

## **USE OF INVERTER IN MICROELECTRONIC SENSORS**

**K. A. Ozhikenov<sup>1</sup>, P. G. Mikhailov<sup>2</sup>, A. O. Kassimov<sup>1</sup>, V. V. Scotnikov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh National Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Penza State Technological University, Penza, Russia

**Key words:** converter, sensor, microelectronic, micromechanical, feedback.

**Abstract.** Designs of inverters used in microelectronic sensors with feedback at the level of the sensing element are regarded. The methods of controlling the electrophysical parameters of the sensor elements and structures are analyzed. The principles of construction and design of inverters allow to define new ways of creating stabilized microelectronic sensors, which significantly improve the precision characteristics, expand the ranges and applications. It should be noted that the application field of compensating converters is one of the promising areas of microminiature micromechanical and microelectronic sensors.

УДК 681.586

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБРАТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКАХ**

**К. А. Ожикенов<sup>1</sup>, П. Г. Михайлов<sup>2</sup>, А. О. Касимов<sup>1</sup>, В. В. Скотников<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский Национальный технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

**Ключевые слова:** преобразователь, датчик, микромеханический, микроэлектронный, обратная связь.

**Аннотация.** Рассмотрены конструкции обратных преобразователей, используемых в микроэлектронных датчиках, имеющих обратные связи на уровне чувствительного элемента. Проанализированы методы управления электрофизическими параметрами элементов и структур датчиков.

Обеспечение стабильности датчиков всегда было одной из основных задач в измерительной технике и приборостроении. Особую актуальность эта задача приобрела в связи с созданием и развитием сложных автономных измерительных, и управляющих систем в космонавтике, энергетике, трубопроводном транспорте, охране важных объектов, экологии.

Более того, все современные информационно-измерительные системы, построенные с применением микропроцессоров, контроллеров и компьютеров, имеют в качестве источников первичной информации те же датчики контролируемых параметров процессов. И если их характеристики будут нестабильны, то ни какими программно-аппаратными средствами невозможно обеспечить информативность измерений и необходимое качество регулирования любых процессов.

Обеспечение стабильности датчиков является сложной комплексной задачей, включающей в себя: создание новых конструкций, разработку новых технологий формирования сенсорных структур, методов и средств контроля и испытаний, анализ отказов и дефектов датчиков в процессе эксплуатации и т.д.

Уникальные возможности по повышению стабильности, ресурса, надежности и расширению функциональных возможностей предоставляются разработчику датчиков при внедрении в них достижений микромеханики. Интеграция микромеханических конструкций чувствительных

элементов со схемами обработки, усиления и согласования позволяет качественно улучшить основные характеристики датчиков.

При решении проблем обеспечения стабильности целесообразно рассматривать датчик как систему, разные уровни которой, начиная с низового (атом, домен, кристалл, зерно) и заканчивая верхним (нормирующий преобразователь), охвачены постоянными и временными обратными связями (ОС) (рисунок 1).

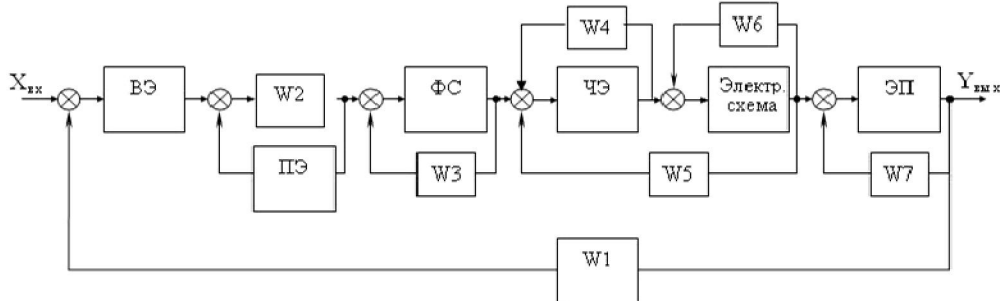


Рисунок 1 – Структурная схема микроэлектронного датчика с многоуровневыми обратными связями: ВЭ – воспринимающий элемент, ПЭ – передающий элемент, ФС – физическая среда, ЧЭ – чувствительный элемент, Электр. схема – электрическая схема, ЭП – электронный преобразователь,  $W_i$  – обратный преобразователь

Конструктивно постоянные ОС в форме обратных преобразователей (ОП) или схемотехнических элементов формируются в процессе или после изготовления элементов и структур датчиков, а временные функционируют только в течений времени проведения технологического процесса изготовления элементов датчика, например, при термообработке, диффузии, ионной имплантации и проч. [1, 2].

В датчиках, имеющих ОП, данным элементам уделяется особое внимание, так как от точности и стабильности параметров ОП зависят основные метрологические характеристики датчиков в целом [3].

Необходимо отметить, что для традиционных датчиков: электромагнитных, емкостных, потенциометрических и проч., которые изготавливаются с применением ручных операций, проблема изготовления и использования ОП решена довольно успешно [4]. Для нового же класса датчиков – микроэлектронных (МЭД), проблема разработки и формирования ОП в настоящее время решена только для емкостных микромеханических акселерометров, имеющих подвижный электрод и использующих в ОП электростатический метод преобразования [5].

Для твердотельных МЭД давления, температуры и иных параметров, не имеющих в своем составе подвижных элементов, вопросы разработки и применения ОП не нашли еще должного решения. В связи с этим, в таких датчиках для ОП предлагается использовать полевые методы управления.

Рассмотрим обобщенные конструкции ОП, работа которых основана на полевых методах управления, апробированные в МЭД силовых параметров. Обратные преобразователи использованы на различных уровнях МЭД, начиная от отдельных сенсорных элементов (тензорезисторы) и заканчивая измерительной системой. Принцип действия полевых ОП основан на том, что полупроводник по своей сути является функциональной средой, которой можно управлять, используя те или иные внешние воздействия.

Следует отметить, что при выборе ОП очень важными критериями являются их конструктивная и технологическая совместимость с конструкциями и технологиями формирования элементов и структур полупроводниковых чувствительных элементов МЭД.

Так на элементном уровне эффективными методами воздействия являются использование эффекта изменения проводимости тензорезисторов под действием внешнего электрического поля (рисунок 2). В этом случае управление сопротивлением тензорезисторов аналогично управлению проводимостью канала «исток-сток» в МДП-структурах [6]. Конструктивно один или несколько тензорезисторов мостовой схемы МЭД перекрываются алюминиевым экраном, на который подается напряжение с делителя, подключенного к выходным элементам схемы датчика.

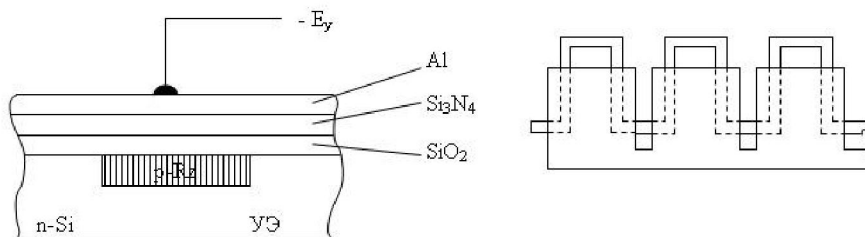


Рисунок 2 – Полевое управление тензочувствительными структурами:  
УЭ – упругий элемент,  $R_z$  – тензорезистор,  $E_y$  – управляющее напряжение

Еще одним из методов управления, используемого в ОП МЭД, может служить эффект фоточувствительности диффузионных резистивных структур (рисунок 3).

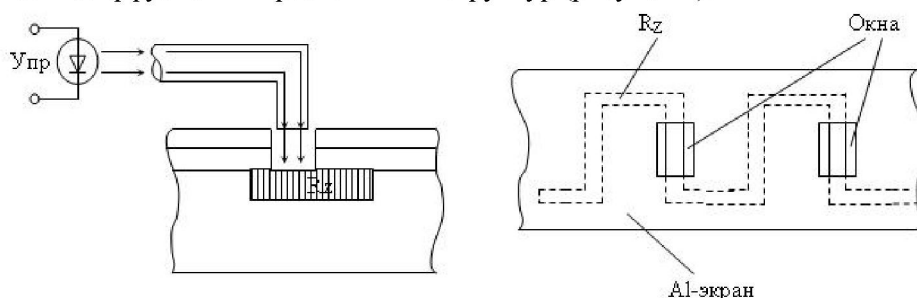


Рисунок 3 – Обратные преобразователи, использующие эффект фоточувствительности тензорезистивных структур:  
Упр – управляющий сигнал

Данный метод предполагает использование оптического излучения, подаваемого через планарный или дискретный световод на отдельные участки тензорезисторов. Вследствие наличия в кремнии внутреннего фотоэффекта при облучении неэкранированного участка диффузионной структуры его проводимость увеличивается.

Зависимость основных параметров МЭД от температуры, можно также использовать при синтезе ОП. В частности, на рисунке-4 приведены примеры ОП, действие которых основано на создании в объеме или на поверхности сенсорных элементов градиентных температурных полей. Нагрев или охлаждение отдельных участков, а также всего чувствительного элемента осуществляется с помощью диффузионных нагревателей (рисунок 4,а) или элементов тепла и холода (элемент Пельтье) (рисунок 4,б).

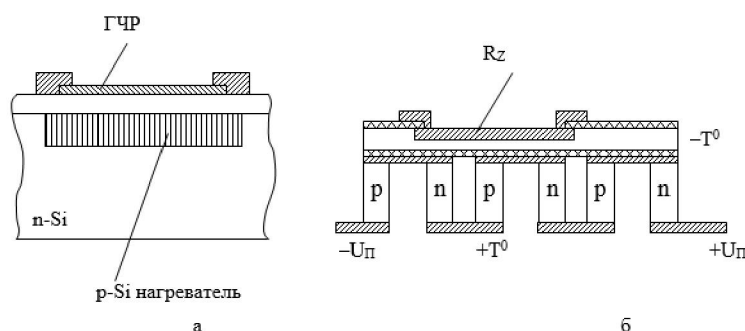


Рисунок 4 – Структуры МЭД, использующие тепловые обратные преобразователи:  
 $U_{п}$  – напряжение питания,  $R_z$  – тензорезистор, ГЧР – газочувствительный резистор на основе  $SnO_2$

Применяя комбинированные методы, предполагающие использование тепловых преобразователей и полипленочных композиций, формируемых на чувствительном элементе, можно достаточно эффективно управлять деформациями всего ЧЭ или его отдельных участков [7, 8]. Варьирование параметрами таких ОП возможно путем выбора температурных коэффициентов расширения (ТКР) отдельных пленок (рисунок 5).

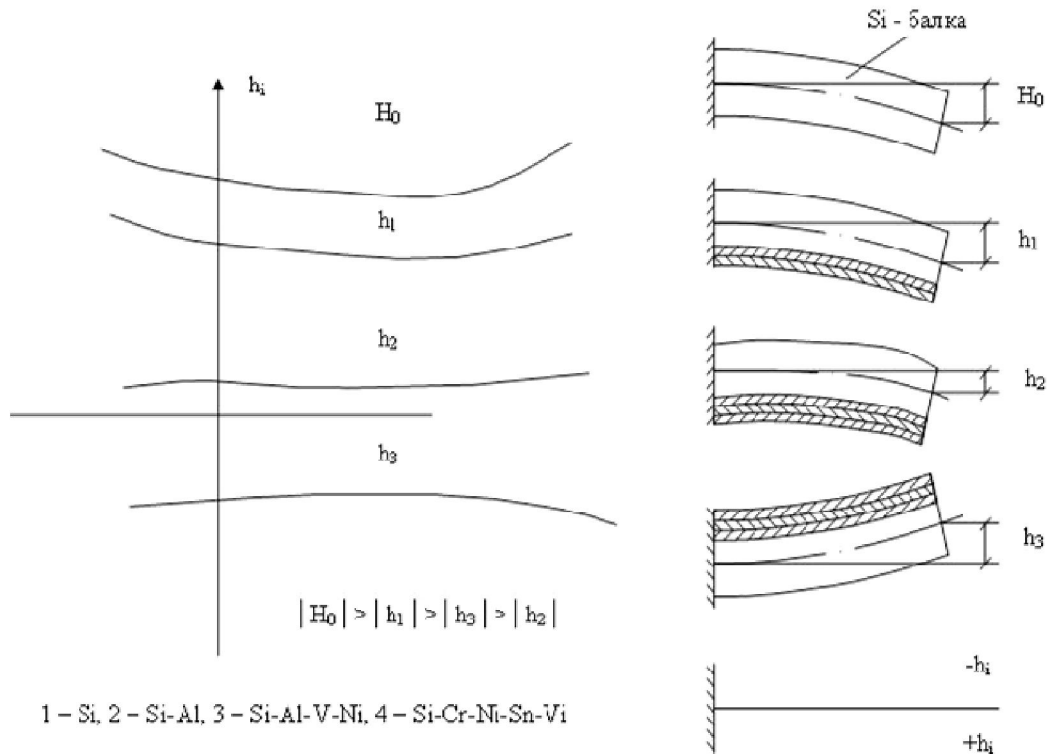


Рисунок 5 – Обратный преобразователь, основанный на использовании полипленочных композиций

В частности, выбирая соответствующие пары материалов, имеющих значительные различия в КТР, например, металл и керамика, металл-окисная пленка при нагреве или охлаждении структуры с помощью встроенных пленочных нагревателей или элементов Пельтье, можно деформировать упругий элемент и расположенные на нем сенсорные элементы.

На рисунках 6 и 7 приведены примеры конкретных МЭД, в которых использованы предлагаемые полевые ОП.

На рисунке 6 приведена структурная схема металлопленочного МЭД силовых параметров, у которого на поверхности упругого элемента сформированы пленочные структуры, служащие для компенсации влияния температуры измеряемой среды на характеристики датчика.

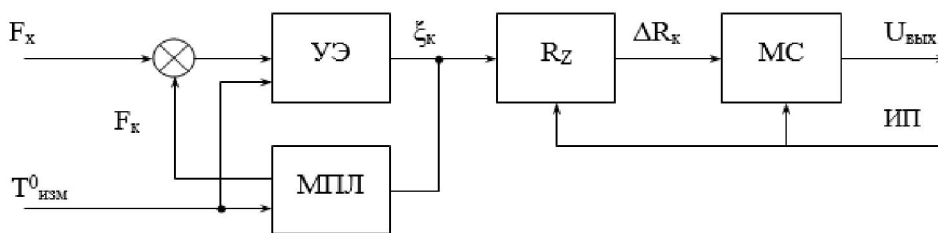


Рисунок 6 – Структурная схема МЭД силовых параметров с термокомпенсационными металлопленками: МПЛ – металлические пленки, R<sub>Z</sub> – тензорезистор, ИП – источник питания, F<sub>к</sub> – компенсирующая сила, F<sub>х</sub> – измеряемая сила, T<sup>0</sup><sub>изм</sub> – температура измеряемой среды

На рисунке 7 приведены функциональная и структурная схемы виброчастотного МЭД давления, в упругом элементе которого с помощью диффузионного нагревательного резистора возбуждаются резонансные колебания.

Таким образом, разработанные принципы построения и конструкции ОП дают возможность наметить новые пути создания стабилизированных МЭД, позволяющие существенно повысить точностные характеристики, расширить диапазоны измерений и области применения. Следует отметить, что применение полевых компенсирующих преобразователей является одним из перспективных направлений развития микроминиатюрных и микромеханических МЭД.

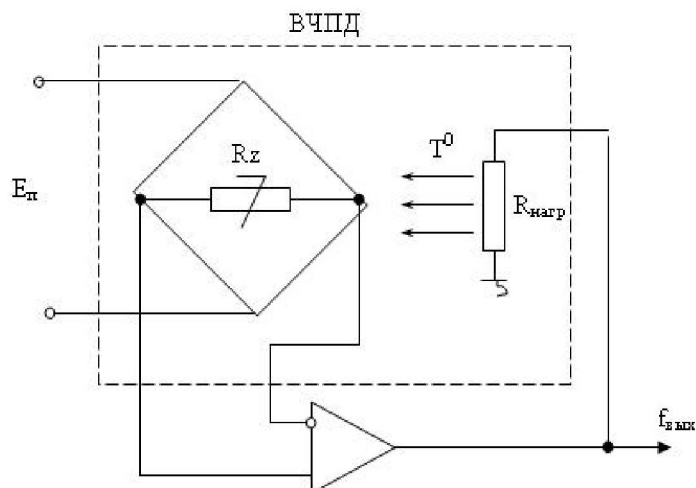


Рисунок 7 – Виброчастотный МЭД: ВЧПД – виброчастотный преобразователь давления, УЭ – упругий элемент, МС – мостовая схема,  $R_z$  – тензорезистор,  $R_{нагр}$  – резистивный нагреватель, У – усилитель,  $f_{вых}$  – выходной частотный сигнал,  $\Delta R$  – изменение сопротивления,  $P_x$  – измеряемое давление,  $E_{п}$  – напряжение питания,  $T^0$  – температура нагрева,  $U_x$  – выходное напряжение с мостовой схемы,  $\xi_x$  – деформация

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михайлов П.Г. Стабильность микроэлектронных датчиков и технологий (монография). – Пенза: ПГУ, 2003. – 231 с.
- [2] Михайлов П.Г. Микроэлектронные датчики: вопросы разработки // Микросистемная техника. – 2003. – № 1. – С. 4-7.
- [3] Левшина Е. С., Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин // Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.
- [4] Датчики теплофизических и механических параметров: Справочник под ред. Багдатьяева Е.Е., Горипа А.В., Малкова Я.В. – В 2-х томах. – М.: ИПРЖР, 1998.
- [5] Кудряшов Э.А. Моделирование частотных характеристик емкостных интегральных акселерометров // Датчики и системы. – 1999. – № 1. – С. 25-28.
- [6] Викулин Н.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Радио и связь, 1990.
- [7] Михайлов П.Г. Методы управления механическими напряжениями в сенсорных элементах и системах микроэлектронных датчиков // Sensors & Systems. – 2004. – № 9. – С. 10-12.
- [8] А. с. (СССР) 626374 МКИ G 01 L 1/22 Чувствительный элемент преобразователя неэлектрических величин // Михайлов П.Г., Богонин В.В., Матвеев А.К. – Опубл. 1978.

#### REFERENCES

- [1] Mikhailov P.G. Stability microelectronic sensors and Technology (monograph). Penza: PSU, 2003. 231 p.
- [2] Mikhailov P.G. Microelectronic sensors: design issues. Microsystems Engineering. 2003. N 1. S. 4-7.
- [3] Levshina E.S., Novitsky P.V. Electrical measurements of physical quantities. Transducers. L.: Energoatomizdat, 1983.
- [4] Sensors of thermal and mechanical parameters: Handbook ed. Bagdatyev EE, Gorishi A.V. Malkov, Y. 2 vols. M.: IPRZHR, 1998.
- [5] Kudryashov E.A. Simulation of the frequency characteristics of capacitive integral accelerometers. Sensors and Systems number. 1999. N 1. P. 25-28.
- [6] Vikulin N.M., Stafeyev V.I. Physics of semiconductor devices. M.: Radio and Communication, 1990.
- [7] Mikhailov P.G. Methods of control of mechanical stresses in the sensor elements and systems microelectronic sensors. Sensors & Systems. 2004. N 9. P. 10-12.
- [8] A. p. (USSR) 626374 IPC G 01 L 1/22 sensing element Transducers. Mikhailov P.G., Bogonin V.V. Matveev A.K. Publ. in 1978.

### МИКРОЭЛЕКТРОНДЫҚ ДАТЧИКТЕРДЕГІ ҚАРАМА-ҚАРСЫ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРДІҢ ҚОЛДАНҒЫШТЫҒЫ

К. А. Ожикенов, П. Г. Михайлов, А. О. Касимов, В. В. Скотников

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Пенза мемлекеттік технологиялық университеті, Пенза, Ресей

**Тірек сөздер:** түрлендіргіш, датчик, микроэлектрондық, микромеханикалық, кері байланыс.

**Аннотация.** Сезімтал элементтің деңгейінде кері байланысы бар микроэлектрондық датчиктерде қолданылатын кері түрлендіргіштердің құрылымдары қарастырылады. Датчиктердің элементтері мен құрылымдарының электрофизикалық параметрлерін басқарудың әдіс-тәсілдері сарапталады.

Поступила 23.10.2014 г.