} - 1}} \quad (8)$$

На рис. 3 подано функцію перетворення, тобто залежність резонансної частоти від концентрації газу. Як видно з графіка, функція перетворення має нелінійний характер від 500 ppm до 4000 ppm.

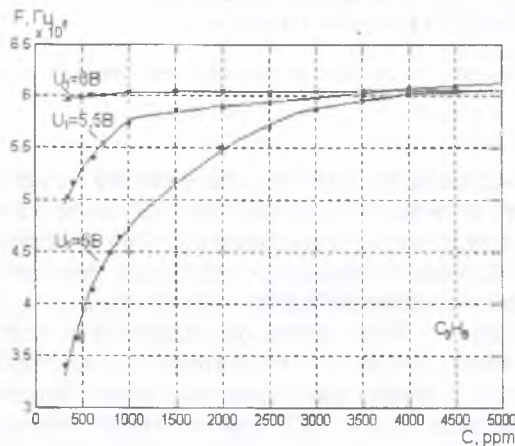


Рис.3. Залежність частоти генерації від концентрації газу

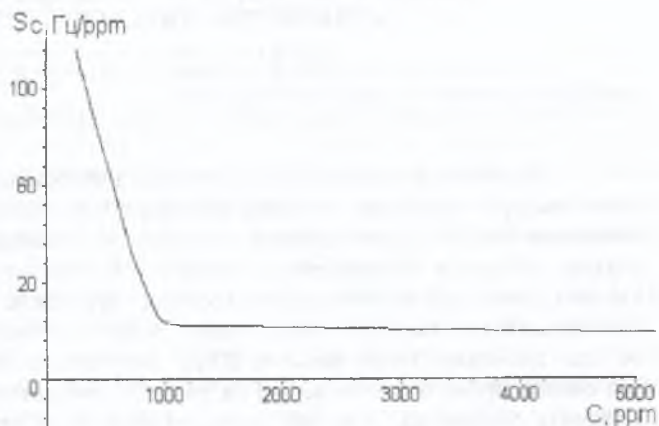


Рис. 4. Залежність чутливості від концентрації газу

На рис. 4 подано залежність чутливості сенсора від зміни концентрації газу. Аналіз графіка показує, що найбільша чутливість пристрою лежить в діапазоні від 100 до 500 ppm та складає 100 Гц/ppm, а в діапазоні від 500 до 1000 ppm складає 40 Гц/ppm, найменше значення чутливості складає 15,5 Гц/ppm в діапазоні від 1000 до 5000 ppm.

Висновки

Запропоновано схему радіовимірювального мікроелектронного сенсора концентрації газу з частотним вихідним сигналом. Схема складається з польового і біполярного транзисторів, які утворюють автогенераторний пристрій, в коло якого включено газочутливий резистивний елемент. Отримано аналітичні вирази функції перетворення і рівняння чутливості. Чутливість сенсора складає 100-15,5 Гц/ppm.

Література

1. Арутюнян В.М. Микроэлектронные технологии – магистральный путь для создания химических твердотельных сенсоров / В.М. Арутюнян // Микроэлектроника. – 1991. - № 4. – С. 337 – 355.
2. Пат. 47906 Україна, МКІ G 01 N 27/12. Пристрій для вимірювання газу/ В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, М.О. Прокопова (Україна). – №2001107208; Заявлено 23.10.2001; Опубл. 15.07.2002, Бюл. № 7.
3. Пат. 48601 Україна, МКІ G 01 N 27/12. Напівпровідниковий вимірювач газу/ В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, М.О. Прокопова (Україна). – № 2001107209; Заявлено 23.10.2001; Опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8.
4. Пат. 48600 Україна, МКІ G 01 N 27/12. Мікроелектронний давач газу/ В.С. Осадчук, О.В. Осадчук (Україна). – № 2001107207; Заявлено 23.10.2001; Опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8.