

МАТЕРІАЛИ

VI Міжнародної
науково-технічної конференції

ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2017,

*присвяченої пам'яті
професора Шарапова В.М.*



ДПС-2017

Міжнародна
наукова конференція
“Датчики, прилади
та системи”

18 - 22 вересня 2017 року
Черкаси – Миколаїв – Херсон - Лазурне

РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТИСКУ НА ОСНОВІ ТЕНЗОЧУТЛИВИХ ДВОСТОКОВИХ МДН-ТРАНЗИСТОРІВ

Abstract. We have studied the circuit pressure transducer based on field-effect transistors, wherein the pressure transducer acts two drain MOSFET tenzotransistors. Self-oscillating circuit allows pressure to convert to a frequency output signal, which improves the characteristics of the metrological device. Calculated and analytical expressions for the conversion function and sensitivity functions. Sensitivity of the device is 40-34 kHz/kg/mm².

Keywords: pressure transducer, two drain MOSFET tenzotransistor, negative resistance.

П'єзоелектричні властивості кремнію обумовили його широке розповсюдження при виробництві сенсорів тиску. Кремній володіє високою чутливістю провідності до змін механічного навантаження та доброю відтворюваністю характеристик [1, 2]. Перевагами сенсорів такого типу є: висока чутливість; добра лінійність; незначні гістерезисні явища; малий час спрацьовування; компактна конструкція; економічна планарна технологія виготовлення.

Під час проектування нових радіовимірювальних приладів висуваються зростаючі вимоги у відношенні їх діапазону вимірювання, точності, чутливості, швидкодії, потужності споживання, надійності тощо. Радіовимірювальні перетворювачі з частотним виходом мають ряд переваг перед амплітудними, це полягає у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє збільшити точність вимірювання, а також у можливості одержання великих вихідних сигналів. Використання частотного сигналу в якості інформативного дозволяє відмовитися від аналого-цифрових перетворювачів та підсилювальних пристроїв, що підвищує економічність вимірювальної апаратури [3].

Схема радіовимірювального перетворювача тиску подана на рис.1. Тензочутливі двостокові МДН-транзистори VT1, VT2 і біполярний транзистор VT3 реалізують генератор електричних коливань, в якому коливальний контур утворений ємнісною складовою повного опору з від'ємним значенням активної складової на електродах стік-стік транзисторів VT1, VT2 та індуктивною складовою повного опору на електродах колектор-емітер VT3. Таким чином, під час дії тиску на тензочутливі двостокові МДН-транзистори змінюється ємність коливального контуру генератора [4].

Розглянемо фізичний механізм роботи активного індуктивного елемента на основі біполярного транзистора VT3 і фазозсувний ланцюжком R_3C_1 , що дозволяє регулювати величину індуктивності й добротності елемента [5]. Виникнення індуктивних властивостей у біполярних структурах пов'язане з кінцевою швидкістю руху носіїв заряду в базовій області. Сигнал, прикладений до емітеру, не може з'явитися на колекторному переході поки носії заряду проходять базу, у результаті чого виникає затримка в часі, що одержала назву часу прольоту. Таким чином, струм колектора відстає в часі від напруги на емітері, що викликало цей струм, що відповідає індуктивній реакції на електродах емітер-колектор біполярного транзистора. Величина індуктивності й добротності визначається на основі нелінійної моделі індуктивного транзистора, основаної на моделі Еберса-Молла, що отримана із загальної математичної моделі транзистора. Індуктивність теоретичної моделі залежить від

електрофізичних параметрів напівпровідникового матеріалу бази, режиму живлення транзистора за постійною і змінною напругами, а також від геометричних розмірів транзистора, що дозволяє керувати її величиною як електричним, так і технологічним шляхами.

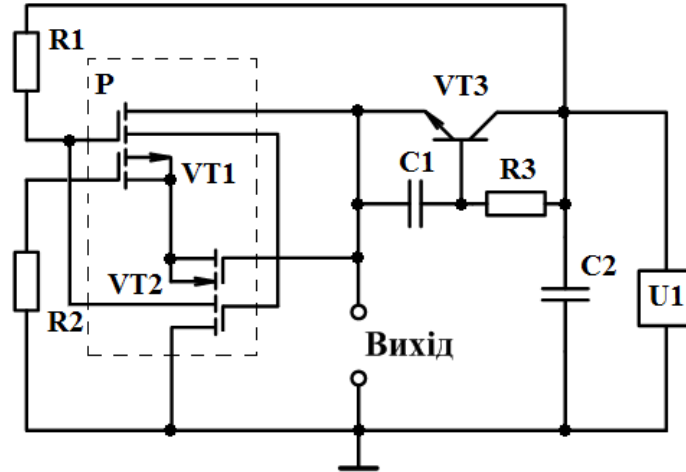


Рисунок 1 – Радіовимірвальний перетворювач тиску на основі тензочутливих двостокових МДН-транзисторів

На підставі еквівалентної схеми відповідно до методу стійкості Ляпунова визначена функція перетворення пристрою, що являє собою залежність частоти генерації від тиску. Вплив тиску на еквівалентну ємність коливального контуру передається через зміну параметрів елементів еквівалентної схеми, тому функція перетворення описується рівнянням:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4L_{ekv} R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P) [R_{SD1}^2(P) C_{SD1}(P) + R_{SD2}^2(P) C_{SD2}(P) - L_{ekv}]}}{2L_{ekv} R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P)}}, \quad (1)$$

де $B = R_{SD1}^2(P) C_{SD1}(P) R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P) + R_{SD2}^2(P) C_{SD2}(P) R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) - L_{ekv} R_{SD1}^2(P) C_{SD1}^2(P) - L_{ekv} R_{SD2}^2(P) C_{SD2}^2(P)$,

L_{ekv} – еквівалентна індуктивність коливального контуру, $R_{SD1}(P)$ – опір стік-витік транзистора VT1; $C_{SD1}(P)$ – ємність стік-витік транзистора VT1; $R_{SD2}(P)$ – опір стік-витік транзистора VT2; $C_{SD2}(P)$ – ємність стік-витік транзистора VT2;

Чутливість радіовимірвального перетворювача тиску визначається на основі виразу (1). Теоретична і експериментальна залежність частоти генерації від тиску подано на рис.2. Чутливість радіовимірвального перетворювача, складає 34 кГц/кг/мм² (рис.3). Як видно з графіка, найбільша чутливість приладу лежить у діапазоні від 0,01 кг/мм² до 1 кг/мм² і складає 40 - 34 кГц/ кг/мм². Адекватність розробленої моделі в порівнянні з експериментом визначено у вигляді відносної похибки, розбіжність теоретичних і експериментальних досліджень складає ±3%.

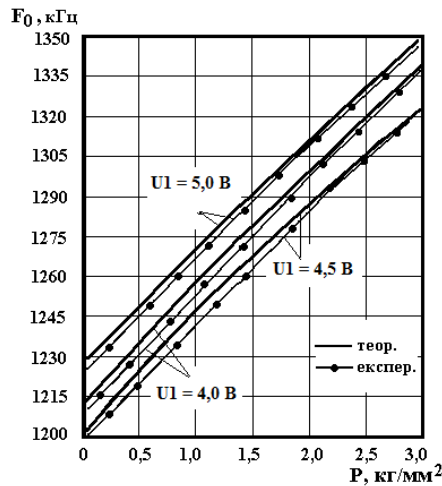


Рисунок 2 – Теоретична і експериментальна залежність частоти генерації від зміни тиску

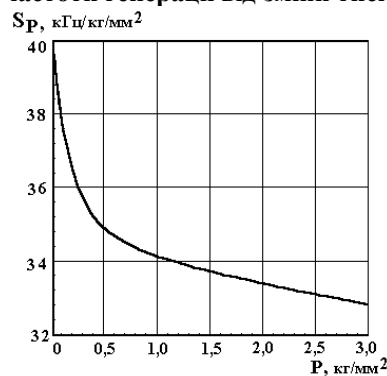


Рисунок 3 – Залежність чутливості від дії тиску

Висновки

Показана можливість прямого перетворення тиску в частоту на основі інтегральної схеми автогенератора, який складається з двох тензочувливих двостокових МДН-транзисторів та біполярного транзистора. Отримано аналітичну залежність функції перетворення. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість перетворювача складає 40 - 34 кГц/ кг/мм².

Література

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. За редакцією З.Ю. Готри. В 3 томах. – Львів: Ліга-Прес, 2003. Т.2. – 595 с.
2. Баринов И.Н.Высокотемпературные датчики абсолютного давления на структуре «поликремний-диэлектрик» с улучшенными метрологическими характеристиками /И.Н. Баринов, А.В. Федулов, В.С. Волков // Датчики и системы. - 2012. - № 10. - с.2 - 6.
3. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем / ВС Осадчук, ОВ Осадчук. – Винница:«Универсум-Винница», 1999. –276 с.
4. Осадчук А.В. Микроэлектронные частотные преобразователи на основе транзисторных структур с отрицательным сопротивлением / АВ Осадчук – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 2000. – 302 с.
5. Osadchuk A.V., Osadchuk I.A. Frequency transducer of the pressure on the basis of reactive properties of transistor structure with negative resistance // Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 21-23 May 2015. Omsk. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147168