

СЕРИЯ ДАТЧИКОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ D6F-PH ОТ OMRON. ЧАСТЬ 1. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

СТАНИСЛАВ КОСЕНКО
ОЛЕГ МИХЕЕВ
МАКСИМ ФЕДОТОВ
ИВАН НЕКРАСОВ
omron@ptelectronics.ru



В марте прошлого года компания Omron Electronic Components BV представила серию цифровых датчиков дифференциального давления D6F-PH, обеспечивающих высокую точность и повторяемость измерений таких параметров низкоскоростных воздушных потоков, как давление и расход. Превосходная чувствительность и способность производить измерения в различных газовых потоках позволяют использовать новые приборы в высококачественном медицинском, химико-технологическом оборудовании и в научных исследованиях.

Благодаря цифровой технологии основная опция измерения давления в датчиках серии D6F-PH может дополняться измерением расхода воздушного (газового) потока и его температуры, а по заявке заказчика — даже детектированием аварийной ситуации по достижении температурой заданного порогового значения. Такие результаты конструирования электронных приборов, предназначенных для измерения и управления параметрами физической среды, невозможно было бы получить вне сферы стремительно развивающихся в настоящее время технологий проектирования и производства микроэлектромеханических систем (МЭМС, или Microelectromechanical Systems, MEMS).

МЭМС ИЛИ НЕ МЭМС?

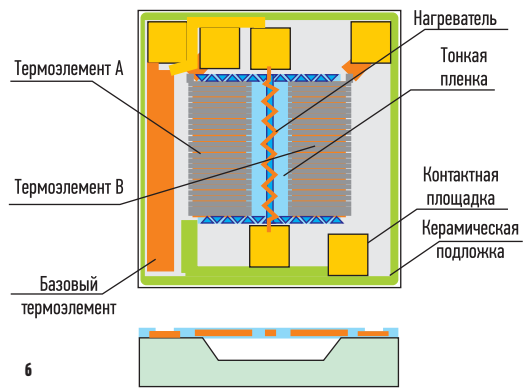
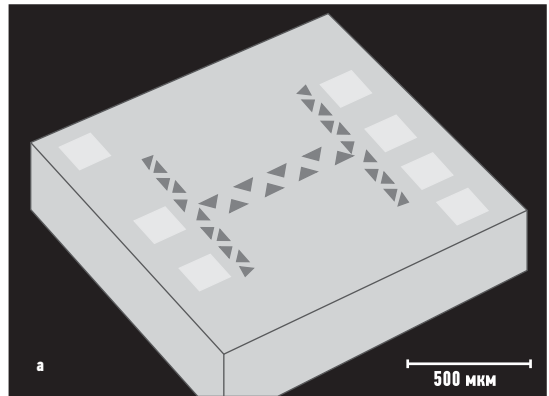
Как и любой продукт МЭМС-технологий, датчик дифференциального давления от Omron представляет собой микросистему, объединяющую два самостоятельных компонента. Первый из них — исполненный на отдельном кристалле измерительный элемент, преобразующий контролируемые параметры физической среды в некоторый электрический сигнал. Второй — специализированная интегральная микросхема (Application Specific Integrated Circuit, ASIC), осуществляющая обработку входного и формирование выходного сигнала, содержащего информацию об измеряемом параметре.

Микрофотоснимок измерительного элемента в датчике (рис. 1а) иллюстрирует реальные размеры и топологию размещения (рис. 1б) его составных частей. Трудно представить себе, что столь совершенная измерительная система имеет габариты всего лишь 1,25×1,25×0,4 мм! При внимательном изучении рисунка в центре кристалла можно видеть выполненный по тонкопленочной технологии нагревательный элемент, о котором речь пойдет позже, и три независимых термоэлемента — А, В и базовый. Выводы этих элементов соединены с показанными на рисунке контактными площадками, предназначенными для подключения к специализированной микросхеме ASIC. Тонкая подложка измерительного элемента для обеспечения требуемой стойкости к механическим

и вибрационным воздействиям соединена с керамическим основанием. В нижней части рис. 1б представлено поперечное сечение измерительного элемента, где видно, что в центральной части основания под нагревательным и термочувствительными элементами вытравлена полость, снижающая охлаждающее воздействие основания на измерительный элемент при его нагреве.

Как упоминалось выше, процесс принудительного нагрева контролируемой датчиком физической среды положен в основу действия прибора и ужесточает условия его функционирования, что связано с возникающими механическими напряжениями композитных материалов и деградацией электрических свойств незащищенных токонесущих элементов. Поэтому важно оградить измерительный элемент и от возможной химической агрессивности среды. Защитные свойства измерительного узла обеспечивают не только показанный на рисунке изолирующий слой поверх токонесущих элементов, но и используемая в компании Omron технология производства МЭМС-датчиков дифференциального давления и других продуктов аэрокосмического назначения, соответствующих самым жестким требованиям эксплуатации.

Отметим, что функционально завершенный датчик помещен производителем в исключительно компактный корпус с габаритами всего лишь 26×22×18 мм, причем со встроенными в нем чипами он мог бы быть существенно меньше, если бы не потребовались некоторые ухищрения, необходимые при конструировании конфигурации измерительного воздушного обводного канала. Отдельно данная особенность датчика будет описана далее.



ПРИНЦИП ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Типовая схема применения датчика дифференциального давления представлена на рис. 2, где стрелкой показано направление движения газа (воздуха) в основном канале. При этом давление на входе диафрагмы обозначено через P_1 , на выходе — P_2 . Для измерения дифференциального давления обводную трубку со входа диафрагмы подключают к патрубку датчика с индексом «+», с выхода — с индексом «-». Тогда измеряемое дифференциальное давление составит величину $\Delta P = P_1 - P_2$. Если обводные трубки подключить к измери-

РИС. 1. ▲ Конструкция измерительного элемента D6F-PH

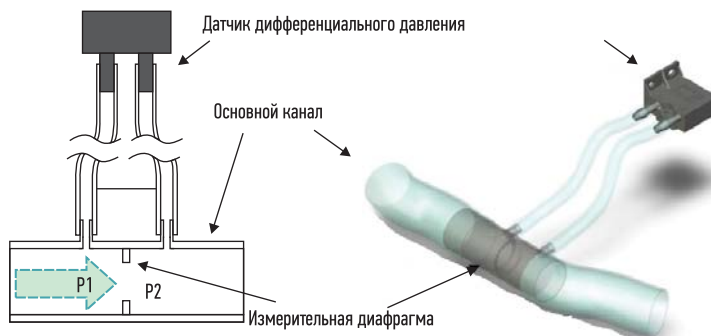


РИС. 2. ◀ Типовая схема применения датчика дифференциального давления

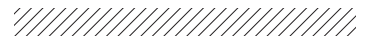
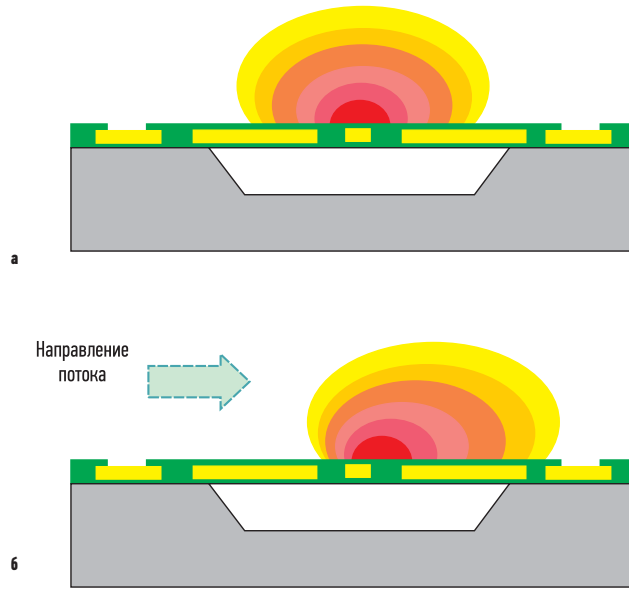


РИС. 3. ►
Измерение дифференциального давления на основе перераспределения температурного поля, создаваемого нагревательным элементом в датчике D6F-PH



тельной диафрагме наоборот, датчик покажет результат измерения со знаком минус. Чтобы результат измерения перепада давления соответствовал истинному значению с точностью до знака, изначальное подключение обводных трубок с высоким и низким давлением должно соответствовать вышеуказанному правилу.

Принцип измерения дифференциального давления иллюстрирует рис. 3, показывающий распределение температурного поля в рабочем пространстве датчика, поперечное сечение конструкции которого пояснялось на рис. 16. На рис. 3а видно,

что в отсутствие движения воздуха в измерительном канале температурное поле симметрично относительно нагревательного элемента, следовательно, выходное напряжение на термоэлементах А (со стороны плюсового патрубка) и В (минусового) одинаково, их разность равна нулю. При возникновении движения воздуха в измерительном канале перпендикулярно оси нагревательного элемента (рис. 3б) температурное поле перераспределяется, при этом больший нагрев термоэлемента В вызывает возрастание напряжения на его выводах и, соответственно, мень-

ший нагрев термоэлемента А приводит к уменьшению его выходного напряжения. Следовательно, разность напряжений на выводах термоэлементов А и В позволяет определить дифференциальное давление в основном канале транспортируемого воздуха (газа), зная сечение канала, и расход. Такую расчетную задачу обработки данных измерения выполняет упомянутая ранее специализированная микросхема, соединенная с выводами измерительного датчика.

По своей сути данная специализированная микросхема является однокристалльной микро-ЭВМ, содержащей все необходимые для ее функционирования элементы — процессор, оперативную и долговременную память с «защитой» в ней управляющей программой, регистры хранения и обработки информации, аналого-цифровые преобразователи, интерфейс обмена информацией с внешней ЭВМ и др. Подробнее со структурой микро-ЭВМ и форматом цифровых данных, используемых в датчике, можно ознакомиться в источнике [2].

Цифровая обработка информации в датчике дифференциального давления позволяет программно устранить показанную на рис. 4 нелинейную зависимость выходного напряжения, формируемого измерительной частью. Вследствие теплового механизма проведения измерений результат нелинейно зависит как от скорости измеряемого потока, так и от колебаний температуры воздуха в некотором интервале ΔT , как это обозначено на рисунке. Основываясь на дополнительных данных, получаемых от базового термоэлемента (рис. 16), микро-ЭВМ линеаризует требуемую зависимость и выполняет температурную коррекцию с погрешностью выходных данных не хуже $\pm 3\%$. Причем выходные данные формируются в виде последовательного цифрового потока формата I²C.

Результаты исследования устойчивости к пылевому загрязнению контролируемой среды датчиков дифференциального давления от различных производителей изложены в статье [3], где показано влияние не только конструктивного исполнения прибора на живучесть подобных изделий, но и их ориентации в пространстве при функционировании, а также рабочего расхода воздуха при измерении. Чем он меньше, тем выше ресурс

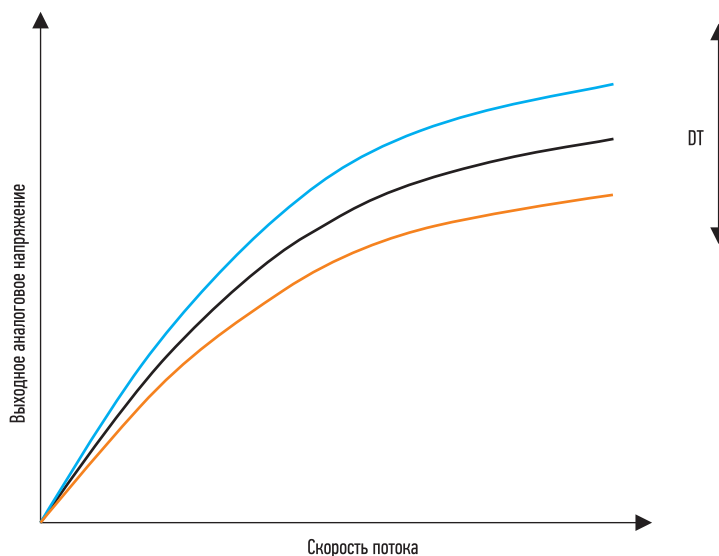


РИС. 4. ►
Зависимость выходного напряжения в измерительном элементе датчика от температуры и измеряемого расхода воздуха

прибора. Следовательно, изначально рассчитанные на низкое дифференциальное давление датчики серии D6F-PH, дополнительно оборудованные системой BDSS и правильно сориентированные в пространстве, имеют неоспоримое преимущество перед остальными аналогами.

Устройство двунаправленного пылевого фильтра иллюстрирует рис. 5а. Запыленный воздух через входной патрубок тангенциально входит в цилиндрический корпус первого по пути движения воздуха микроциклона, соосно с которым смонтирован выходной патрубок для очищенного воздуха. Через 180° также тангенциально к корпусу микроциклона подсоединен выходной патрубок для запыленного воздуха. Аналогичный второй микроциклон включен последовательно с первым, при этом не имеет значения, какой из микроциклонов будет первым, а какой — вторым, т. е. эффективность очистки воздуха не зависит от направления движения воздуха в фильтре, что особенно важно для дифференциальных датчиков, где движение воздушного потока может происходить как в прямом, так и в обратном направлении.

Как показано на рис. 5б, при входе в микроциклон условно выделенные оранжевым цветом частицы пыли, обладающие некоторой массой, под воздействием центробежной силы смещаются в радиальном направлении к корпусу микроциклона и, увлекаясь воздушным потоком, через патрубок выходят из первого и попадают во второй циклон. Очевидно, что в соосный с корпусом микроциклона выходной патрубок частицы пыли попасть не могут, поскольку направление движения воздуха в нем перпендикулярно по отношению к плоскости вращательного движения запыленного воздуха. Этим достигается достаточно глубокая степень очистки воздуха, подаваемого по отдельному каналу к МЭМС-датчику, что позволяет обеспечить требуемую точность и стабильность измерений.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Внешний вид датчиков дифференциального давления серии D6F-PH иллюстрирует цветной коллаж

на первой странице (форзаце) статьи, а их основные конструктивные параметры приведены на рис. 6. Обращает на себя внимание наличие взаимно перпендикулярно ориентированных двух пар крепежных отверстий со внутренним диаметром 2 мм, что предоставляет конструктору при проектировании измерительной установки возможность выбора различных вариантов крепления датчика. Для справки на рисунке показана фактически отсутствующая на изделии маркировка «+» и «-» патрубков, которую следует учитывать при подключении обводных трубок с высоким и низким давлением соответственно, о чем пояснялось выше. На верхней части рисунка над размерной линией 22 мм, соответствующей межосевому расстоянию крепежных отверстий, показаны штыревые электрические контакты. Для подключения к ним напряжения питания и сигнальных проводников следует использовать соответствующую ответную четырехконтактную гнездовую часть разъема и ни в коем случае не прибегать к непосредственной припайке проводников.

Для снижения погрешности измерения рекомендуется размещение подводящих обводных трубок в горизонтальной плоскости, о чем упоминалось ранее как о правильном пространственном ориентировании. Длина обводных трубок внутренним диаметром 4 мм не должна превышать 800 мм. В этом случае дополнительная погрешность измерения расхода потока контролируемой среды не превысит 1%.

Датчик должен быть прочно закреплен винтами с метрической резьбой M1,8 на плоской поверхности при ограничении вращающего момента до 0,36 нм. Неправильная установка может привести не только к возрастанию погрешности измерений, но и к повреждению датчика. Нормируемые показатели погрешностей при использовании приборов приведены в таблице 1.

Следует учитывать, что приведенный в таблице допустимый измерительный интервал дифференциального давления калибруется при стандартном атмосферном давлении 1013,25 гПа. При этом калибровочный газ (воздух) не должен содержать больших частиц пыли, нефти или сконденсировавшейся влаги.

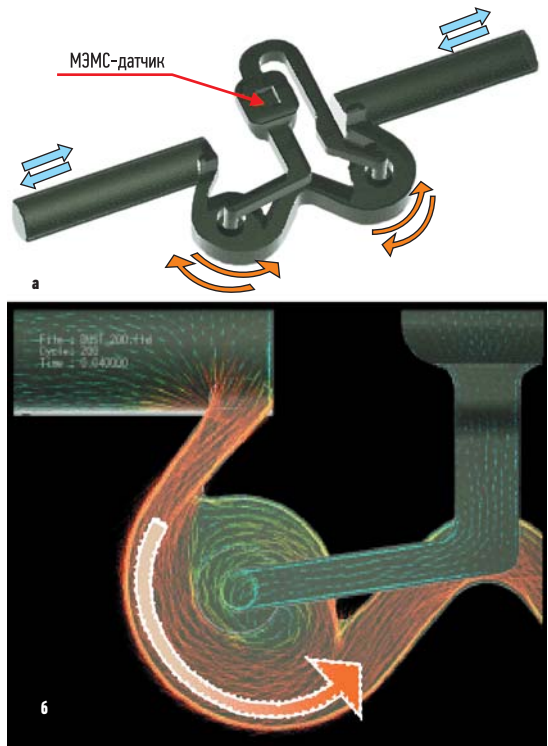
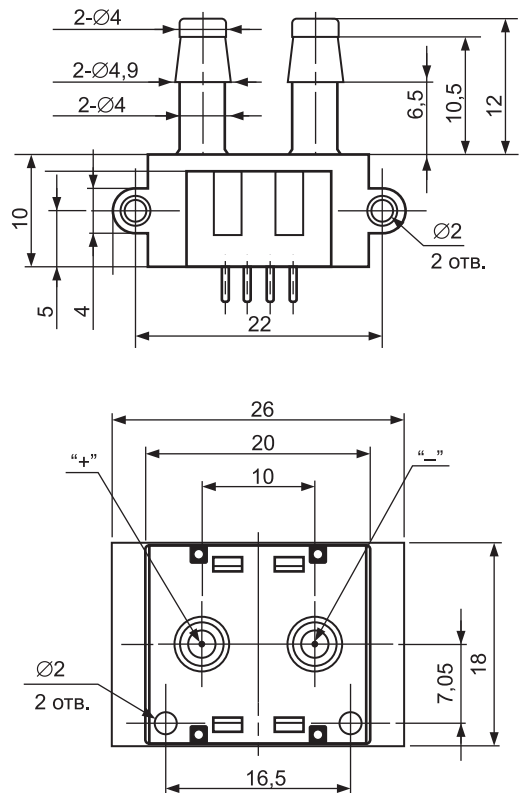
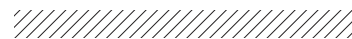


РИС. 5. ▲ Устройство двунаправленного пылевого фильтра в D6F-PH

РИС. 6. ▼ Конструктивные размеры датчиков серии D6F-PH





Относительная влажность воздуха не должна превышать значения 85 %. Погрешность установки нуля в приборе и погрешность проводимых измерений в общем случае некорректированы, и поэтому должны складываться. ●

Продолжение в следующем номере

ЛИТЕРАТУРА

1. http://microsite.omroncomponents.com/assets/D6F-PH_Datasheet.pdf
2. www.mouser.com/pdfdocs/ApplicationNotes_Diff_Pressure_Sensor_App_note_D6FPH_Rev_1.pdf
3. Григорьев А. МЗМС-датчики дифференциального давления // Электронные компоненты. 2013. № 7.
4. www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm
5. Каталог продукции. Научно-производственное предприятие ЭЛЕМЕР. 2011.
6. ГОСТ 12.3.018-79 «Методы аэродинамических испытаний».
7. Петунин А. Н. Методы и техника измерений параметров газового потока. М.: Машиностроение. 1972.

ТАБЛИЦА 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДАТЧИКОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ СЕРИИ D6F-PH

Тип датчика	D6F-PH0025AD1	D6F-PH0505AD3	D6F-PH5050AD3
Измерительный интервал, Па	0–250	±50	±500
Калибровочный газ	воздух		
Соединение	через патрубок с бородкой внешним диаметром до 4,9 мм		
Напряжение питания, В	2,3–3,6		
Потребляемый ток	максимальное значение без нагрузки 6 мА при питающем напряжении 3,3 В		
Разрешающая способность, бит	12		
Погрешность установки нуля, Па	±0,2		
Погрешность показаний, %	±3		
Температурная компенсация	да		
Интервал погрешностей температурной компенсации	до ±0,5% при изменении температуры на 10 °С		
Время реакции	типовое значение 33 мс при разрешающей способности 12 бит; максимальное значение — 50 мс; время обработки данных 6 мс		
Максимально допустимый расход газа в датчике	до 63 мл/мин.	до 23 мл/мин.	до 100 мл/мин.
Тип интерфейса	I ² C		
Материал корпуса	полифениленсульфид (Polyphenylene Sulfide, PPS)		
Степень защищенности от внешней среды	IP40		
Допустимое давление, кПа	10		
Диапазон рабочих температур, °С	–20...+80 (без конденсации и льдообразования)		
Диапазон температур хранения, °С	–40...+80 (без конденсации и льдообразования)		
Относительная влажность воздуха при функционировании, %	35–85 (без конденсации и льдообразования)		
Относительная влажность воздуха при хранении, %	35–85 (без конденсации и льдообразования)		
Сопrotивление изоляции	не менее 20 МОм между корпусом и контактами выходного разъема при постоянном испытательном напряжении 500 В		
Электрическая прочность диэлектрика	ток утечки не более 1 мА между корпусом и контактами выходного разъема при переменном испытательном напряжении 500 В, 50/60 Гц в течение 1 мин.		
Вес, г	5,2		