



УДК 621.3.032  
doi:10.21685/2587-7704-2021-6-2-4



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Моделирование работы частотного преобразователя на основе полупроводникового тензомоста с учетом технологического разброса параметров

**Вадим Сергеевич Волков**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
vadimv\_1978@mail.ru

**Мария Сергеевна Конкина**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
myzochka@list.ru

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы учета технологического разброса параметров тензомоста частотного интегрирующего развертывающего преобразователя, состоящего из полупроводниковых тензорезисторов. Проведены расчеты аналитической зависимости частоты выходного сигнала при разбалансировке тензомоста с применением программного модуля для расчета аналитической зависимости частоты от температуры и деформации с учетом разброса параметров.

**Ключевые слова:** моделирование, имитационная модель, частотный интегрирующий развертывающий преобразователь, полупроводниковый тензомост, температурная погрешность

**Для цитирования:** Волков В. С., Конкина М. С. Моделирование работы частотного преобразователя на основе полупроводникового тензомоста с учетом технологического разброса параметров // Инжиниринг и технологии. 2021. Т. 6(2). С. 1–4. doi:10.21685/2587-7704-2021-6-2-4

## Modeling frequency converter based on a semiconductor strain gauge bridge, taking into account the technological variation in parameters

**Vadim S. Volkov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
vadimv\_1978@mail.ru

**Mariya S. Konkina**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
myzochka@list.ru

**Abstract.** The issues of accounting for the technological variation in parameters of the strain gauge bridge of a frequency integrating unfolding converter consisting of semiconductor strain gages are considered. Calculations of the analytical dependence of the frequency of the output signal during the imbalance of the strain gage are carried out using a software module for calculating the analytical dependence of the frequency on temperature and strain, taking into account the variation in parameters.

**Keywords:** modeling, simulation model, frequency integrating unfolding converter, semiconductor strain gauge, temperature error

**For citation:** Volkov V.S., Konkina M.S. Modeling frequency converter based on a semiconductor strain gauge bridge, taking into account the technological variation in parameters. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2021;6(2):1–4. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2021-6-2-4

В современных условиях эксплуатации датчиков физических величин большое внимание уделяется вопросам простоты в настройке, устойчивости в передаче и обработке измерительного сигнала.



ла, реализации комплексных задач измерения нескольких параметров, таких как температура, давление и др. Наибольшее распространение получили датчики тензорезистивного типа вследствие широкой области применения, относительно простой конструкции и удобства схемной реализации измерительной цепи [1].

Известно [2], что возникающая на этапе изготовления полупроводниковых тензорезисторов температурная погрешность приводит к отклонению от номинальных сопротивлений, а также к отклонению температурного коэффициента сопротивления (ТКС) и температурного коэффициента тензочувствительности (ТКЧ) от заданных значений. По этой причине наблюдается начальный разбаланс мостовой схемы, который эквивалентен наличию ненулевого входного сигнала. Возникает погрешность частоты следования импульсов на выходе частотного интегрирующего развертывающего преобразователя (ЧИРП) [2, 3].

Главный недостаток данного конструкторского решения заключается в температурной зависимости сопротивления и тензочувствительности полупроводниковых тензорезисторов, приводящей к дополнительной температурной погрешности [4, 5].

В связи с тем, что ранее предложенные технические решения, ориентированные на уменьшение дополнительной температурной погрешности ЧИРП, были сформулированы и реализованы для мостовых схем (МС) на основе металлопленочных тензорезисторов, необходимо проверить их эффективность при работе с мостовыми схемами на основе полупроводниковых тензорезисторов, учитывая значительную зависимость тензочувствительности полупроводников от температуры [4].

Рассмотрим тензопреобразователь, состоящий из МС, которая имеет в своем составе полупроводниковые тензорезисторы, интегратор на базе операционного усилителя ОУ<sub>1</sub> с емкостной отрицательной обратной связью, сравнивающее устройство СУ на базе ОУ<sub>2</sub> и дозирующий конденсатор С<sub>д</sub>, представленный на рис. 1.

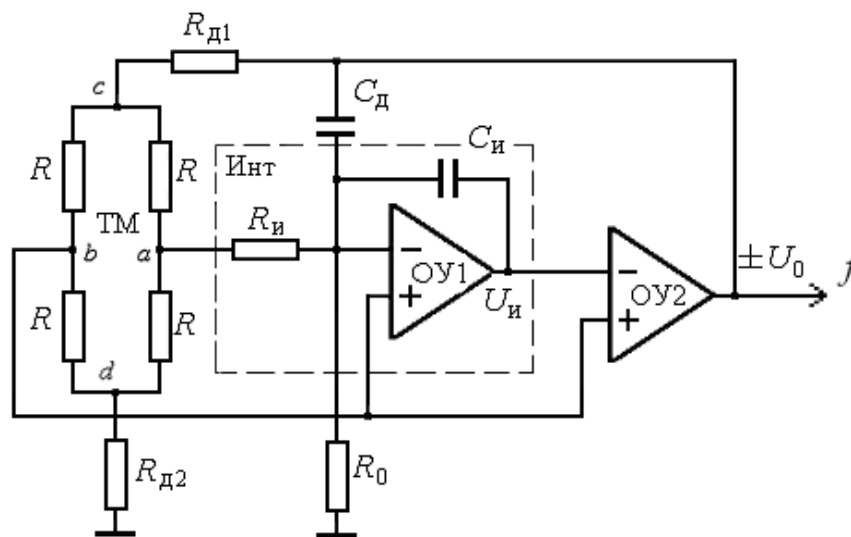


Рис. 1. Функциональная схема ЧИРП с мостовой схемой [2]

Известно, что вычисление аналитической зависимости частоты от температуры и деформации с учетом разброса параметров осуществляется по следующей формуле [6]:

$$f(\Delta T) = \frac{R1(\Delta T) \cdot R4(\Delta T) - R2(\Delta T) \cdot R3(\Delta T)}{4 \cdot C_d \cdot R_{i0} \cdot (R1(\Delta T) - R2(\Delta T)) \cdot (R3(\Delta T) - R4(\Delta T)) \cdot (\gamma \cdot \Delta T + 1)}. \quad (1)$$

Проведем расчеты аналитической зависимости частоты выходного сигнала при разбалансировке тензомоста вследствие технологического разброса параметров тензорезисторов с применением программного модуля для расчета аналитической зависимости частоты от температуры и деформации с учетом разброса параметров.

Для проведения расчетов выбран наихудший случай разброса параметров, при котором у тензорезисторов с положительным приращением сопротивления параметры дополнительно увеличены на 1 %, а у тензорезисторов с отрицательным приращением сопротивления уменьшены на 1 %.

Частота выходного сигнала ЧИРП при нормальной температуре и отсутствии разброса параметров полупроводниковых тензорезисторов принимает значение  $f_0 = 2,8 \cdot 10^3$ , интервал изменения



температуры  $\Delta T$  принимает значения от 0 до 100 °C с шагом, равным 1, а частота при разнице температур  $\Delta T$  с учетом заданного интервала составит  $f(\Delta T) = 3,003 \cdot 10^3$  [1, 6].

На рис. 2 представлены исходные параметры, а также расчет аналитической зависимости частоты от температуры и деформации с учетом разброса параметров.

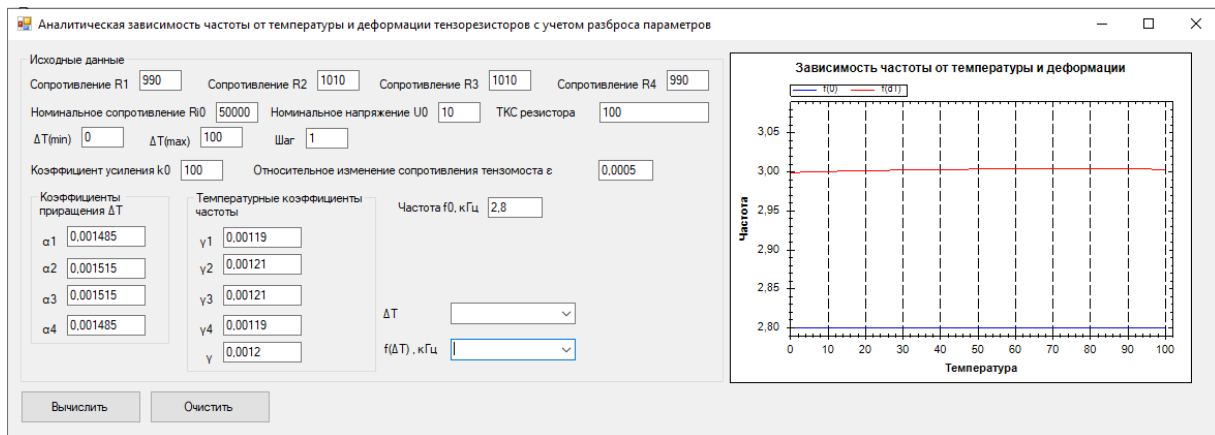


Рис. 2. Расчет аналитической зависимости частоты выходного сигнала ЧИРТ от температуры и деформации с учетом разброса параметров

Таким образом, с помощью моделирования работы частотного преобразователя на основе полупроводникового тензомоста с учетом технологического разброса параметров было подтверждено, что учет технологического разброса позволяет рассчитать значения аддитивной составляющей погрешности выходного сигнала  $\Delta 1 = 7,258 \%$  и мультипликативной составляющей погрешности выходного сигнала, равной  $\Delta 0 = 0,157 \%$  [1].

На основании полученных расчетов сделан вывод, что учет технологического разброса параметров при нормальной температуре и учет аналитической зависимости частоты от температуры и деформации с учетом разброса параметров для мостовой схемы ЧИРП, содержащей полупроводниковые тензорезисторы, дает возможность провести анализ конструкторских решений, позволяющих учитывать особенность полупроводниковых тензорезисторов.

### Список литературы

1. Volkov V. S., Konkina M. S. Modeling frequency integrating unfolding converter operation taking into account technological variation in parameters. – APITECH-II – 2020 // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). 2020. Vol. 1679. P. 042081 (1–6). doi: 10.1088/1742-6596/1679/4/042081
2. Громков Н. В. Интегрирующие развертывающие преобразователи параметров датчиков систем измерения, контроля и управления : монография. Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. 244 с.
3. Волков В. С., Кудрявцева Д. А., Вергазов И. Р. Современные направления развития преобразователей давления с частотным выходным сигналом // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2014. № 4 (10). С. 20–29.
4. Кучумов Е. В., Баринов И. Н., Волков В. С. Струнный автогенераторный измерительный преобразователь на основе пьезоструктуры // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2014. № 2 (8). С. 58–65.
5. Волков В. С., Рыблова Е. А. Исследование влияния концентрации легирующей примеси на температурную зависимость тензочувствительности полупроводниковых тензорезисторов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. № 2 (20). С. 40–47.
6. Волков В. С., Волкова Н. В., Конкина М. С. Анализ возможностей применения полупроводниковых тензорезисторов для построения частотных интегрирующих развертывающих преобразователей механических величин в частоту // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2020. № 2 (32). С. 58–64. doi: 10.21685/2307-5538-2020-2-7

### References

1. Volkov V.S., Konkina M.S. Modeling frequency integrating unfolding converter operation taking into account technological variation in parameters. – APITECH-II – 2020. *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*. 2020;1679:042081(1-6). doi: 10.1088/1742-6596/1679/4/042081
2. Gromkov N.V. *Integriruyushchie razvertyvayushchie preobrazovateli parametrov datchikov sistem izmereniya, kontrolya i upravleniya: monografiya = Integrating unfolding converters of sensor parameters for measurement, control and management Ssystems*. Penza: Izd-vo PGU, 2009:244. (In Russ.)



3. Volkov V.S., Kudryavtseva D.A., Vergazov I.R. The modern trends of pressure transducers with frequency output. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2014;4(10):20–29. (In Russ.)
4. Kuchumov E.V., Barinov I.N., Volkov V.S. Auto oscillating string transducer based on piezo structure. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2014;2(8):58–65. (In Russ.)
5. Volkov V.S., Ryblova E.A. The study of dopant concentration influence on the temperature dependence of gage factor for semiconductor strain gauges. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2017;2(20):40–47. (In Russ.)
6. Volkov V.S., Volkova N.V., Konkina M.S. The analysis of the possibilities of using semiconductor strain gages to build frequency integrating unfolding converters of mechanical values into frequency. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2020;2(32):58–64. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2020-2-7

**Поступила в редакцию / Received 01.06.2021**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 02.07.2021**

**Принята к публикации / Accepted 07.07.2021**