

ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ З ЧУТЛИВИМ MEMS ЕЛЕМЕНТОМ

Осадчук О. В., д.т.н., проф.; Осадчук В. С., д.т.н., проф.;
Осадчук Я. О., аспірант

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Переваги мікроелектронних перетворювачів концентрації газу перед традиційними обумовлені, насамперед, застосуванням у них як чутливого елемента напівпровідникового матеріалу, групових методів його обробки і формування в ньому вимірювальних, схем підсилення й обробки сигналу методами мікроелектронної технології.

Радіовимірювальні перетворювачі з частотним виходом мають ряд переваг перед амплітудними, які полягають у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє збільшити точність вимірювання, а також у можливості отримання великих вихідних сигналів без попередніх підсилювальних пристроїв. Використання частотного сигналу в якості інформативного дозволяє відмовитися від аналого-цифрових перетворювачів, що підвищує економічність вимірювальної апаратури. У даний час ведуться інтенсивні дослідження з вивчення властивостей аналогових мікроелектронних перетворювачів концентрації газу [1], хоча дослідження частотних перетворювачів концентрації газу на основі реактивних властивостей біполярних транзисторних структур знаходиться в початковій стадії. Тому дана робота присвячена дослідженню функції перетворення та рівняння чутливості частотного перетворювача концентрації газу на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним опором.

Для досягнення більших значень чутливості ніж у вимірювальних перетворювачах на основі МДН транзисторних структур було запропоновано електричну схему частотного перетворювача концентрації газу на основі біполярної структури, що зображена на рис. 1.

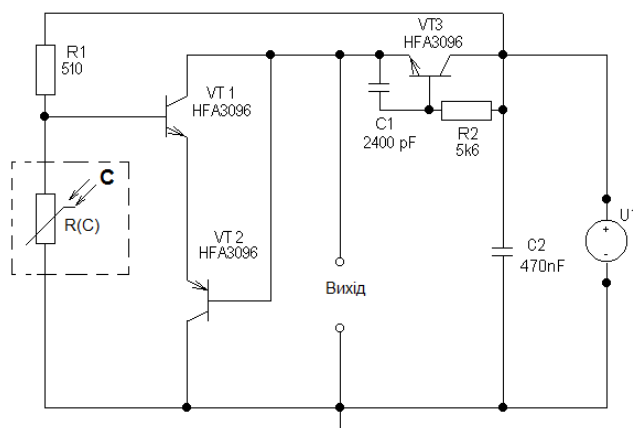


Рисунок 1. Електрична схема частотного перетворювача концентрації газу з чутливим MEMS елементом

Вона являє собою інтегральну схему, яка складається з трьох біполярних транзисторів, опору R1, а також MEMS чутливого до концентрації горючих газів елемента MiCS 5524, що дозволяє створити автогенераторний пристрій. Коливальний контур пристрою реалізовано на основі ек-

вівалентної ємності повного опору на електродах колектор-колектор біполярних транзисторів VT1 і VT2 та активної індуктивності на основі транзистора VT3 з фазозсуваючим ланцюжком R2C1, що дозволяє повністю реалізувати схему частотного перетворювача за інтегральною технологією [2]. На газочутливий MEMS елемент R(C) діє газ, який приводить до зміни еквівалентної ємності коливального контуру, що в свою чергу, викликає зміну резонансної частоти автогенератора. Втрати енергії в коливальному контурі компенсуються за рахунок від'ємного опору [3].

Функція перетворення, тобто залежність частоти генерації від зміни концентрації газу, визначається на основі нелінійної еквівалентної схеми частотного перетворювача. Спочатку визначається реактивна складова повного опору на електродах колектор-колектор транзисторної структури, а потім з реактивної складової визначається еквівалентна ємність, яка залежить від зміни концентрації газу. Зміна еквівалентної ємності визначає залежність частоти генерації від концентрації газу. Аналітичний вираз функції перетворення має вигляд

$$F(C) = \frac{1}{2\pi R_g C_{ekv}(C)} \left[\frac{R_g^2 C_{ekv}(C)}{L_{ekv}} - 1 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

де R_g — диференційний опір у робочій точці схеми; C_{ekv} — еквівалентна ємність коливальної системи; L_{ekv} — індуктивність коливальної системи; C — концентрація газу.

Числові розрахунки на персональному комп'ютері дозволяють отримати функцію перетворення частотного перетворювача концентрації газу у вигляді графіка (рис.2). Функція чутливості описується рівнянням:

$$S_C^F = -\frac{1}{2} \frac{\sqrt{\frac{R_g^2 C_{ekv}(C)}{L_{ekv}} - 1} \left(\frac{dC_{ekv}(C)}{dC} \right)}{\pi R_g^2 C_{ekv}(C)} + \frac{1}{2} \frac{\frac{dC_{ekv}(C)}{dC}}{\pi L \sqrt{\frac{R_g^2 C_{ekv}(C)}{L_{ekv}} - 1}}. \quad (2)$$

На основі проведених експериментальних досліджень чутливість функції перетворення зростає з підвищенням напруги живлення. Існує оптимальна величина напруги живлення, яка складає 5 В. Адекватність розробленої моделі в порівнянні з експериментом визначається у вигляді відносної похибки і не перевищує $\pm 1,5\%$.

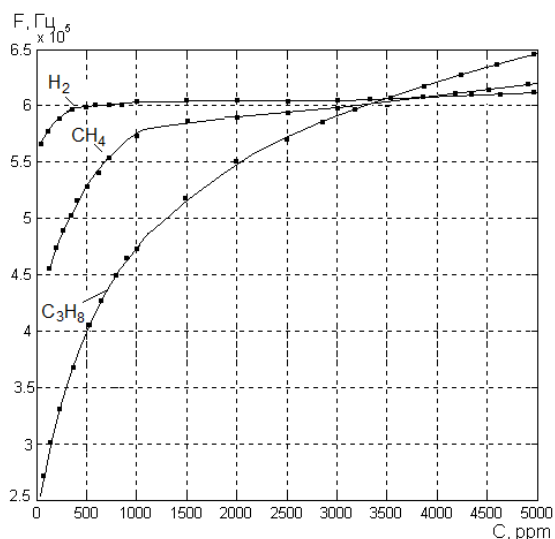


Рисунок 2. Залежності частоти генерації від зміни концентрації газу

Як видно з графіка, чутливість перетворювача для C_3H_8 (пропан) на частоті 350 кГц при напрузі живлення 5 В складає 1,22 кГц/ppm. На основі експериментальних досліджень встановлено, що частота генерації змінювалась від 250 кГц до 656 кГц при зміні концентрації C_3H_8 від 0 ppm до 150 ppm. Чутливість розробленого перетворювача складає для H_2 (водень) — 0,25 кГц/ppm, для CH_4 (метан) — 0,46 кГц/ppm, а для C_3H_8 — 1,22 кГц/ppm.

Перелік посилань

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. 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.

Анотація

В статті розглянуто частотний перетворювач концентрації газу з газочутливим MEMS елементом, в якому пасивна індуктивність коливального контуру замінена на активний індуктивний елемент. Отримано аналітичні вирази функції перетворення і рівняння чутливості. Чутливість перетворювача складає для H_2 — 0,25 кГц/ppm, для CH_4 — 0,46 кГц/ppm, а для C_3H_8 — 1,22 кГц/ppm.

Ключові слова: частотний перетворювач, MEMS, від'ємний опір.

Аннотация

В статье рассмотрен частотный преобразователь концентрации газа с газочувствительным MEMS элементом, в котором пассивная индуктивность колебательного контура заменена активным индуктивным элементом. Получены аналитические выражения функции преобразования и уравнения чувствительности. Чувствительность устройства составляет для H_2 — 0,25 кГц/ppm, для CH_4 — 0,46 кГц/ppm, а для C_3H_8 — 1,22 кГц/ppm.

Ключевые слова: частотный преобразователь, MEMS, отрицательное сопротивление.

Abstract

The article deals with the frequency transducer of gas concentration with a gas-sensitive MEMS element in which passive oscillatory circuit inductance is replaced by an active inductive element. Analytical expressions transformation function and sensitivity equation. The sensitivity of the device is for H_2 — 0,25 кГц/ppm, for CH_4 — 0,46 кГц/ppm, for C_3H_8 — 1,22 кГц/ppm.

Keywords: frequency transducer, MEMS, negative resistance.