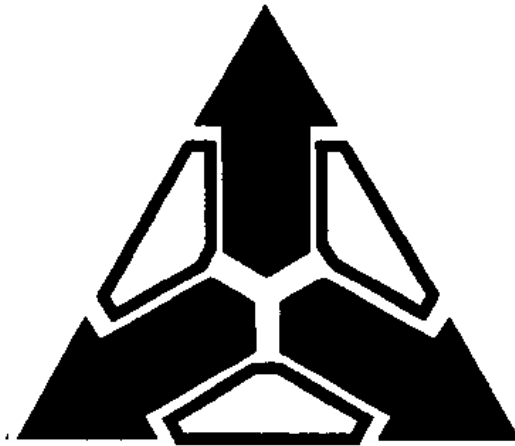


Міністерство освіти і науки України
Українська технологічна академія
Редакція міжнародного науково-технічного журналу "ВОТТП"
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова
Хмельницький національний університет,
Редакція міжнародного науково-технічного журналу "Вісник ХНУ"
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Вінницький національний технічний університет
National Instruments
Міжнародне відділення Інституту інженерів
по електротехніці і радіоелектроніці IEEE



ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ
(ВОТТП_17_2017)

*25-річчю МНТК «ВОТТП» і 20-річчю МНТЖ «ВОТТП»
Присвячується*

Матеріали
XVII міжнародної науково-технічної конференції

8 – 13 червня 2017 р. в м. Одеса (Затока)

Одеса 2017

О.В. ОСАДЧУК, В.С. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК
Вінницький національний технічний університет (Україна)
osadchuk69@mail.ru

МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ СЕНСОР КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

Анотація. В роботі досліджено мікроелектронний сенсор концентрації газу з частотним виходом, який представляє собою автогенераторну схему, що складається з трьох біполярних транзисторів, в коло зворотного зв'язку якої 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 газу складає 110-61 Гц/ppm.

Ключові слова: сенсор газу, частотний вихідний сигнал, функція перетворення, чутливість, від'ємний опір.

A.V. OSADCHUK, V.S. OSADCHUK, I.A. OSADCHUK
Vinnytsia National Technical University (Ukraine)
osadchuk69@mail.ru

MICROELECTRONIC SENSOR GAS CONCENTRATION WITH FREQUENCY OUTPUT

Abstract. In the paper, a microelectronic gas concentration sensor with a frequency output is studied, which is an auto-generator circuit consisting of three bipolar transistors, whose feedback circuit includes a 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 is 110-61 Hz/ppm.

Keywords: gas sensor, frequency output, sensitivity, negative resistance.

Вступ

Задача визначення концентрації газу для моніторингу навколишнього середовища може бути вирішена багатьма способами, але при цьому вихідний сигнал сенсорів зазвичай є аналоговим сигналом, що в свою чергу викликає необхідність подальшого його перетворення у цифровий для реалізації можливості обробки на ЕОМ [1]. Для перетворення аналогового сигналу у цифровий необхідно використовувати аналого-цифрові перетворювачі високої точності у схемах пристрою, що в свою чергу веде до збільшення вартості пристрою, та викликає можливість появи додаткових похибок.

Перспективним напрямком при створенні та розробці сенсорів концентрації газу є створення частотних сенсорів концентрації газу. Даний тип сенсорів дозволяє розв'язати задачу використання аналогово-цифрових перетворювачів, оскільки реалізовує метод перетворення "інформативний сигнал-частота", який є сприйнятливим для подальшої обробки на ЕОМ. Проведені теоретичні та практичні дослідження показали, що використовуючи реактивні властивості напівпровідникових приладів та транзисторні структури в яких існує від'ємний диференційний опір можна значно підвищити чутливість та точність вимірювання інформаційного параметру [2, 3]. Що в свою чергу дає можливість забезпечити перевагу частотних сенсорів концентрації газу над існуючими сенсорами концентрації газу. 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.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Останнім часом пристрої з від'ємним диференціальним опором (NDR) застосовують для побудови різноманітних аналоговим і цифровим схем, включаючи логічні схеми, схеми пам'яті, помножувачі частоти, дільники, мультиплексори і демультимплексори, дельта сигма модулятори, керовані напругою генератори і диференціальні компаратори [4].

Схему мікроелектронного сенсора концентрації газу з частотним виходом подано на рис. 1. Запропонована схема мікроелектронного сенсора концентрації газу побудована на транзисторній структурі з трьох біполярних транзисторів на одному кристалі HFA3046. На електродах колектор-емітер біполярного транзистора VT3 і база-емітер 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.

Колівальна система автогенератора (рис. 1) складається з ємності, яка існує на електродах колектор-емітер VT3, а також зовнішньої індуктивності L1. Опори R1-R3 забезпечують режим роботи транзисторів VT1, VT2 і VT3 з постійного струму.

Мікроелектронний сенсор концентрації газу працює наступним чином. Вибором постійної напруги

джерела U_1 домагась генерації електричних коливань автогенератора. При наступній дії концентрації газу на фазочутливий резистор R_2 змінюється його опір, що приводить до зміни еквівалентної ємності коливальної контури автогенератора, а це, у свою чергу, змінює частоту генерації.

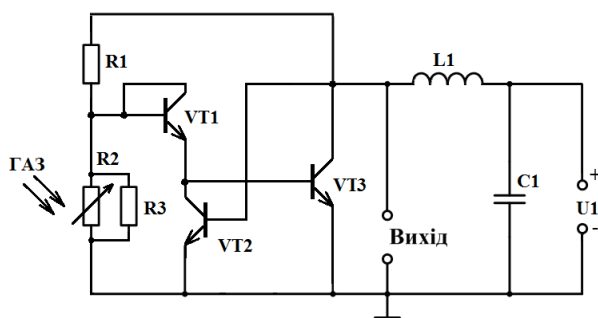


Рис. 1. Електрична схема сенсора газу з частотним виходом

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

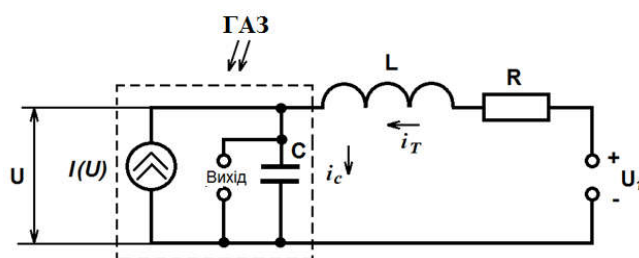


Рис. 2. Еквівалентна схема мікроелектронного сенсора концентрації газу

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 біполярних транзисторів VT_1 , VT_2 і VT_3 . Опір містить в собі опір навантаження схеми і опори виводів схеми.

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

$$U_1 = Ri_T + L \frac{di_T}{dt} + U, \quad i_T = C \frac{dU}{dt} + I(U). \quad (1)$$

з яких визначається умова рівноважної роботи схеми.

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

$$\left. \frac{di_T}{dt} \right|_{i_T=i_{T0}} = 0, \quad \left. \frac{dU}{dt} \right|_{U=U_0} = 0. \quad (2)$$

з умови (3) та рівнянь (1) визначаємо

$$U_1 = i_{T0}R - U_0 = 0, \quad i_{T0} - I(U_0) = 0. \quad (3)$$

Стан схеми у відповідності з (3) реалізується у точці перетину спадаючої ділянки вольт-амперної характеристики та лінії навантаження

$$I(U_0) = (U_1 - U_0) / R, \quad (4)$$

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.

$$\left(1/R_g C + R/L\right) < 0, \quad 1/LC(R/R_g + 1) > 0. \quad (5)$$

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

$$F(C) = \frac{1}{2\pi R_g C(C)} \left[\frac{R_g^2 C(C)}{L} - 1 \right]^{1/2}. \quad (6)$$

Чутливість частотного сенсора газу визначається на основі виразу (6) і описується рівнянням

$$S_C^{F_p} = -\frac{1}{2} \frac{\sqrt{\frac{R_g^2 C(C)}{L} - 1} \left(\frac{dC(C)}{dC} \right)}{\pi R_g^2 C(C)} + \frac{1}{2} \frac{\frac{dC(C)}{dC}}{\pi L \sqrt{\frac{R_g^2 C(C)}{L} - 1}}. \quad (7)$$

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

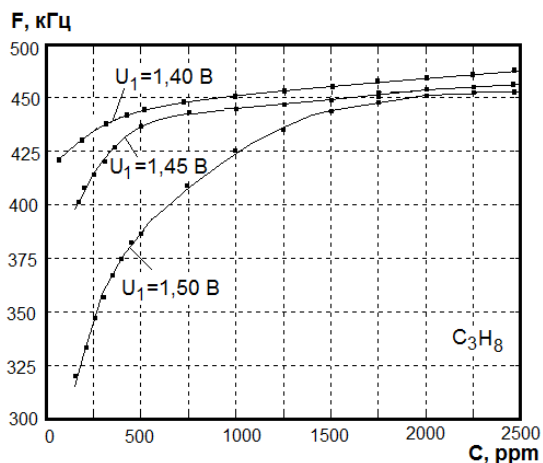


Рис.3. Залежність частоти генерації від концентрації газу

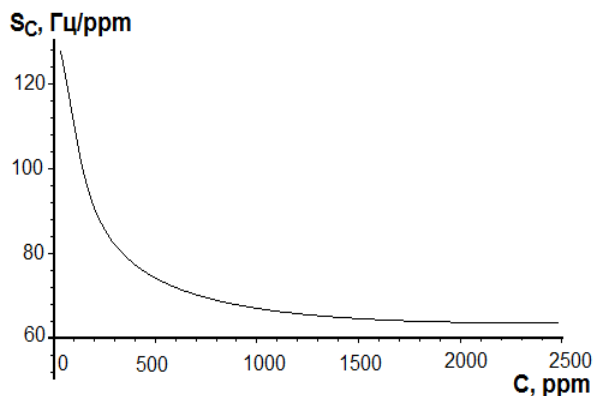


Рис. 4. Залежність чутливості від концентрації газу

На рис. 4 подано залежність чутливості сенсора від зміни концентрації газу. Аналіз графіка показує, що найбільша чутливість пристрою лежить в діапазоні від 100 до 200 ppm та складає 110 Гц/ppm, а в діапазоні від 500 до 1500 ppm складає 65 Гц/ppm, найменше значення чутливості складає 61 Гц/ppm в діапазоні від 1500 до 2500 ppm.

Висновки

Запропоновано схему мікроелектронного сенсора концентрації газу з частотним вихідним сигналом. Схема складається з трьох біполярних транзисторів, які утворюють автогенераторний пристрій, в коло якого включено газочутливий резистивний елемент. Отримано аналітичні вирази функції перетворення і рівняння чутливості. Чутливість сенсора газу складає 110-61 Гц/ppm.

Література

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. За редакцією З.Ю.Готри. В 3 томах. - Львів: Ліга-Прес, 2003. Т.2. – 595 с.
2. Осадчук В.С. Сенсори газу / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, М.О. Прокопова. – Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2008. – 167 с.
3. Осадчук В.С. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем / В.С. Осадчук, А.В. Осадчук. - Винница: «Универсум-Винница, 1999. – 276 с.
4. Kwang-Jow Gan, Cher-Shiung Tsai, Dong-Shong Liang. Design and characterization of the negative differential resistance circuits using the CMOS and BiCMOS process // Analog Integr Circ Sig Process. 2009. DOI 10.1007/s10470-009-9327-5.

References

1. Mikroelektronni sensory` fizy`chny`x vely`chy`n. Za redakciyeyu Z.Yu.Gotry`. V 3 tomax. - L`viv: Liga-Pres, 2003. T.2. – 595 s.
2. Osadchuk V.S. Sensory` gazu / V.S. Osadchuk, O.V. Osadchuk, M.O. Prokopova. – Vinny`cya: «Universum-Vinny`cya», 2008. – 167 s.
3. Osadchuk V.S. Reaktivnyie svoystva tranzistorov i tranzistorniyh shem / V.S. Osadchuk, A.V. Osadchuk. - Vinnitsa: «Universum-Vinnitsa, 1999. – 276 s.
4. Kwang-Jow Gan, Cher-Shiung Tsai, Dong-Shong Liang. Design and characterization of the negative differential resistance circuits using the CMOS and BiCMOS process // Analog Integr Circ Sig Process. 2009. DOI 10.1007/s10470-009-9327-5.