

УДК 00

Интеллектуальный датчик давления на основе моста Уинстона

10, сентябрь 2012

Нестеров В. А., Однокольцев А. В., Андреев К.А.

*Научный руководитель: доцент, к.т.н., Власов А.И.
МГТУ им. Баумана, Москва, РФ*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Введение

Конструктивно датчики давления состоят из чувствительных элементов, воспринимающего давление, и преобразователей (перемещений, деформации, силы), собранных в корпусе. Чувствительным элементом датчиков давления является тонкая, чаще кремниевая пластинка, которую условно можно назвать мембраной. Структурная схема работы типового датчика давления показана на рисунке 1.



Рис. 1 – Структурная схема типового датчика давления

К важнейшим техническим характеристикам микродатчиков давления относятся рабочий диапазон измерения, чувствительность к измеряемому давлению, выходное напряжение [3].

Все датчики давления характеризуются составляющими погрешности: нелинейностью характеристики, гистерезисом при изменении температуры и давления, температурным дрейфом начального смещения и чувствительности (рис.2).



Рис. 2 – Основные характеристики датчиков давления

Конструкции современных датчиков давления очень разнообразны: от небольших, высокочувствительных, применяемых в медицине, до крупных и прочных, необходимых для контроля промышленных процессов.

Чувствительный элемент

Несмотря на широкое применение, выделяются всего два основных подхода к проектированию и изготовлению датчиков давления – пьезорезистивный и ёмкостной.

Конструкция первых датчиков, использующих пьезорезистивные свойства кремния, предполагали соединение кремни с металлической диафрагмой, но такой подход был неудовлетворительным из-за несогласованности температур между металлом, слоем клея и кремния. Использование анизотропного травления кремния, ионной имплантации, поверхностной микрообработки дало развитие этого метода в сторону снижения себестоимости и повышения точности пьезорезистивных датчиков давления. Наиболее распространённая конструкция пьезорезистивного датчика давления (рис.3) состоит из кремниевой мембраны и толстой кремниевой «рамы», которая служит опорой для мембраны. А чувствительным элементом являются пьезорезисторы, ориентированные параллельно или перпендикулярно граням мембраны.

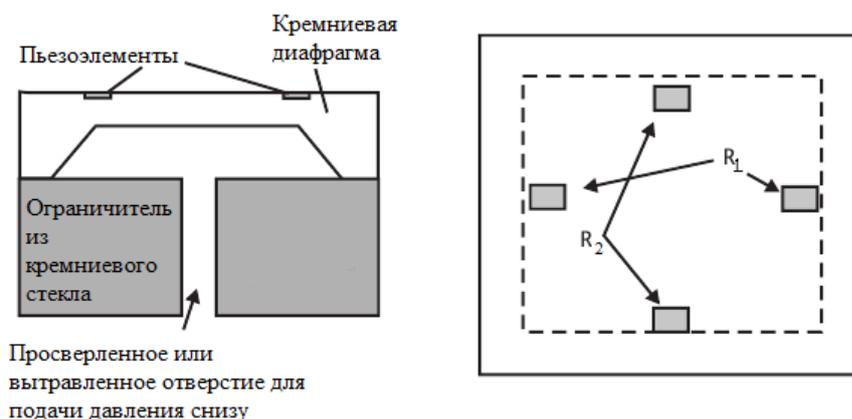


Рис. 3 – Упрощённые поперечное сечение и вид сверху типового пьезорезистивного датчика давления [2]

Когда мембрана испытывает перепад давления, возникают напряжения растяжения или сжатия в направлении от граней мембраны к её центру. Отклонение диафрагмы ведёт к изменению геометрических размеров резисторов, в результате чего меняется их сопротивление (1).

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\nu) \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho}, \quad (1)$$

Где ΔR – изменение сопротивления, R – начальное сопротивление, ν – коэффициент Пуассона, Δl – изменение длины резистора, l – начальная длина резистора, $\Delta \rho$ – изменение удельного сопротивления резистора, ρ – начальное удельное сопротивление резистора. Для пьезорезистивных микродатчиков этого типа используют резисторы, сопротивление которых изменяется пропорционально внешнему давлению. В этом случае изменением удельного сопротивления пренебрегают, поскольку изменения геометрических размеров будет пропорционально приложенному внешнему давлению.

Резисторы, расположенные по краям диафрагмы (рис.1.1.5), ориентированы в одном направлении. Таким образом два резистора ориентированы перпендикулярно (R_2) максимальной деформации, они испытывают напряжение растяжения и увеличивают значение сопротивления с увеличением давления, а два (R_1) – параллельно, они

испытывают напряжение сжатия и уменьшают значение сопротивления с увеличением давления. Реакция резисторов на давление зависит от ориентации пластины и диафрагмы, от количества легированной примеси, от температуры. Более высокой чувствительности можно добиться включение резисторов в мост Уитстона (рис. 4).

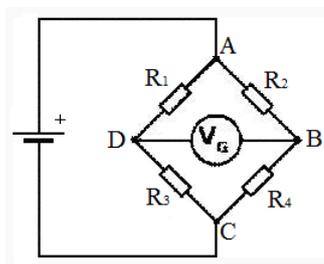


Рис. 4 – Мост Уитстона [1]

Датчики, выполненные по этой схеме, были коммерчески успешными в течение многих лет. Последующие модификации влекут за собой изменение структуры диафрагмы (использование «центрального босса» и ребристые диафрагмы), методы температурной компенсации, использование альтернативных технологических процессов изготовления. Изменения в структуре диафрагмы были направлены на улучшение линейности и чувствительности датчиков.

Очевидным недостатком пьезорезисторов является чувствительность к температуре. Изменение сопротивления резисторов, связанное с изменением температуры, часто превышает реакцию на изменение измеряемой величины. И чем выше температура – тем ниже чувствительность пьезорезисторов.

Система обработки сигналов чувствительного элемента

Непрерывно растущие требования к точности измерительной информации диктуют необходимость коррекции погрешностей тензометрических датчиков давления. Аналоговые методы коррекции погрешностей, основанные на аналоговых схемотехнических решениях, не позволяют достичь высоких метрологических характеристик, поэтому в последние несколько лет все шире применяются цифровые методы коррекции погрешностей, выполняемые цифровыми вторичными преобразователями датчиков давления [4]. Общая структура такой системы отражена на рисунке 5. Наибольший вклад в дополнительную погрешность тензометрических датчиков давления вносит температура. Влияние температуры вызывает изменение начального сигнала (аддитивная составляющая температурной погрешности) и чувствительности (мультипликативная составляющая) датчиков. Для коррекции температурной погрешности применяется метод вспомогательных измерений [5], заключающийся в добавлении чувствительного элемента температуры в структуру датчика давления.

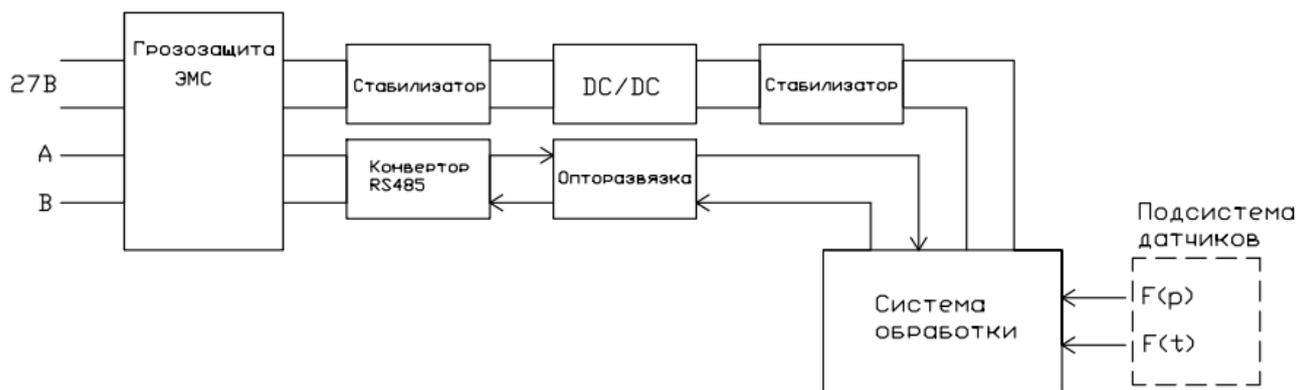


Рис. 5 – Структура подсистемы обработки сигналов датчика давления

Система обработки (рис.5) должна обеспечивать усиление сигналов датчика давления и датчика температуры, преобразование сигналов в цифровой вид и коррекцию показаний датчика давления на основании данных о температуре.

Для построения распределённых систем датчик давления должен обладать стандартным интерфейсом обмена данными. В промышленности при создании автоматизированных систем наиболее широкое распространение получил интерфейс RS-485. Интерфейс RS-485 обеспечивает обмен данными между несколькими устройствами по одной двухпроводной линии связи в полудуплексном режиме по схеме, показанной на рисунке 6.

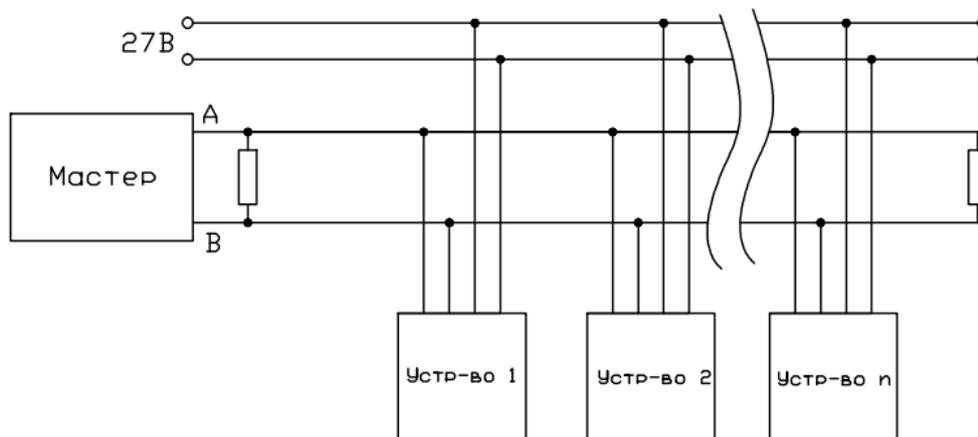


Рис. 6 – схема подключения устройств по интерфейсу RS-485

Для реализации обмена данными системы обработки с внешними устройствами по интерфейсу RS-485 необходимо использовать преобразователь интерфейсов (например, К5559ИН10) и, для обеспечения гальванической развязки цепей, оптопару (например, ЗОТ122). Питание датчика давления осуществляется так же шины интерфейса RS-485, через вторичный источник питания, преобразующий внешнее напряжение +27В в напряжение питания чувствительного элемента, и системы обработки сигналов, который должен обеспечивать стабильность напряжения питания и гальваническую развязку. Схема электрическая структурная системы преобразования и обработки датчика давления показана на рисунке 7.

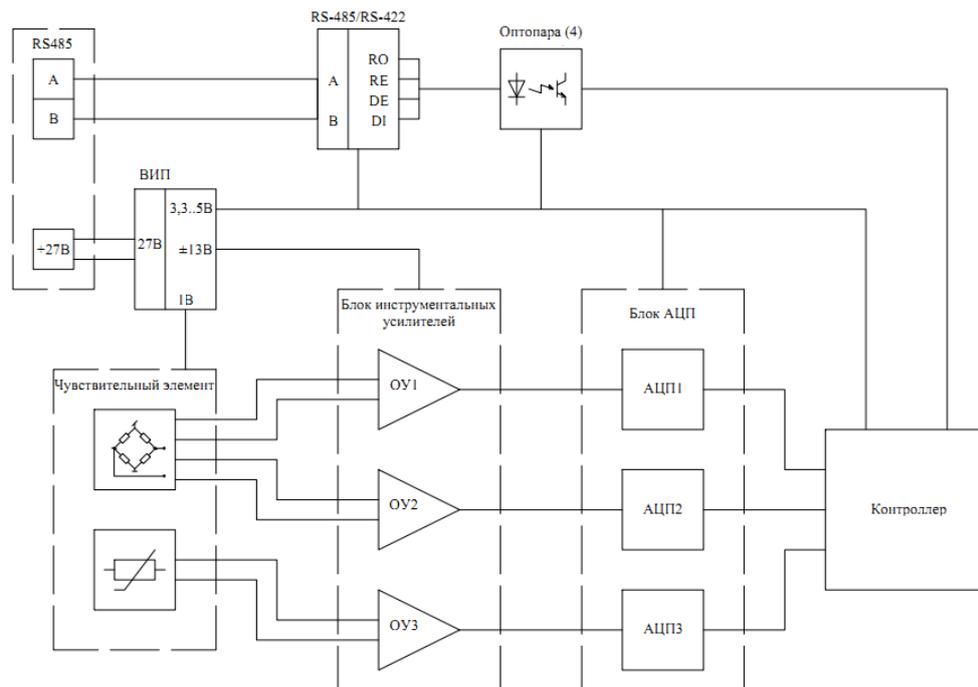


Рис. 7 – Схема электрическая структурная системы обработки сигналов датчика давления

Основным элементом схемы является контроллер, который должен обеспечивать коррекцию сигналов датчика давления на основании данных от датчика температуры. Алгоритмы коррекции нелинейности и температурной погрешности, выполняемые контроллером, основываются на математических моделях измерительных сигналов датчиков. Эти модели отражают существенные взаимосвязи между значениями измеряемой величины, значениями внешних воздействующих факторов и значениями выходного сигнала датчика.

Алгоритм коррекции нелинейности и температурной погрешности

Зависимости изменений кодов АЦП начального сигнала от кодов АЦП температуры и относительных изменений чувствительности от кодов АЦП температуры, а также зависимость кодов АЦП давления от давления определяются экспериментально на этапе совместной настройки датчиков и вторичных преобразователей, после чего аппроксимируются полиномами первой-третьей степеней либо кубическими сплайнами. Следует отметить, что аппроксимируется не сама зависимость кодов АЦП давления от давления, а обратная ей зависимость выходных кодов давления от кодов АЦП давления (рисунок 1).

Алгоритм коррекции нелинейности и температурной погрешности заключается в последовательном вычислении поправок для коррекции аддитивной и мультипликативной составляющей температурной погрешности, внесении их в результат измерения давления и коррекции нелинейности с одновременным нормированием сигнала к заранее заданным пределам изменения выходного кода давления [4]. Для случая аппроксимации температурных характеристик пример алгоритма показан на рисунке 9.

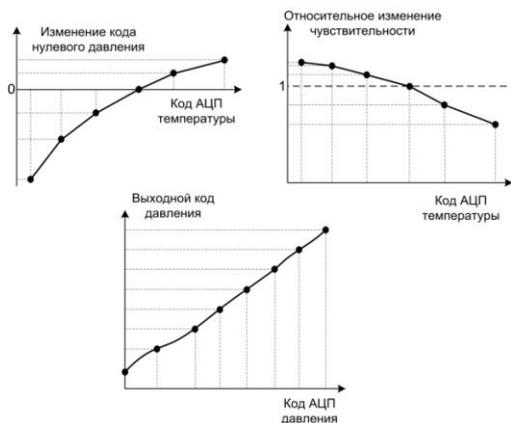


Рис. 8 – Зависимости значений чувствительного элемента от температуры

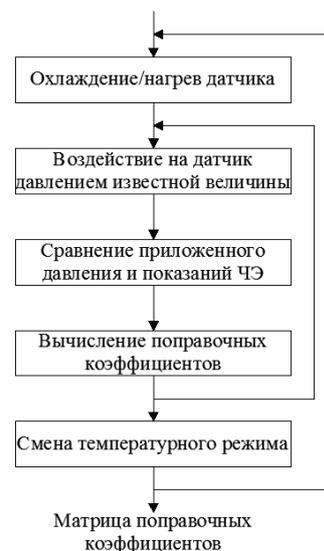


Рис. 9 - Алгоритм коррекции нелинейности и температурной погрешности ЧЭ

Матрица поправочных коэффициентов записывается в ПЗУ системы обработки. На основе этих коэффициентов микроконтроллером производится преобразование сигналов ЧУ давления.

Заключение

Предложенная схема построения интеллектуального датчика давления, может быть применима к любым типам пьезоэлектрических датчиков. Рассмотренный способ коррекции температурной погрешности и нелинейности обладает высокими метрологическими характеристиками. Основная погрешность систем, построенных по предложенной схеме, не превышает величины 0,1%. Реализация цифрового интерфейса датчика обеспечивает возможность построения современных высокоточных распределённых систем сбора информации

Литература

1. Шахнов В.А., Власов А.И. Проектирование наносенсоров. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://nanolab.iu4.bmstu.ru/course/view.php?id=22>. - Проверено 23.02.2012.
2. MEMS Mechanical Sensor/ Stephen Beedy, Graham Ensell, Micheal Kraft, Neil White // – Microelectromechanical Systems Series, Artech House. – 2004. – С.124–145.
3. ВЧ МЭМС и их применение/ В. Варадан, К. Виной, К. Джозе// Мир электроники. – 2004. – С.70–74.
4. Катков А. Н. Алгоритмы коррекции погрешностей тензометрических датчиков давления цифровыми вторичными преобразователями [Текст] / А. Н. Катков // Молодой ученый. — 2011. — №8. Т.1. — С. 58-60.
5. Земельман М.А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств / М.: Изд-во стандартов, 1972 г. – 199 с.