

Міністерство освіти і науки України
Хмельницький національний університет
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича



2014

III Всеукраїнська науково-практична конференція
молодих учених та студентів

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

УДК 621.317

ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТИСКУ НА ОСНОВІ ДВОКОЛЕКТОРНОГО ТЕНЗОТРАНЗИСТОРА

В.С. ОСАДЧУК, О.В. ОСАДЧУК, Я.О. ОСАДЧУК
Вінницький національний технічний університет

У роботі представлені дослідження частотного перетворювача тиску на основі двоколекторного тензочутливого біполярного транзистора і двозатворного польового транзистора. Отримані аналітичні залежності функції перетворення і рівняння чутливості. Теоретичні і експериментальні дослідження показали, що чутливість розробленого частотного перетворювача тиску складає 0,65-1,1 кГц/кПа.

In the article operation the investigations frequency transducer of a pressure are represented on the basis of two-collector tensosensitive bipolar transistor and two gate of the field-effect transistor. The analytical dependences of function of conversion and equation of sensitivity are obtained. The theoretical and experimental investigations have shown, that the sensitivity designed makes frequency transducer a pressure 0,65-1,1 kHz/kPa.

Ключові слова: частотний перетворювач тиску, від'ємний опір, двоколекторний тензочутливий транзистор.

Вступ. Дослідження впливу тиску в рідких чи газоподібних середовищах є основою фундаментальних наукових досліджень, за допомогою яких визначається будова і склад речовини. розробляються ядерні джерела енергії, досліджується космічний простір, розробляються методи діагностики у техніці та медицині [1].

Більшість сенсорів тиску є аналоговими, за допомогою яких зміна тиску перетворюється в електричний сигнал у вигляді напруги або струму. Сенсори тиску з частотним виходом мають ряд переваг перед аналоговими, це полягає у значному підвищенні завадостійкості, що дозволяє збільшити точність вимірювання, а також у можливості одержання значних вихідних сигналів. Це створює можливість відмови від підсилювальних пристроїв при наступній обробці сигналів. Використання частотного сигналу в якості інформативного дозволяє відмовитись від аналого-цифрових перетворювачів, що підвищує економічність вимірювальної апаратури.

У даний час ведуться інтенсивні дослідження з вивчення властивостей аналогових сенсорів тиску [2,3], хоча дослідження частотних сенсорів тиску знаходяться в початковій стадії [4]. Використання тензочутливого двоколекторного біполярного транзистора як у якості чутливого, так і в якості підсилювального елемента дозволило значно спростити схему пристрою. Дана робота присвячена дослідженню частотного перетворювача тиску на основі такої схеми.

Теоретичні та експериментальні дослідження. Електрична схема частотного перетворювача тиску наведена на рис. 1. Вона являє собою гібридну інтегральну схему, що складається із двоколекторного тензочутливого транзистора і польового двозатворного транзистора, які разом з індуктивністю і джерелом постійної напруги утворюють автогенераторний пристрій, частота генерації якого залежить від зміни тиску.

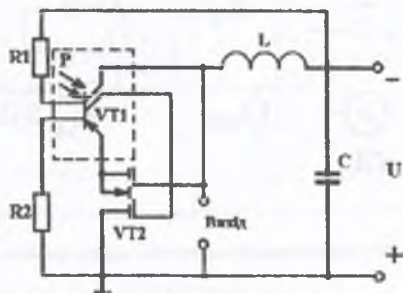


Рис. 1. Електрична схема частотного перетворювача тиску

На електродах першого колектора тензочутливого біполярного транзистора VT1 і стоці польового двозатворного транзистора VT2 існує повний опір, активна складова якого має від'ємне значення, а реактивна – ємнісний характер. Підключення зовнішньої індуктивності L до першого колектора тензочутливого транзистора VT1 і стоку польового транзистора VT2 через блокуючу ємність C створює коливальний контур автогенератора. Втрати енергії в коливальному контурі компенсуються від'ємним опором. Резистори R1 і R2, а також джерело постійної напруги U, забезпечують режим живлення з постійного струму досліджуваної схеми. При дії тиску на транзистор VT1 відбувається зміна еквівалентної ємності коливального контуру, що викликає зміну резонансної частоти.

Еквівалентна схема частотного перетворювача тиску подана на рис. 2. Вона побудована на основі малосигнальних лінійних еквівалентних схем біполярного і польового транзисторів.

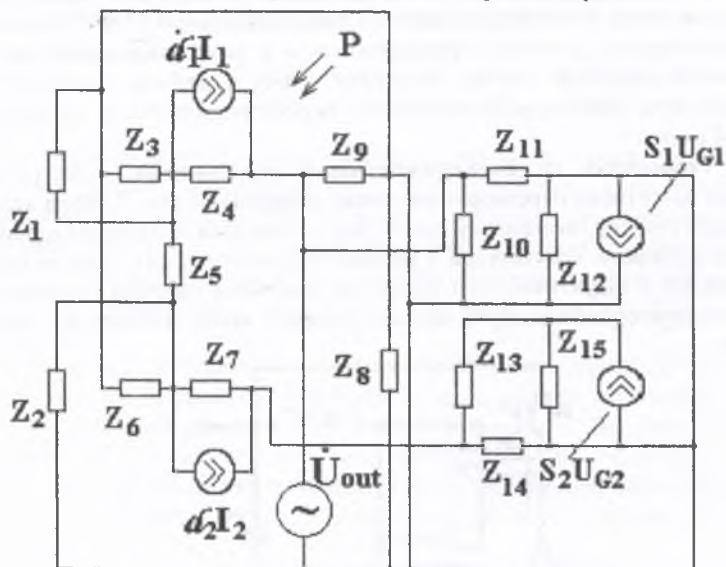


Рис. 2. Еквівалентна схема частотного перетворювача тиску

$$Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2, \quad Z_3 = \frac{R_{E1}}{1 + \omega^2 R_{E1}^2 C_{E1}^2} - j \frac{R_{E1}^2 \omega C_{E1}}{1 + \omega R_{E1}^2 C_{E1}^2},$$

$$Z_4 = \frac{R_{K1}}{1 + \omega^2 R_{K1}^2 C_{K1}^2} - j \frac{R_{K1}^2 \omega C_{K1}}{1 + \omega R_{K1}^2 C_{K1}^2}, \quad Z_5 = R_B,$$

$$Z_6 = \frac{R_{E2}}{1 + \omega^2 R_{E2}^2 C_{E2}^2} - j \frac{R_{E2}^2 \omega C_{E2}}{1 + \omega R_{E2}^2 C_{E2}^2},$$

$$Z_7 = \frac{R_{K2}}{1 + \omega^2 R_{K2}^2 C_{K2}^2} - j \frac{R_{K2}^2 \omega C_{K2}}{1 + \omega R_{K2}^2 C_{K2}^2}, \quad Z_8 = -j / (\omega C), \quad Z_9 = j \omega L,$$

$$Z_{10} = \frac{R_{GS1}}{1 + \omega^2 R_{GS1}^2 C_{GS1}^2} - j \frac{R_{GS1}^2 \omega C_{GS1}}{1 + \omega R_{GS1}^2 C_{GS1}^2}, \quad Z_{11} = -j / (\omega C_{GD1}),$$

$$Z_{12} = \frac{R_{DS1}}{1 + \omega^2 R_{DS1}^2 C_{DS1}^2} - j \frac{R_{DS1}^2 \omega C_{DS1}}{1 + \omega R_{DS1}^2 C_{DS1}^2}, \quad Z_{14} = -j / (\omega C_{GD2}),$$

$$Z_{13} = \frac{R_{GS2}}{1 + \omega^2 R_{GS2}^2 C_{GS2}^2} - j \frac{R_{GS2}^2 \omega C_{GS2}}{1 + \omega R_{GS2}^2 C_{GS2}^2},$$

$$Z_{15} = \frac{R_{DS2}}{1 + \omega^2 R_{DS2}^2 C_{DS2}^2} - j \frac{R_{DS2}^2 \omega C_{DS2}}{1 + \omega R_{DS2}^2 C_{DS2}^2}.$$

Розглянемо залежність елементів еквівалентної схеми тензочутливого двоколекторного транзистора від дії тиску. Виходячи з аналітичних залежностей параметрів еквівалентної схеми [4], визначаються їх залежність від зміни тиску.

Деформаційні прирости параметрів $G_i = f(E_c, n_n, n_p, p_n, n_i, m_i, r)$ еквівалентної схеми біполярного тензотранзистору, зображеної на рис. 2, визначаються на основі загального виразу:

$$\Delta G_i(P) = \frac{\partial G_i}{\partial E_c} \Delta E_c(P) + \frac{\partial G_i}{\partial n_n} \Delta n_n(P) + \frac{\partial G_i}{\partial n_p} \Delta n_p(P) + \frac{\partial G_i}{\partial p_n} \Delta p_n(P) + \frac{\partial G_i}{\partial n_i} \Delta n_i(P) + \frac{\partial G_i}{\partial m_n} \Delta m_n(P) + \frac{\partial G_i}{\partial r} \Delta r(P) \quad (1)$$

В якості параметрів G_i у виразі (1) виступають наступні параметри та елементи еквівалентної схеми: R_e - опір емітера; R_b - опір базової області; R_c - опір колектора; C_{bc} - ємність емітерного переходу; C_{bc} - ємність колекторного переходу; a_N та a_I - відповідно прямий та інверсний коефіцієнти підсилення струму в схемі з загальною базою. Вираз (1) дозволяє визначити деформаційний приріст параметру еквівалентної схеми G_i шляхом визначення суми часткових похідних даного параметру від електрофізичних параметрів напівпровідникового матеріалу, що в свою чергу залежать від тиску.

Таким чином, визначивши залежності елементів еквівалентної схеми тензочутливого транзистора від дії тиску, перейдемо до визначення функції перетворення й рівняння чутливості.

На основі еквівалентної схеми (рис. 2) розрахуємо повний опір на електродах першого колектора транзистора VT1 і стоку польового транзистора VT2, на основі якого визначається еквівалентна ємність коливального контуру частотного перетворювача тиску, що задає функцію перетворення.

Відповідно до схеми (рис. 3) на основі методу стійкості Ляпунова [5] визначаємо функцію перетворення, яка являє собою залежність частоти генерації від дії тиску. Аналітична залежність функції перетворення має вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{A_1 + \sqrt{A_1^2 + LC_{GD}(C_B(P)R_B(P))^2}}{2LC_{GD}(R_B(P)C_B(P))^2}}, \quad (2)$$

де $A_1 = LC_{GD} - (C_B(P)R_B(P))^2 - C_{GD}C_B(P)R_B^2(P)$, L - зовнішня індуктивність, C_B, R_B - еквівалентна ємність й опір базової області тензочутливого транзистора, C_{GD} - ємність затвор-стік польового транзистора.

Графічна залежність функції перетворення подана на рис. 3. Чутливість перетворювача тиску визначається на основі виразу (2) і описується рівнянням

$$\begin{aligned} S_{F_0}^{P_0} = & -0.0198 \left(-2C_B(P)R_B^3(P)C_{GD} \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) \times \sqrt{A_1 + 2A_2} - 2C_B^2(P)R_B^3(P) \times \right. \\ & \times \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) - 2C_B^3(P)R_B^2(P) \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) - 3C_B(P)R_B^3(P)C_{GD} \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) - \\ & - 2C_{GD}C_B^2(P)R_B^2(P) \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) + 8C_B^2(P)R_B^3(P)LC_{GD} \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) + 8LC_{GD} \times \\ & \times C_B^2(P)R_B^2(P) \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) + 4LC_{GD}R_B(P) \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) \sqrt{A_1 + 2A_2} + 4R_B(P) \times \\ & \times \left(\frac{\partial C_B(P)}{\partial P} \right) LC_{GD} + 4C_B(P)LC_{GD} \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) \times \sqrt{A_1 + 2A_2} + 4LC_{GD}C_B(P) \times \\ & \left. \times \left(\frac{\partial R_B(P)}{\partial P} \right) \right) / \left(\left(2\sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + LC_{GD}(C_B(P)R_B(P))^2}} / A_2 \right) LC_{GD}C_B^3(P)R_B^3(P)\sqrt{A_1 + 2A_2} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

де $A_2 = 2LC_{GD}(C_B(P)R_B(P))^2$.

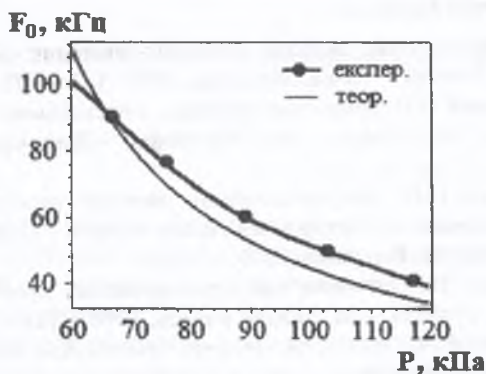


Рис. 3. Залежність частоти генерації від зміни тиску

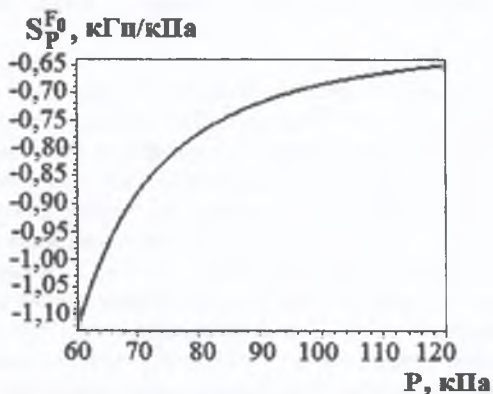


Рис. 4. Залежність чутливості від зміни тиску

Графік залежності чутливості від зміни тиску подано на рис. 4. Як видно із графіка, найбільша чутливість пристрою лежить у діапазоні від 60 до 120 кПа і становить 0,65-1,1 кГц/кПа.

Висновки. Показана можливість прямого перетворення зміни тиску в частоту на основі гібридної інтегральної схеми, яка складається з двоколекторного тензочутливого транзистора і польового двозатворного транзистора. Отримано аналітичні залежності функції перетворення і рівняння чутливості. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що чутливість перетворювача складає 0,65-1,1 кГц/кПа.

Використані джерела:

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. За редакцією З.Ю. Готри. В 3 томах. – Львів: Ліга-Прес, 2003. Т.2. – 595 с.
2. Новицкий П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками / П.В. Новицкий, В.Г. Кноринг, В.С. Гутников. – Ленинград: Энергия, 1970. – 424 с.
3. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / О.В. Осадчук. – Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2000. – 303 с.
4. Викулин И.М. Физика полупроводниковых приборов / И.М. Викулин, В.И. Стафеев. – М. : Радио и связь, 1990. - 264 с.
5. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники / А.А. Каяцкас. –М. : Высшая школа, 1988. – 464 с.