

Д. т. н. В. С. ОСАДЧУК, д. т. н. А. В. ОСАДЧУК,
к. т. н. Г. И. ГАВРИЛЮК, Н. Л. БИЛОКОНЬ

Дата поступления в редакцию
30.03 2004 г.

Украина, г. Винница, НИИ индикаторных приборов "Гелий"
E-mail: osa@lil.vstu.vinnica.ua

Оппонент к. т. н. О. Н. НЕГОДЕНКО
(ТРТУ, г. Таганрог)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДАВЛЕНИЯ

Наибольшее значение чувствительности радиоизмерительного преобразователя ($13,75 \text{ кГц/кгс/мм}^2$) лежит в диапазоне давлений, превышающих $0,5 \text{ кгс/мм}^2$.

Использование частоты в качестве информативного параметра в радиоизмерительных преобразователях позволяет получить хорошую помехоустойчивость, а это, в свою очередь, повышает точность преобразования давления в частоту. Кроме этого, в радиоизмерительных преобразователях частотный выходной сигнал составляет несколько вольт, что позволяет отказаться от дальнейшего усиления выходного сигнала [1—3], что улучшает экономические и метрологические показатели таких устройств. С другой стороны, такие важные параметры устройства как функция преобразования и уравнение чувствительности не исследованы. В связи с этим в работе представлены исследования основных характеристик радиоизмерительного преобразователя давления, в котором тензочувствительным элементом выступает биполярный транзистор.

Схема радиоизмерительного преобразователя давления P представлена на рис. 1 [4—6]. Тензочувствительным элементом является биполярный транзистор. Генератор электрических колебаний создан на основе биполярного и полевого транзисторов. При подключении внешней индуктивности к коллектору биполярного и стоку полевого транзисторов создается колебательный контур генератора. Наличие отрицательного дифференциального сопротивления позволяет компенсировать потери энергии в колебательном контуре, созданном реактивной составляющей полного сопротивления на электродах "коллектор—сток" и внешней индуктивностью.

К параметрам биполярного транзистора, которые изменяются под действием давления, относятся диффузионная емкость и ее сопротивление, барьерная емкость и ее сопротивление, коэффициент передачи тока и сопротивление базы [7]. Изменение этих параметров под действием давления приводит к изменению реактивной составляющей полного сопротивления, которое существует на коллекторе биполярного и стоке полевого транзисторов. Таким образом, частота генерации зависит от давления.

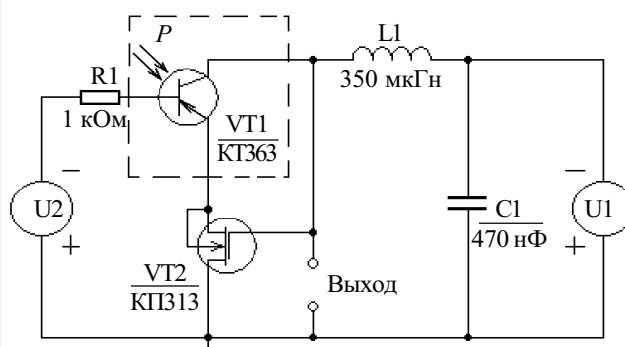


Рис. 1. Электрическая схема радиоизмерительного преобразователя давления

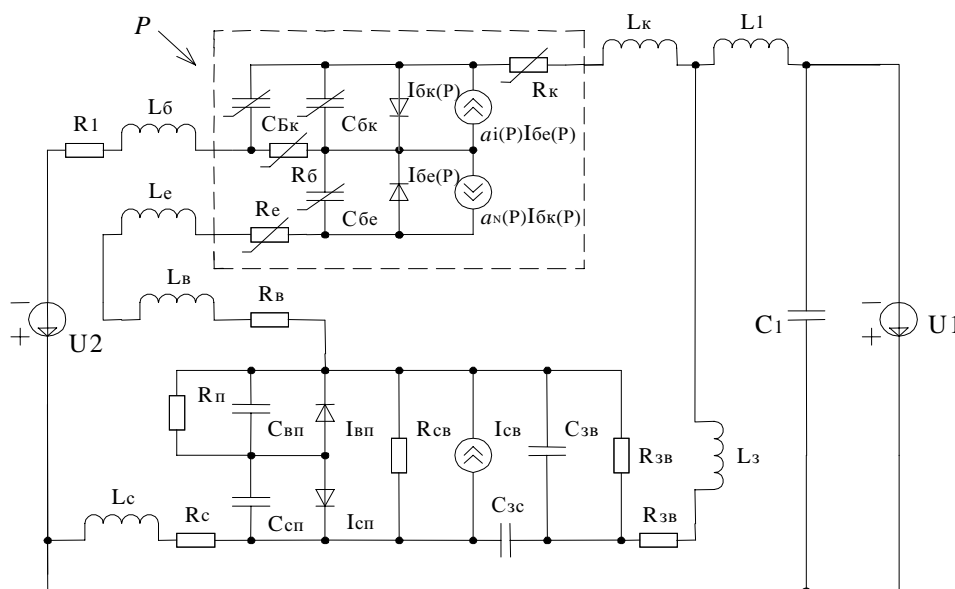


Рис. 2. Эквивалентная схема преобразователя давления

Одной из основных характеристик преобразователя является его функция преобразования и уравнение чувствительности. Для определения этих характеристик воспользуемся нелинейной эквивалентной схемой, которая представлена на рис. 2.

Преобразуем схему рис. 2 в нелинейную эквивалентную схему по переменному току, которая представлена на рис. 3.

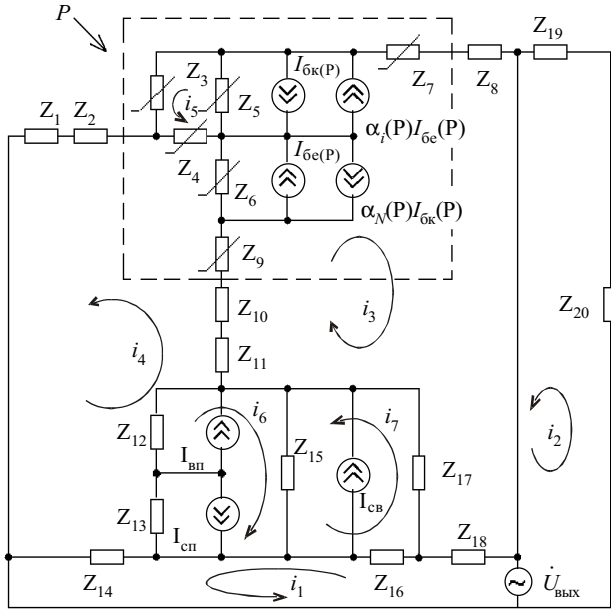


Рис. 3. Преобразованная эквивалентная схема преобразователя давления по переменному току

Система уравнений Кирхгофа, составленная в соответствии с направлениями контурных токов, имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{U}_{\text{вых}} = (Z_{18} + Z_{16} + Z_{14})i_1 - Z_{18}i_3 - Z_{16}I_{\text{св}} + Z_{13}i_4; \\ \dot{U}_{\text{вых}} = (Z_{19} + Z_{20})i_2; \\ 0 = (Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 + Z_9 + Z_{10} + Z_{11} + Z_{17} + Z_{18})i_3 + \\ + Z_{18}i_1 + (Z_9 + Z_{10} + Z_{11})i_4 + Z_5(i_5 - I_{6e} + I_{6k} - \alpha_i I_{6e} + \\ + I_{6k} \alpha_N) + Z_{17}(i_7 - I_{\text{св}} - I_{\text{вп}} + I_{\text{сп}}) + Z_6(i_4 - I_{6e} + I_{6k} - \\ - I_{6e} \alpha_i + I_{6k} \alpha_N); \\ 0 = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_6 + Z_9 + Z_{10} + Z_{11} + Z_{12} + Z_{13} + \\ + Z_{14})i_4 + (Z_9 + Z_{10} + Z_{11})i_3 - Z_{14}i_1 + Z_4(-i_5 - I_{6e} + \\ + I_{6k} - \alpha_i I_{6e} + \alpha_N I_{6k}) + Z_6(i_3 - I_{6e} + I_{6k} - \alpha_i I_{6e} + \\ + I_{6k} \alpha_N) + (Z_{12} + Z_{13})(i_6 - I_{\text{св}} - I_{\text{вп}} + I_{\text{сп}}); \\ 0 = (I_{6e} - I_{6k} + \alpha_i I_{6e} - \alpha_N I_{6k} + i_4)Z_4 + Z_5(i_3 - I_{6e} + \\ + I_{6k} - \alpha_i I_{6e} + \alpha_N I_{6k}) + (Z_3 + Z_4 + Z_5)i_5; \\ 0 = (Z_{12} + Z_{13} + Z_{15})i_6 + (Z_{12} + Z_{13})(i_4 - I_{\text{св}} - I_{\text{вп}} + \\ + I_{\text{сп}}) + Z_{15}(i_7 + I_{\text{св}} + I_{\text{вп}} - I_{\text{сп}}); \\ 0 = (Z_{15} + Z_{16} + Z_{17})i_7 + Z_{15}(i_6 + I_{\text{св}} + I_{\text{вп}} - I_{\text{сп}}) + \\ + (Z_{16} + Z_{17})(-I_{\text{св}} - I_{\text{вп}} + I_{\text{сп}}) - Z_{16}i_1 + Z_{17}i_3, \end{cases} \quad (1)$$

где $Z_1=R_1$; $Z_2=j\omega L_6$; $Z_3=-j/(\omega C_{\text{БК}})$; $Z_4=R_6$; $Z_5=-j/(\omega C_{\text{БК}})$; $Z_6=-j/(\omega C_{\text{6e}})$; $Z_7=R_k$; $Z_8=j\omega L_k$; $Z_9=R_c$; $Z_{10}=j\omega L_c$; $Z_{11}=R_B+j\omega L_B$;

$$Z_{12} = \frac{R_{\text{П}}}{1 + \omega^2 R_{\text{П}}^2 C_{\text{ВП}}^2} - j \frac{\omega R_{\text{П}}^2 C_{\text{ВП}}}{1 + \omega^2 R_{\text{П}}^2 C_{\text{ВП}}^2};$$

$$Z_{13} = -j/(\omega C_{\text{сп}}); Z_{14} = R_c + j\omega L_c; Z_{15} = R_{\text{св}}; Z_{16} = -j/(\omega C_{\text{зс}});$$

$$Z_{17} = \frac{R_{\text{ЗВ}}}{1 + \omega^2 R_{\text{ЗВ}}^2 C_{\text{ЗВ}}^2} - j \frac{\omega R_{\text{ЗВ}}^2 C_{\text{ЗВ}}}{1 + \omega^2 R_{\text{ЗВ}}^2 C_{\text{ЗВ}}^2};$$

$$Z_{18} = R_3 + j\omega L_3; Z_{19} = j\omega L_1; Z_{20} = -j/(\omega C_1).$$

Решение системы уравнений (1) в среде пакета «Matlab5.2» позволяет получить значение полного сопротивления на электродах "коллектор–сток", активная составляющая которого имеет отрицательное значение, а реактивная составляющая — емкостный характер. Частота генерации определяется зависимостью эквивалентной емкости контура от давления.

Функция преобразования определяется на основании системы уравнений (1) и описывается выражением

$$F_0 = \sqrt{\frac{C_{\text{6e}}(P)C_1 + C_{\text{6e}}(P)C_1 + C_{\text{6e}}(P)C_{\text{6e}}(P)}{L_1 C_{\text{6e}}(P)C_{\text{6e}}(P)C_1}}, \quad (2)$$

где L_1 — внешняя индуктивность.

Тензочувствительность преобразователя определяется на основании выражения (2):

$$\begin{aligned} S_p = \frac{1}{4} & \left(\frac{\left(\frac{\partial C_{\text{6e}}(P)}{\partial P} \right) C_1 + \left(\frac{\partial C_{\text{6e}}(P)}{\partial P} \right) C_1}{L_1 C_{\text{6e}}(P) C_{\text{6e}}(P) C_1} + \right. \\ & \left. + \frac{\left(\frac{\partial C_{\text{6e}}(P)}{\partial P} \right) C_{\text{6e}}(P) + \left(\frac{\partial C_{\text{6e}}(P)}{\partial P} \right) C_{\text{6e}}(P)}{L_1 C_{\text{6e}}(P) C_{\text{6e}}(P) C_1} - \right. \\ & \left. \frac{A_1 \left(\frac{\partial C_{\text{6e}}(P)}{\partial P} \right)}{L_1 C_{\text{6e}}^2(P) C_{\text{6e}}(P) C_1} - \right. \\ & \left. \frac{A_1 \left(\frac{\partial C_{\text{6e}}(P)}{\partial P} \right)}{L_1 C_{\text{6e}}(P) C_{\text{6e}}^2(P) C_1} \right) / \left(\pi \sqrt{\frac{A_1}{L_1 C_{\text{6e}}(P) C_{\text{6e}}(P) C_1}} \right), \quad (3) \end{aligned}$$

где $A_1 = C_{\text{6e}}(P)C_1 + C_{\text{6e}}(P)C_1 + C_{\text{6e}}(P)C_{\text{6e}}(P)$.

На рис. 4 представлены теоретические и экспериментальные зависимости частоты генерации от давления на тензочувствительный биполярный транзистор. Экспериментальные исследования проводились при постоянной температуре 20°C. Параметры элементов эквивалентной схемы преобразователя, необходимые для расчетов, получены из работ [8, 9].

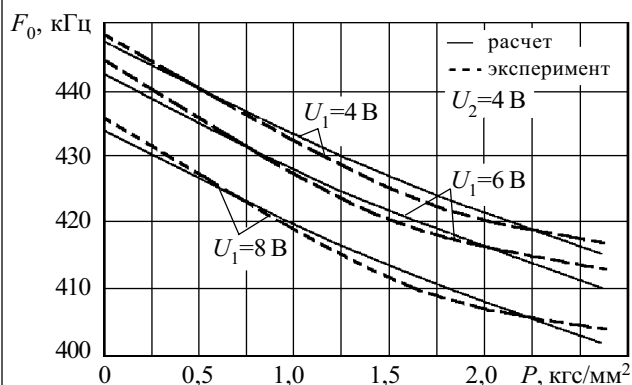


Рис. 4. Теоретическая и экспериментальная зависимость частоты генерации F_0 от давления

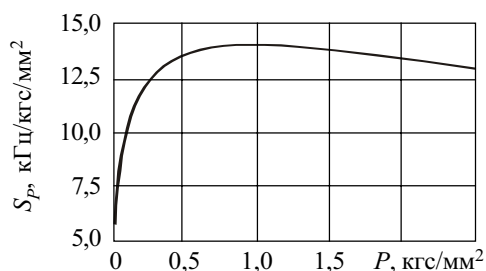


Рис. 5. Зависимость чувствительности S_p от давления

На рис. 5 представлена зависимость чувствительности от давления. Чувствительность преобразователя давления составляет $13,75 \text{ кГц/кгс/мм}^2$ при давлении более чем $0,5 \text{ кгс/мм}^2$.

УДК 681.586.6

Осадчук В. С., Осадчук А. В., Гаврилюк Г. И., Білоконь Н. Л. Исследование функций преобразования и чувствительности радиоизмерительного преобразователя давления // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2004. — № . — С. — . — Библиогр.: с. (9 назв.).

Ключевые слова: радиоизмерительный преобразователь, давление, частота, функция преобразования, чувствительность.

На основе нелинейной эквивалентной схемы преобразователя давления, работа которого описывается при помощи уравнений Кирхгофа, получена функция преобразования и уравнение чувствительности. Наибольшее значение чувствительности радиоизмерительного преобразователя ($13,75 \text{ кГц/кгс/мм}^2$) лежит в диапазоне давлений, превышающих $0,5 \text{ кгс/мм}^2$.

Украина, г. Винница, НИИ индикаторных приборов “Гелій”.

Выводы

На основе нелинейной эквивалентной схемы преобразователя давления, работа которого описывается при помощи уравнений Кирхгофа, получена функция преобразования и уравнение чувствительности.

Наибольшее значение чувствительности $13,75 \text{ кГц/кгс/мм}^2$ лежит в диапазоне давлений, превышающих $0,5 \text{ кгс/мм}^2$.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Новицкий П. В., Кноринг В. Г., Гутников В. С. Цифровые приборы с частотными датчиками. — Л.: Энергия, 1970.
2. Бабичев Г. Г., Козловский С. И., Романов В. А., Шаран Н. Н. Кремниевый однопереходный тензотранзистор // Журнал технической физики. — 2002. — Т. 72, вып. 4. — С. 66—71.
3. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від’ємним опором. — Вінниця: Універсум-Вінниця, 2000.
4. Пат. 2104619 России. Электростатический микрофон / В. С. Осадчук, Е. В. Осадчук, А. В. Осадчук. — 1998. — Бюл. № 4.
5. Пат. 40237 А України. Мікроелектронний пристрій для виміру тиску / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. — 2001. — Бюл. № 6.
6. Пат. 41666 А України. Мікроелектронний вимірювач тиску / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. — 2001. — Бюл. № 8.
7. Осадчук В. С., Осадчук О. В., Білоконь Н. Л. Дослідження тензочутливого елемента на основі біполярного транзистора // Вісник Технологічного університету Поділля. Част. 1. — 2004. — Т. 1, № 2. — С. 115—121.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и P-Spice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ. — Вып. 3. Моделирование аналоговых устройств. — М.: Радио и связь, 1992.
9. Березин А. С., Мочалкина О. Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. — М.: Радио и связь, 1992.

Osadchuk V. S., Osadchuk A. V., Gavryluk G. I., Bilokon N. L.

Research of functions conversion and sensitivity of the transducer of pressure

On the base of the nonlinear equivalent circuit of the pressure’s transducer the function of the conversion and sensitivity equation is received. The work pressure’s transducer is described with assistance Kirgoff’s equations. Maximum value of the sensitivity of radiomeasuring transducer ($13,75 \text{ kHz/kg/mm}^2$) fall in the region pressures which compare $0,5 \text{ kg/mm}^2$.

Дослідження функцій перетворення та чутливості радіовимірювального перетворювача тиску. В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Г. І. Гаврилюк, Н. Л. Білоконь ()