

*А. В. Майоров, А. В. Мальшев*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСТОЧНИКА ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА СИСТЕМУ ИЗМЕРЕНИЯ АБСОЛЮТНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКОВ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ТИПА

*A. V. Mayorov, A. V. Malyshev*

## A STUDY OF THE INFLUENCE OF THE VOLTAGE REFERENCE OF THE SYSTEM ABSOLUTE PRESSURE MEASUREMENT BASED ON SENSORS PIEZORESISTIVE TYPE

**А н н о т а ц и я.** *Актуальность и цели.* Одним из способов повышения метрологических характеристик систем измерения абсолютного давления является усовершенствование источника опорного напряжения (ИОН), входящего в состав вторичного преобразователя системы. С целью улучшения метрологических характеристик системы измерения абсолютного давления разработан ИОН, отличающийся применением полностью отечественной элементной базы. *Материалы и методы.* Авторами были использованы методы исследования, преобразования измерительной информации, математического моделирования и натурные испытания. *Результаты.* Рассмотрена и решена задача улучшения метрологических характеристик системы измерения абсолютного давления путем внедрения разработанного ИОН, построенного полностью на отечественной элементной базе. Экспериментально показано, что разработанный ИОН превосходит зарубежные аналоги по ряду основных метрологических характеристик, кроме того, его внедрение в системы измерения абсолютного давления является целесообразным. *Выводы.* Использование разработанного ИОН во вторичном преобразователе позволяет отказаться от использования зарубежной элементной базы, обеспечить более высокую вероятность безотказной работы и уменьшить влияние дестабилизирующих факторов, таких как нестабильность выходного напряжения по времени, нестабильность выходного напряжения по температуре и т.д., на систему в целом.

**A b s t r a c t.** *Background.* One of the ways to improve the metrological characteristics of the measuring systems absolute pressure, is the improvement of the reference voltage (ION), part of the secondary transducer system. With the aim of improving the metrological characteristics of the measurement system absolute pressure developed by ION, characterized by the use of completely domestic components. *Materials and methods.* The Authors used research methods, transformation of measurement data, mathematical modeling and field tests. *Results.* Reviewed and resolved the task of improving the metrological characteristics of the measurement system absolute pressure, by introducing designed ION built completely on domestic element base. It is experimentally shown that the developed ION exceeds the foreign analogues in a number of key metrological characteristics, in addition, its implementation in a system absolute pressure measurement is appropriate. *Conclusions.* The use of the developed ION secondary Converter allows you to refuse the use of foreign element base, provide a higher proba-

bility of failure (FBG) and to reduce the influence of destabilizing factors, such as instability of output voltage in time, the instability of the output voltage according to the temperature etc., the system as a whole.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** датчик абсолютного давления, погрешность преобразования, вторичный преобразователь, система измерения абсолютного давления.

**К e y w o r d s:** sensor, error of conversion, the secondary transducer system for measuring absolute pressure.

Современное развитие специальной техники, к которой относят ракетно-космическую технику, вооружение и военную технику, авиацию, двигателестроение, изделия для атомной энергетики и т.п., во многом зависит от технического уровня информационно-измерительных и управляющих систем [1, 2], качество и технико-экономические показатели которых определяются использованной в них датчиково-преобразующей аппаратурой.

Авторами разработана система измерения абсолютного давления (СИАД), отличающаяся улучшенными метрологическими характеристиками, применением полностью отечественной элементной базы и наличием цифрового токового интерфейса связи. Повышенная надежность разработанной системы обеспечивается наличием трех каналов связи, каждый из которых имеет отдельные первичный и вторичный преобразователи с независимыми внешними интерфейсами связи [3].

Конструктивно и схемотехнически каждый канал связи системы состоит из тензометрического датчика (первичного преобразователя) и вторичного преобразователя, структурная схема приведена на рис. 1.

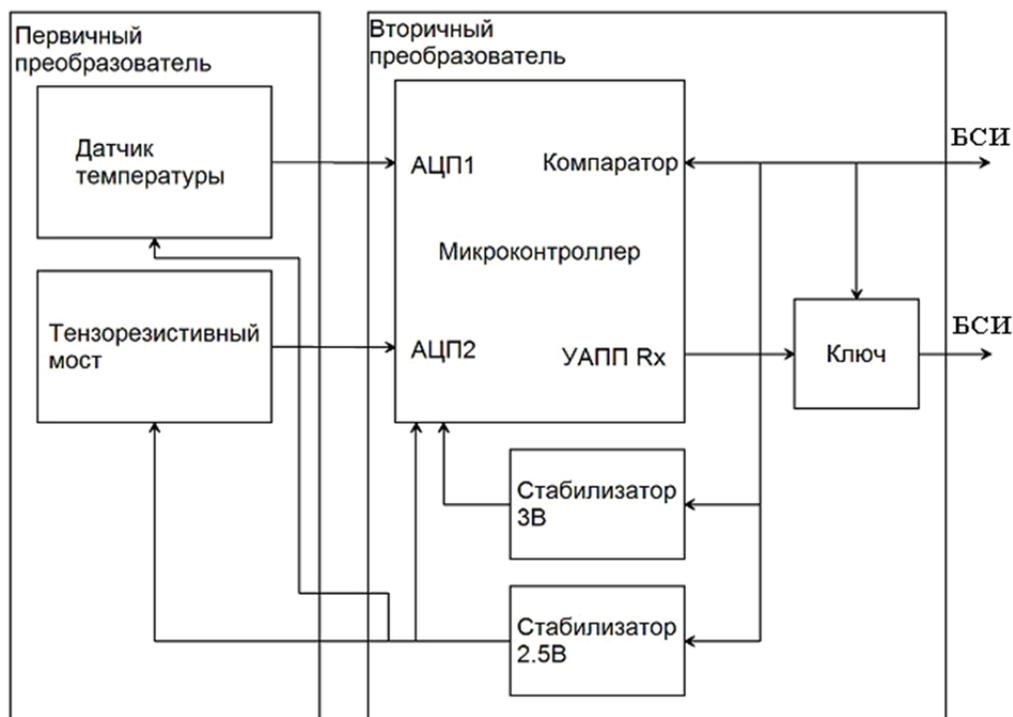


Рис. 1. Структурная схема канала связи системы измерения абсолютного давления

Первичные преобразователи отдельных каналов системы изготовлены в едином технологическом цикле на единой подложке с последующим объединением в единый блок, что позволяет снизить массогабаритные параметры системы и повысить вероятность безотказной работы (ВБР) по сравнению с вариантом изготовления первичных преобразователей в качестве отдельных модулей.

Снижение энергопотребления, а также массогабаритных параметров вторичных преобразователей достигается путем построения их на основе 32-разрядных микроконтроллеров типа 1986BE4У производства АО ПКК «Миландр» (г. Зеленоград). Микроконтроллеры указанного типа построены на основе ядра Cortex M0, благодаря чему имеют низкое энергопотребление (не более 22 мА в активном режиме). Кроме того, они имеют в своем составе аналоговые блоки восьми 24-разрядных сигма-дельта аналого-цифровых преобразователей (АЦП) с дифференциальными входами, дифференциальные усилители с программируемым коэффициентом усиления, восемь каналов 12-разрядного АЦП последовательного приближения [4].

Выбор указанного типа микроконтроллера позволяет отказаться от использования внешних аналоговых блоков АЦП и инструментальных усилителей, подключив тензорезистивный мост и датчик температуры непосредственно к дифференциальным аналоговым входам, а также снизить общее энергопотребление датчиков и, как следствие, всей СИАД в целом.

Алгоритмы цифровой обработки сигналов, заложенные в программное обеспечение микроконтроллера, реализуют компенсацию составляющих основной погрешности (аддитивная и мультипликативная составляющие, составляющая, обусловленная интегральной нелинейностью) посредством табличного метода. Компенсация температурных погрешностей осуществляется с помощью массива данных, являющегося функцией зависимости от температуры, заданных таблично.

Данные о температуре блока первичных преобразователей поступают на микроконтроллер с датчика температуры резистивного типа, конструктивно размещенного на единой подложке с тензорезистивным мостом.

Коррекция основных и дополнительных погрешностей посредством встроенного программного обеспечения микроконтроллера канала разработанной СИАД позволяет отказаться от настройки системы управления двигателем (в случае использования разработанной авторами СИАД в составе системы управления двигателем) под конкретные датчики. Это позволяет осуществлять замену СИАД без проведения дополнительных операций настройки всей системы управления двигателем, что также повышает ВБР системы управления двигателем ввиду снижения ошибок субъективного характера. Необходимые для осуществления коррекций табличные данные, хранящиеся в памяти микроконтроллера, могут быть рассчитаны самим микроконтроллером при проведении операций настройки и регулировки либо загружены извне посредством цифрового токового интерфейса связи.

Для организации питания цифровой части вторичного преобразователя датчика используется интегральный стабилизатор напряжения на основе микросхемы типа 1334ЕН3.3Т производства ОАО «Воронежский завод полупроводниковых приборов – Сборка» [5]. Выбор вышеуказанного интегрального стабилизатора обусловлен необходимостью получения минимальных массогабаритных параметров. С целью решения известной проблемы повышенного уровня пульсаций выходного напряжения источников подобного типа (серии 78XX, 79XX и аналогичные) выход стабилизатора напряжения дополнительно нагружен на резистор сопротивлением 3,3 КОм. Для стабилизации питания тензорезистивного моста и аналоговых блоков микроконтроллера авторами разработан и применен источник опорного напряжения, фрагмент схемы электрической принципиальной которого приведен на рис. 2. Основой разработанного источника опорного напряжения является термокомпенсированный стабилитрон типа 2С198 [6]. Для задания стабильного тока через стабилитрон использовано токовое зеркало Уилсона [7], построенное на элементах VT1–VT3, R1. Ввиду того, что примененные термокомпенсированные стабилитроны имеют напряжение стабилизации 9,8 В, для задания необходимого уровня напряжения источника использован резистивный делитель лестничного типа на элементах R2, R3, в качестве которых применены полупрецизионные резисторы типа С2-29 [8]. С целью снижения влияния тока потребления на значение выходного напряжения источника применена буферизация посредством прецизионного операционного усилителя типа 140УД17 [9].

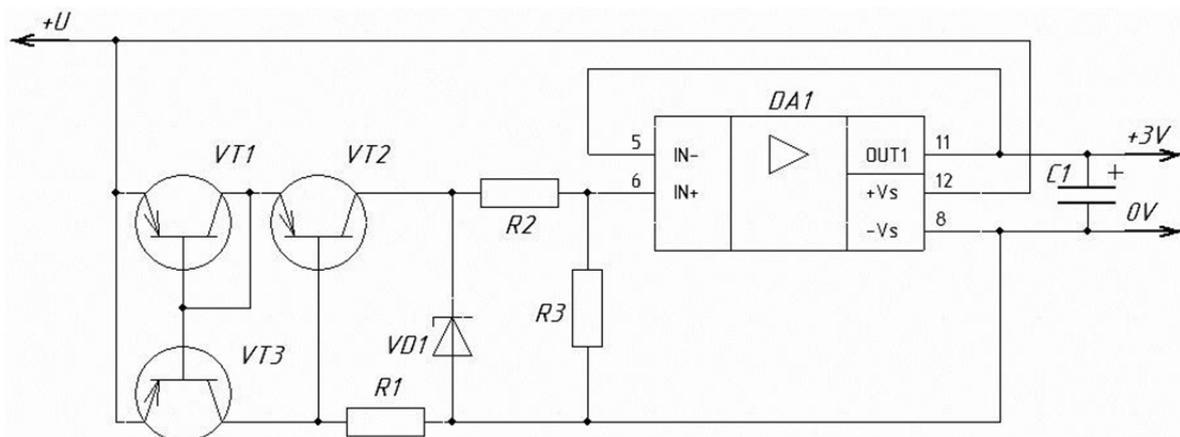


Рис. 2. Фрагмент схемы электрической принципиальной системы, поясняющий принцип построения источника опорного напряжения

Авторами проведена серия экспериментов по определению параметров разработанного источника опорного напряжения. Сравнительные метрологические характеристики разработанного авторами источника опорного напряжения и источников опорного напряжения импортного производства типа AD780, TL431 приведены в табл. 1 [10, 11].

Таблица 1

Сравнение метрологических характеристик разработанного источника опорного напряжения и источников опорного напряжения типа AD780, TL431

Источник опорного напряжения	Разработанный источник опорного напряжения	AD780	TL431
Напряжение стабилизации, В	1–6, задается при настройке	2,5 или 3, фиксированное	2,5
Допуск на номинальное значение выходного напряжения, %	$\pm 0,05$	$\pm 0,2$	$\pm 0,06$
Нестабильность выходного напряжения по времени, ppm/c	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 30$
Нестабильность выходного напряжения по температуре, ppm/°C	$\pm 2$	$\pm 7$	$\pm 7$
Диапазон рабочих температур, °C	-50 ... +50	-50 ... +50	-50 ... +50
Ток короткого замыкания, mA	10 mA, ограничен типом примененного ОУ	30	30
Диапазон входного напряжения, В	10 ... 30	4 ... 36	4 ... 36
Собственный ток потребления, mA	Не более 3	Не более 1,5	Не более 0,5
Максимальный ток нагрузки, mA	Ограничен примененным операционным усилителем	10	10

Применение схемотехнических решений подобного рода при построении источника опорного напряжения продиктовано необходимостью получения высокой стабильности его выходного напряжения как по времени, так и по температуре (при использовании полностью отечественной элементной базы).

Внешний интерфейс связи датчика представляет собой цифровую токовую петлю, которая используется одновременно для питания всех блоков и узлов датчика посредством организации обратной цепи питания. При приеме данных для детектирования уровней на линии используется встроенный компаратор микроконтроллера, подключенный к линии посредством резистивного делителя лестничного типа.

К выходу приемопередатчика подключен электронный ключ на биполярном транзисторе типа 2Т3130А9 [12] с последовательно включенным источником тока, который необходим для задания необходимых уровней тока на линии при передаче.

Внедрение разработанного источника опорного напряжения в систему измерения абсолютного давления на основе датчиков тензорезистивного типа позволяет улучшить выходные параметры информационно-измерительной системы в целом.

Разработанный авторами ИОН отличается от существующих аналогов улучшенными метрологическими характеристиками и применением полностью отечественной элементной базы. Проведенная серия экспериментов доказывает, что разработанный ИОН может быть использован для построения систем подобного рода и является хорошей заменой известных аналогов зарубежного производства.

#### *Библиографический список*

1. Дмитриенко, А. Г. Тенденции развития датчиков, преобразователей и на их основе систем измерения, мониторинга и контроля технически сложных объектов ракетно-космической техники / А. Г. Дмитриенко, А. В. Блинов, А. Н. Трофимов, А. А. Трофимов // Датчики и системы. – 2012. – № 9. – С. 4–6.
2. Дмитриенко, А. Г. Разработка унифицированных конструкций датчиков для перспективных систем измерения и контроля специальной техники / А. Г. Дмитриенко, А. Н. Трофимов, А. А. Трофимов // Измерительная техника. – 2010. – № 10. – С. 19–22.
3. О правительственной комиссии по импортозамещению: постановление Правительства РФ от 4 августа 2015г. № 785. – URL: <http://zimport.ru/it/>
4. Спецификация на микроконтроллеры серии 1986BE4. – URL: <http://www.milandr.ru/index.php?mact=Products,cntnt01,details,0&cntnt01productid=275&cntnt01returnid=68>
5. Москатов, Е. А. Справочник по полупроводниковым приборам / Е. А. Москатов. – 2-е изд. – Таганрог, 2005. – 219 с.
6. Спецификация на прецизионные термокомпенсированные стабилитроны типа 2С198. – URL: <http://www.nzpp.ru/product/page23.php>
7. Хоровиц, П. Искусство схемотехники : в 3 т. : пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. – 3-е изд., стереотип. – М. : Мир, 1993. – Т. 1. – 413 с.
8. ГОСТ 29035–91. Постоянные резисторы для электронной аппаратуры. – М., 1991.
9. Спецификация на прецизионный операционный усилитель типа 140УД17. – URL: <http://www.voshod-krlz.ru/files/datasheets/K140UD17A.pdf>
10. Спецификация на источник опорного напряжения импортного производства типа AD780. – URL: <http://www.kontest.ru/catalog/item/249241>
11. Спецификация на источник опорного напряжения импортного производства типа TL431. – URL: <http://www.joyta.ru/4883-primeneniye-reguliruemogo-stabilitrona-tl431/>
12. Спецификация на транзистор типа 2Т3130А9. URL: <http://www.eandc.ru/catalog/detail.php?ID=17968>

---

#### **Майоров Артем Вячеславович**

инженер-конструктор,  
Научно-исследовательский институт  
физических измерений  
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)  
E-mail: niifi@sura.ru

#### **Mayorov Artyom Vyacheslavovich**

design engineer,  
Scientific-research Institute  
of physical measurements  
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

#### **Мальшев Андрей Владимирович**

инженер-регулирующий,  
Научно-исследовательский институт  
физических измерений  
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)  
E-mail: niifi@sura.ru

#### **Malyshev Andrey Vladimirovich**

operator,  
Scientific-research Institute  
of physical measurements  
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

---

УДК 621.317.3

**Майоров, А. В.**

**Исследование влияния источника опорного напряжения на систему измерения абсолютного давления на основе датчиков тензорезистивного типа / А. В. Майоров, А. В. Мальшев // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 3 (21). – С. 12–17. DOI 10.21685/2307-5538-2017-3-2.**