

ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТИСКУ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ І MEMS ТЕНЗОЧУТЛИВИМ РЕЗИСТИВНИМ ЕЛЕМЕНТОМ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено перетворювач тиску з частотним виходом і MEMS тензочутливим резистивним елементом на основі транзисторної структури з від'ємним диференційним опором. Отримано аналітичні вирази функції перетворення та рівняння чутливості. На основі експериментальних досліджень встановлено, що частота генерації змінювалась від 402 кГц до 2005 кГц при зміні тиску від 0 до 120 кПа. Чутливість перетворювача складає 10,3 кГц/кПа – 12,65 кГц/кПа.

Ключові слова: радіовимірювальний частотний перетворювач тиску, MEMS тензочутливий елемент, від'ємний диференційний опір, реактивні властивості.

Abstract

A frequency transducer with frequency output and MEMS tenzo-sensitive resistive element based on transistor structure with negative differential resistance was developed. The analytical expressions of the transformation function and the sensitivity equation are obtained. On the basis of experimental studies it was established that the frequency of generation varied from 402 kHz to 2005 kHz with a change in pressure from 0 to 120 kPa. The sensitivity of the transducer is 10.3 kHz/kPa - 12.65 kHz/kPa.

Keywords: radiomeasuring frequency transducer of pressure, MEMS tenzo-sensitive element, negative differential resistance, reactive properties.

Вступ

Покращення радіотехнічних систем комп'ютеризованого автоматичного контролю і керування різними об'єктами і процесами багато в чому визначається досягненнями в області перетворювачів фізичних величин. Проблема створення системи уніфікованих перетворювачів з високими метрологічними характеристиками і вихідним сигналом, перетвореним у форму коду з незначними похибками є дуже актуальною задачею. Одним із перспективних шляхів її розв'язання є використання реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним диференційним опором для побудови частотних радіовимірювальних перетворювачів тиску [1-2]. Вони дозволяють створювати одночасно автогенераторний пристрій, в якому сам напівпровідниковий прилад з від'ємним диференційним опором виступає первинним перетворювачем тиску.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Для покращення чутливості перетворювача та виготовлення повністю в інтегральному вигляді запропоновано схематехнічне рішення перетворювача тиску з частотним виходом і MEMS тензочутливим резистивним елементом з активним індуктивним елементом [3-5]. Схема радіовимірювального частотного параметричного перетворювача тиску подана на рис.1.

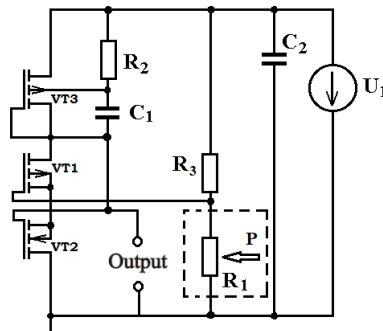


Рис.1. Електрична схема перетворювача тиску з частотним виходом і MEMS тензочутливим резистивним елементом з активним індуктивним елементом

Вона представляє інтегральну схему, яка складається з МДН транзисторів, а також MEMS тензочутливого резистора R1, що дозволяє створити автогенераторний пристрій. Коливальний контур пристрою утворений на основі еквівалентної ємності повного опору на електродах стік – стік транзисторів VT1, VT2 і активної індуктивності на основі транзистора МДН транзистора VT3 з фазозсувною ланкою на елементах R2C1 [6-8]. Динамічна вольт-амперна характеристика представлена на рис.2.

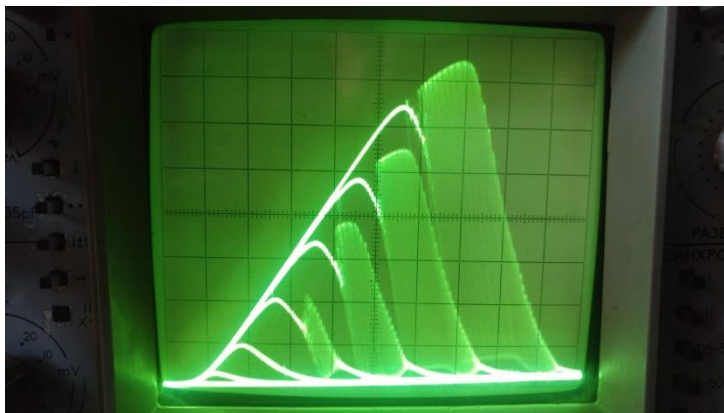


Рис. 2. Динамічна ВАХ перетворювача тиску з частотним виходом (по вертикальній вісі одна поділка – 2мА, а по горизонтальній вісі – 2В)

На електродах колектор-колектор транзисторів VT1 і VT2 існує повний опір, активна складова якого має від'ємне значення, а реактивна – ємнісний характер [7]. Підключення активної індуктивності на основі транзистора VT3 і послідовного R₂C₁ – ланцюга до стоку VT1 створює коливальний контур, втрати енергії в якому компенсуються за рахунок від'ємного диференційного опору. Таким чином, резонансна частота коливального контуру залежить від зміни тиску на тензочутливому резисторі R1 (FSR402). Величина індуктивності та добротності визначається на основі нелінійної моделі індуктивного транзистора, основаної на моделі Еберса-Молла, що отримана із загальної математичної моделі транзистора. Вихідними даними для даної моделі є система основних рівнянь, які описують поведінку носіїв заряду в напівпровідниковому матеріалі, а також математичні співвідношення, які характеризують поведінку р-п переходів.

На підставі еквівалентної схеми функція перетворення пристрою визначається як залежність частоти генерації від зміни тиску. Аналітична залежність функції перетворення має вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_d^3(P)R_d^4(P) + C_d^4(P)R_d^4(P) - L_{екв} C_d^3(P)R_d^4(P) + \sqrt{R_d^8(P)(C_d(P) - 1)^2 C_d^6(P)}}{LC_d^5(P)R_d^6(P)}} \pi, \quad (1)$$

де $L_{екв}$ – еквівалентна індуктивність коливального контуру.

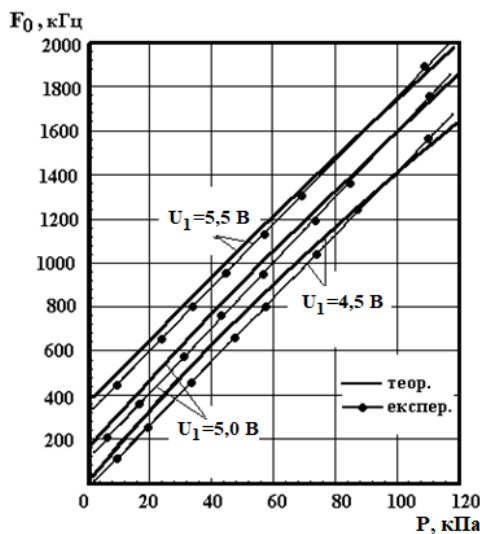


Рис.3. Теоретичні та експериментальні залежності частоти генерації від зміни тиску

На основі експериментальних досліджень встановлено, що частота генерації змінювалась від 402 кГц до 2005 кГц при зміні тиску від 0 кПа до 120 кПа. Чутливість розробленого перетворювача складає 10,3 кГц/кПа – 12,65 кГц/кПа.

Висновки

Розроблено схему перетворювача тиску з частотним виходом і MEMS тензочутливим резистивним елементом та активним індуктивним елементом. В розробленому перетворювачі тиску МДН транзистори реалізують ємність і індуктивність коливального контуру автогенераторного перетворювачатиску, що дозволило підвищити чутливість частотного перетворювача тиску. Чутливість розробленого перетворювача складає 10,3 кГц/кПа – 12,65 кГц/кПа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. / За ред. З. Ю. Готри. – Львів: Ліга – прес, т.2 ,2002. – 475 с.
2. Schaumburg H. Sensoren / Schaumburg H. – Stuttgart: B.G.Teubner. 1992. – 517 p.
3. Осадчук В. С., Осадчук А. В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем. - Вінниця: «Універсум-Вінниця», 1999. - 275 с.
4. Oleksandr V. Osadchuk, Volodymyr S. Osadchuk, Iaroslav O. Osadchuk, Maksat Kolimoldayev, Pawel Komada, Kanat Mussabekov. Optical transducers with frequency output // Proc. SPIE 10445, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2017, 104451X (August 7, 2017); doi:10.1117/12.2280892
5. Осадчук В. С., Осадчук А. В. Напівпровідникові прилади з від’ємним опором. –Вінниця: ВНТУ, 2006. – 162 с.
6. Khutorenko, S., Osadchuk, O., Osadchuk, I., Vasilchuk, D., Semenets, D., and Lukin, V., (2017) Mathematical model of piezoelectric oscillating system with electrodes of variable nonlinear and constant linear air gap, Telecommunications and Radio Engineering, 76(18), pp. 1639-1648.
7. Осадчук В.С., Осадчук О.В., Осадчук Я.О. Мікроелектронний перетворювач тиску з частотним виходом на основі тунельно-резонансного діода // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2015. №1, 2015 (221), -С.97-101.
8. Осадчук О.В., Осадчук Я.О. Деформаційні ефекти у напівпровідникових структурах // Вісник Хмельницького національного університету, №2 (211), 2014. –С.146-150.

Осадчук Олександр Володимирович — докт. техн. наук, проф., зав. кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, osadchuk.av69@gmail.com

Осадчук Володимир Степанович — докт. техн. наук, проф., професор кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет

Осадчук Ярослав Олександрович — канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет

Alexander Osadchuk — Doc. Tech. Sc., prof. Head of Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, osadchuk.av69@gmail.com

Volodimir Osadchuk — Doc. Tech. Sc., prof., Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

Iaroslav Osadchuk — Ph.D.Tech., Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine