

ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТИСКУ З ЧУТЛИВИМ MEMS КОНДЕНСАТОРОМ

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

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Переваги мікроелектронних перетворювачів тиску 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 тиску [1], хоча дослідження частотних перетворювачів тиску на основі реактивних властивостей біполярних транзисторних структур знаходиться в початковій стадії. Тому дана робота присвячена дослідженню функції перетворення та рівняння чутливості частотного перетворювача тиску на основі транзисторної структури з від'ємним опором.

Для досягнення більших значень чутливості ніж у автогенераторних вимірювальних перетворювачах на основі МДН транзисторних структур було запропоновано електричну схему частотного перетворювача тиску на основі біполярно-польової структури, що зображена на рис. 1.

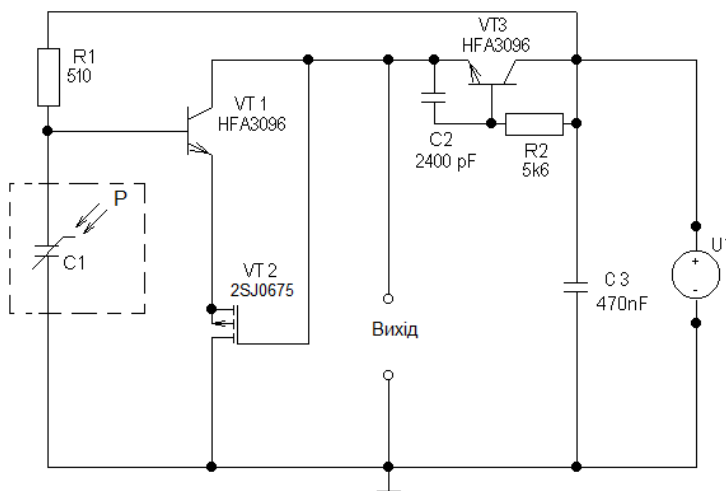


Рис. 1. Електрична схема частотного перетворювача тиску з чутливим MEMS конденсатором

Вона являє собою гібридну інтегральну схему, яка складається з двох біполярних і польового транзисторів, опору R1, а також MEMS тензочутливого конденсатора на мембрані, що дозволяє створити автогенераторний пристрій. Коливальний контур пристрою реалізований на основі еквівалентної ємності повного опору на елек-

тродах: колекторі біполярного транзистора VT1 і стоці польового транзистора VT2 та активної індуктивності на основі транзистора VT3 з фазозсуваючим ланцюжком R2C2 [2]. На тензочутливий MEMS конденсатор діє тиск, 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 тиску, визначається на основі нелінійної еквівалентної схеми частотного перетворювача. Спочатку визначається реактивна складова повного опору на електродах колектор-стік транзисторної структури, а потім з реактивної складової визначається еквівалентна ємність, яка залежить від зміни тиску. Зміна еквівалентної ємності визначає залежність частоти генерації від тиску. Аналітичний вираз функції перетворення має вигляд

$$F = \frac{\sqrt{2L_{ekv}C_1(P)(R_{ds}^2C_{ds}C_1(P) + R_{ds}^2C_{ds}^2 - L_{ekv}C_1(P) + \sqrt{A})}}{4\pi L_{ekv}C_1(P)R_{ds}C_{ds}}, \quad (1)$$

де

$$A = R_{ds}^4C_{ds}^2C_1^2(P) + 2R_{ds}^4C_{ds}^3C_1(P) - 2L_{ekv}R_{ds}^2C_{ds}C_1^2(P) + R_{ds}^4C_{ds}^4 + 2L_{ekv}R_{ds}^2C_{ds}^2C_1(P) + L_{ekv}^2C_1^2(P),$$

L_{ekv} – активна індуктивність на основі VT3 і послідовного C_2R_2 -кола; C_{DS} – ємність стік-витік транзистора VT2; R_{DS} – опір витік-стік транзистора VT2; $C_1(P)$ – ємність MEMS тензочутливого конденсатора; P – тиск.

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

$$S_P^F = \frac{\sqrt{2} \left(L_{ekv}(\sqrt{A} + B_1) \frac{\partial C_1(P)}{\partial P} + L_{ekv}C_1(P) \left(B_3 \frac{\partial C_1(P)}{\partial P} + \frac{B_4 \frac{\partial C_1(P)}{\partial P}}{\sqrt{A}} \right) \right)}{8 \cdot \left(B_2 \sqrt{L_{ekv}C_1(P)(\sqrt{A} + B_1)} - \frac{\sqrt{2} \sqrt{L_{ekv}(\sqrt{A} + B_1)C_1(P)} \frac{\partial C_1(P)}{\partial P}}{4B_2C_1(P)} \right)}, \quad (2)$$

де $B_1 = R_{ds}^2C_{ds}C_1(P) + R_{ds}^2C_{ds}^2 - L_{ekv}C_1(P);$

$$B_2 = \pi L_{ekv}R_{ds}C_{ds}C_1(P);$$

$$B_3 = R_{ds}^2C_{ds} - L_{ekv};$$

$$B_4 = R_{ds}^4C_{ds}^2(C_1(P) + C_{ds}) + L_{ekv}R_{ds}^2C_{ds}(C_{ds} - 2C_1(P)) + L_{ekv}^2C_1(P).$$

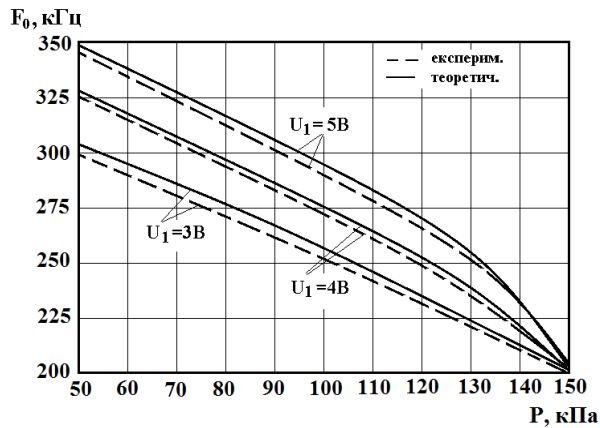


Рис. 2 Залежності частоти генерації від зміни тиску

ментальних досліджень встановлено, що частота генерації змінювалась від 350 кГц до 200 кГц при зміні тиску від 50 кПа до 150 кПа. Чутливість перетворювача складає 1,45...2,5 кГц/кПа.

Перелік посилань

1. Мартинес-Дуарт Дж. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф. Атумао-Русда – М.: Техносфера, 2007. – 368 с.
2. Осадчук В. С. Сенсори тиску і магнітного поля / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2005. – 207 с.
3. Патент на корисну модель №83356 України, МПК G01R 31/315. Вимірювач тиску з активним індуктивним елементом / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Осадчук Я.О. Заявка № u201300303; Заяв. 09.01.2013; Пр. 18.04.13. Опубл.10.09.13 Бюл.17.

Анотація

В статті розглянуто частотний перетворювач тиску з чутливим MEMS конденсатором, в якому пасивна індуктивність коливального контуру замінена на активний індуктивний елемент. Отримано аналітичні вирази функції перетворення і рівняння чутливості. Чутливість пристрою складає від 1,45 кГц/кПа до 2,5 кГц/кПа.

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

Аннотация

В статье рассмотрен частотный преобразователь давления с чувствительным MEMS конденсатором, в котором пассивная индуктивность колебательного контура заменена активным индуктивным элементом. Получены аналитические выражения функции преобразования и уравнения чувствительности. Чувствительность устройства составляет от 1,45 кГц/кПа до 2,5 кГц/кПа.

Ключевые слова: частотный преобразователь, MEMS конденсатор, отрицательное сопротивление.

Abstract

The article deals with the frequency transducer of pressure sensitive MEMS capacitor 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 between 1.45 kHz/kPa to 2.5 kHz/kPa.

Keywords: frequency transducer, MEMS capacitor, negative resistance.