

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

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

Дата поступления в редакцию
30.03 2004 г.

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.

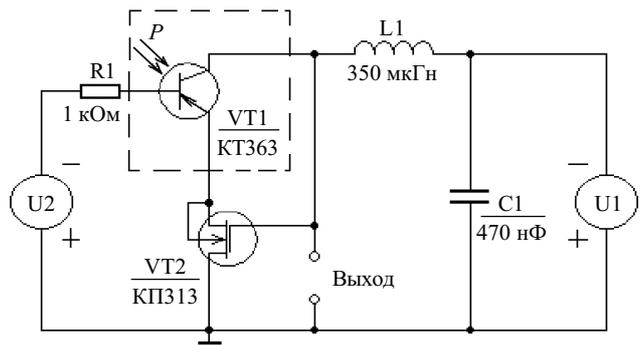


Рис. 1. Электрическая схема радиоизмерительного преобразователя давления

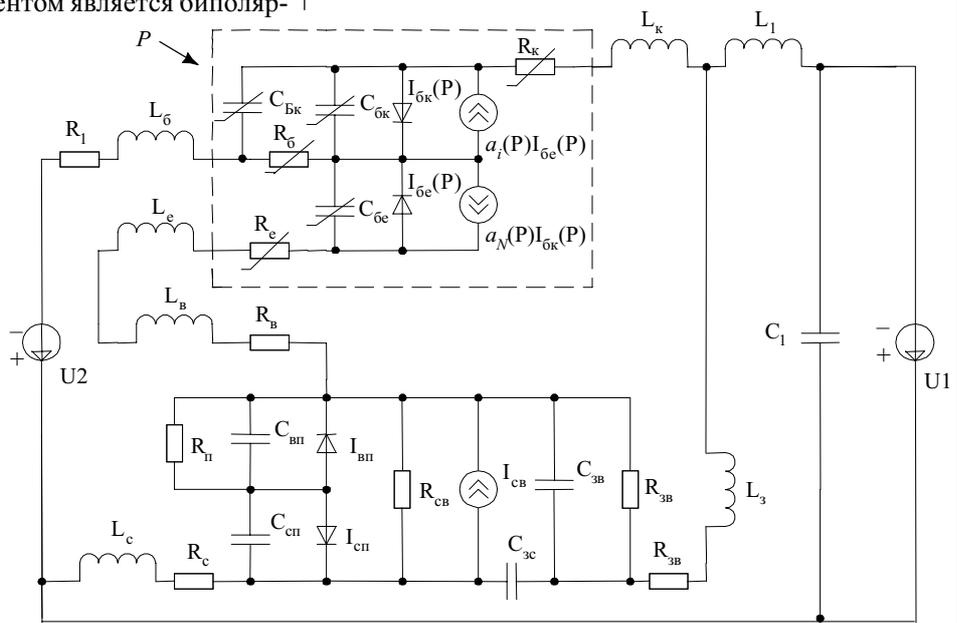


Рис. 2. Эквивалентная схема преобразователя давления

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**.

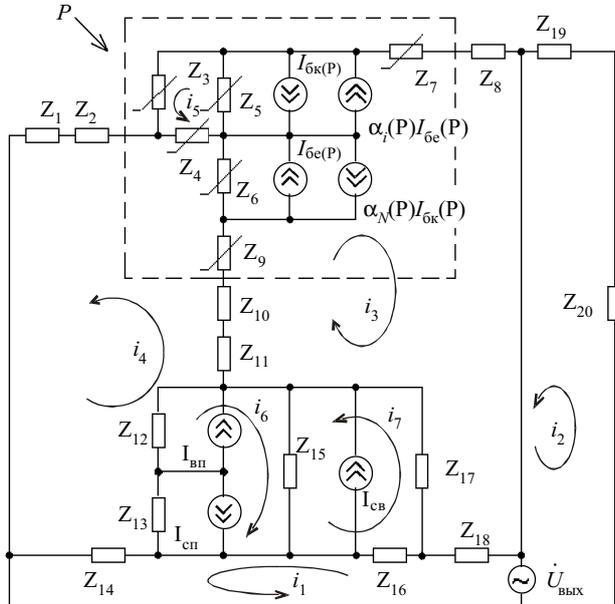


Рис. 3. Преобразованная эквивалентная схема преобразователя давления по переменному току

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

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

где $Z_1=R_1$; $Z_2=j\omega L_6$; $Z_3=-j/(\omega C_{\text{БК}})$; $Z_4=R_6$; $Z_5=-j/(\omega C_{\text{БК}})$;

$$Z_6=-j/(\omega C_{6е}); \quad Z_7=R_к; \quad Z_8=j\omega L_к; \quad Z_9=R_е; \quad Z_{10}=j\omega L_е;$$

$$Z_{11}=R_в+j\omega L_в; \quad Z_{12}=\frac{R_{\text{П}}}{1+\omega^2 R_{\text{П}}^2 C_{\text{ВП}}^2} - j\frac{\omega R_{\text{П}}^2 C_{\text{ВП}}}{1+\omega^2 R_{\text{П}}^2 C_{\text{ВП}}^2};$$

$$Z_{13}=-j/(\omega C_{\text{СП}}); \quad Z_{14}=R_е+j\omega L_е; \quad Z_{15}=R_{\text{СВ}}; \quad Z_{16}=-j/(\omega C_{\text{СВ}});$$

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

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

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

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

где L_1 — внешняя индуктивность.

Тензочувствительность преобразователя определяется на основании выражения (2):

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

где $A_1=C_{6е}(P)C_1 + C_{6е}(P)C_1 + C_{6е}(P)C_{6е}(P)$.

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].

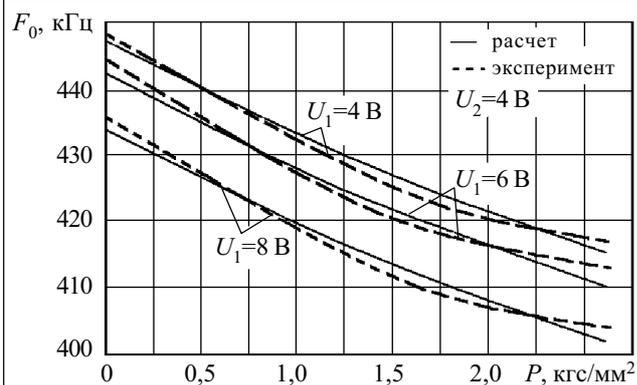


Рис. 4. Теоретическая и экспериментальная зависимость частоты генерации F_0 от давления

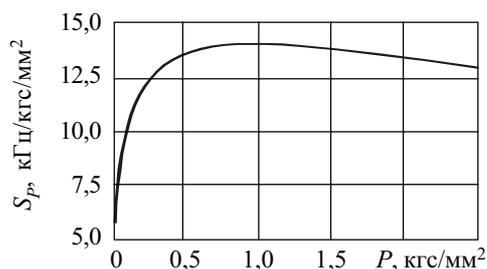


Рис. 5. Зависимость чувствительности S_p от давления

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

Выводы

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

Наибольшее ($13,75 \text{ кГц/кгс/мм}^2$) значение чувствительности 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.

Н. В. КАПИТАНОВ, А. И. КОПЫЛ, С. И. КОСОБУЦКИЙ,
к. ф.-м. н. В. В. РАЗИНЬКОВ, к. ф.-м. н. А. И. СЕРЕДЮК

Украина, г. Черновцы, СКБ “Электронмаш”, Институт термoelectricity; г. Киев, Институт проблем материаловедения
E-mail: vikhor@ukr.net

Дата поступления в редакцию
25.05 2004 г.

Оппонент д. т. н. А. Л. ВАЙНЕП
(НИИ “Шторм”, г. Одесса)

УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Пленочные термоэлектрические преобразователи представляют вполне пригодными для разработки и создания приборов дистанционного измерения температуры в различных областях.

Мировая и отечественная технология изготовления чувствительных элементов и схемотехника их применения насчитывает много примеров реализации дистанционных методов измерения температуры с помощью различного рода ИК-сенсоров [1]. В большинстве случаев в качестве чувствительного элемента-сенсора использовались изделия спецтехники в виде гомо- или гетероструктур на основе узкозонных полупроводников — халькогенидов свинца, твердых растворов типа Cd-Hg-Te, Pb-Sn-Te и др.

Попытки реализации ИК-радиометра на основе таких изделий показали (кроме значительной себестоимости) чувствительность к наводкам, ненадежность в работе вследствие температурной нестабильности, деградации параметров сенсора. Кроме того, применение подобных высокочувствительных сенсоров обычно требует низкочастотной модуляции радиационного потока и низкотемпературного термостатирования. Применение сенсоров на основе указанных структур имеет также ограниченный спектральный диапазон чувствительности, обусловленный шириной запрещенной зоны полупроводников.

Приведенные обстоятельства заставили обратиться к относительно “простым” и надежным термоэлектрическим сенсорам с низким выходным сопротивлением и высокой стабильностью во времени, в част-