

УДК 531.781.2

Ю.В. Пахомов

*Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Харьков***МЕТОДЫ РАСЧЕТА УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕМБРАННО-БАЛОЧНОГО ТИПА В ДАТЧИКАХ ДЛЯ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ**

В датчиках измерения физических величин, например, давления, для газового оборудования и трубопроводных систем (ГО и ТС) широкое применение находят упругие элементы (УЭ) мембранно-балочного типа. Требования, которые предъявляются к таким УЭ, сводятся к обеспечению определенных динамических свойств в диапазоне упругих линейных деформаций. Динамические свойства УЭ обеспечивают также достоверность регистрации быстропеременных измеряемых величин. При этом качество измерительной системы определяется собственной частотой колебаний УЭ и величиной сил сопротивления нагрузке. Для описания колебаний УЭ используют дифференциальные уравнения в частных производных с учетом изменений исследуемых величин не только во времени, но и в пространстве.

Ключевые слова: датчик, упругий элемент, преобразователь давления, мембрана, измерительная система.

Постановка проблемы

При разработке и проектировании датчиков измерения физических величин особое внимание уделяется чувствительности УЭ - величине, обратной жесткости. При этом если характеристика УЭ линейна, то жесткость представляет собой отношение нагрузки к соответствующему перемещению, а чувствительность - отношение перемещения к нагрузке.

Изложение основного материала

Для измерения физических величин, например давления, в датчиках для ГО и ТС с учетом их чувствительности используют различные методы, в т.ч. тензометрический, емкостной, резонансный и индуктивный методы.

Тензометрический метод. В настоящее время основная масса датчиков для измерения, например давления в ГО и ТС, выпускается на основе УЭ, основанных на измерении деформации тензорезисторов, которые сформированы в слое кремния на подложке, например из сапфира (КНС), припаянной твердым припоем к титановой мембране, или в виде монокристалла кремния.

Принцип действия этих преобразователей основан на явлении тензоэффекта в материалах. В качестве УЭ, в этом случае, служит мембрана с тензорезисторами, которые соединены в мостовую схему. Под действием давления измеряемой среды мембрана прогибается, тензорезисторы меняют свое сопротивление, что приводит к разбалансу регулировочного моста. Разбаланс линейно зависит от степени деформации резисторов и от приложенного давления. Принципиальное ограничение области применения такого преобразователя заключается в

неустранимой временной нестабильности его градуировочной характеристики, а также в существенных гистерезисных эффектах, в т.ч. давления и температуры. Последнее ограничение обусловлено неоднородностью конструкции преобразователя, а также жесткой связью мембраны с конструктивными элементами датчиков для ГО и ТС.

К недостаткам таких преобразователей следует отнести ограничение диапазона измерений, особенно в области малых давлений и сложности, связанные формообразованием УЭ из сапфира. Следует отметить также, что выбирая такой преобразователь необходимо обратить внимание на диапазон измерений, величину основной погрешности с учетом гистерезиса и величину дополнительной погрешности.

Преимуществами преобразователей такого типа являются хорошая защищенность, особенно в случае агрессивной среды, относительно большой рабочий диапазон температур и налаженное серийное их производство.

Широкое распространение получили также УЭ на основе монокристаллического кремния. Такого типа преобразователи имеют большую временную и температурную стабильности по сравнению с другими приборами. Кремниевый интегральный преобразователь давления (ИПД) - представляет собой мембрану из монокристаллического кремния с диффузионными пьезорезисторами, которые подключены в мост Уинстона (рис.1). УЭ служит кристалл ИПД, установленный на диэлектрическое основание с использованием легкоплавкого стекла или методом анодного сращивания.

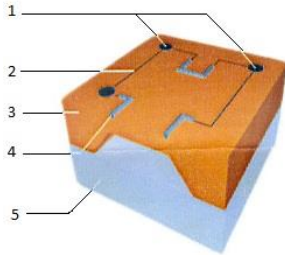


Рис.1 Общий вид кремниевого ИПД.

1 – контактные площадки; 2 – металлизация; 3 – монокристаллический кремний; 4 – диффузионные резисторы; 5 – стеклянное основание.

Для измерения давления чистых неагрессивных сред применяются конструктивно-технологические решения, основанные на использовании УЭ либо без защиты, либо с защитой силиконовым гелем (рис.2).

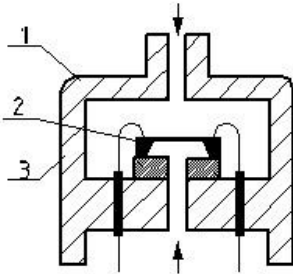


Рис.2 Конструктивно технологическое решение ИПД с использованием защитного покрытия.

1 – металлический корпус; 2 – защитное покрытие; 3 – ИПД

В агрессивных средах, а также в большинстве случаев промышленного применения используют ИПД в герметичном металло-стеклянном корпусе, с разделительной диафрагмой из нержавеющей стали, которая передает давление измеряемой среды на ИПД посредством кремнийорганической жидкости (рис. 3).

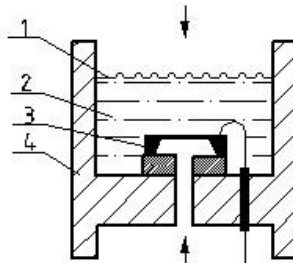


Рис.3 Общий вид ИПД, защищенного от измеряемой среды посредством коррозионно-стойкой мембраны.

1 - металлическая мембрана;
2 – кремнийорганическая жидкость;
3 – ИПД;
4 – металлический корпус.

Основным преимуществом пьезорезистивных УЭ является более высокая стабильность характеристик, по сравнению с другими преобразователями. Они устойчивы к воздействию ударных и знакопеременных нагрузок, что особенно важно в случае их использования в измерительных газовых системах.

Емкостной метод. В основе этого метода лежит эффект изменения емкости конденсатора при изменении расстояния между его обкладками. Вариантами исполнения при этом могут быть керамические, кремниевые емкостные первичные преобразователи давления, а также УЭ, выполненные с использованием упругой металлической мембраны. В этом случае при изменении давления мембрана с электродом деформируется и происходит изменение емкости. Эти элементы, которые, как правило, выполнены из керамики или кремния, имеют пространство между обкладками, которое обычно заполнено маслом или другой органической жидкостью (рис.4).

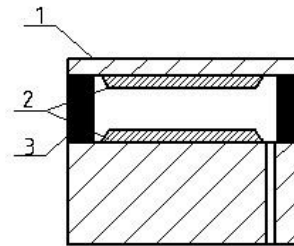


Рис.4 Общий вид емкостного ИПД.

1 – мембрана; 2 – обкладки конденсатора; 3 – прокладка.

В данном варианте роль подвижной обкладки конденсатора выполняет металлическая диафрагма. К достоинствам такого УЭ следует отнести простоту конструкции датчика, высокую точность измерения, временную стабильность характеристик, возможность измерения низких давлений.

В качестве недостатка можно отметить нелинейную зависимость емкости от приложенного давления.

Резонансный метод. Реализован на основе вибрирующего цилиндра струйных, кварцевых ИПД, а также резонансных преобразователей на кремнии.

В основе этого метода лежат также волновые процессы, в т.ч акустические и электромагнитные. Это объясняет высокую стабильность характеристик преобразователей и высокие выходные характеристики, особенно для датчиков в ГО и ТС.

Если рассмотреть резонансный метод на основе кварцевого резонатора (рис. 5), то, как правило, любое воздействие на мембрану вызывает деформацию

кристалла кварца, включенного в электрическую схему, а также его поляризация. В результате изменения давления частота колебаний кристалла меняется. Подобрав параметры резонансного контура, изменяя емкость конденсатора или индуктивность катушки, можно добиться того, что сопротивление кварца падало до нуля. Частоты колебаний электрического сигнала и кристалла совпадают – наступает резонанс.

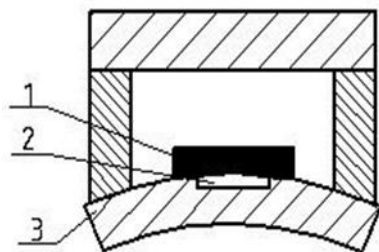


Рис. 5 Общий вид резонансного ИПД
1 – кварцевый резонатор; 2 – вакуум; 3 – мембрана.

К преимуществам резонансных ИПД следует отнести высокую точность измерений, а также стабильность выходных характеристик, напрямую зависящая от качества используемого материала.

Основные недостатки: индивидуальная характеристика ИПД, длительное время отклика, невозможность проводить измерения в агрессивных средах без потери точности показаний прибора.

Индуктивный метод. Основан на регистрации вихревых токов. В этом случае ИПД состоит из двух катушек, которые изолированы металлическим экраном (рис.6). ИПД измеряет смещение мембраны при отсутствии механического контакта. В катушках генерируется электрический сигнал переменного тока, таким образом, что заряд и разряд катушек происходит через одинаковые промежутки времени. При отклонении мембраны создается ток в фиксированной основной катушке, что приводит к изменению индуктивности системы. Смещение характеристик основной катушки дает возможность преобразовать давление в стандартизованный сигнал, по своим параметрам прямо пропорциональный приложенному давлению.

Литература

1. Готра З.Ю., Ильницький Л.Я. Датчики. - Львов.: Каменяр, 1995. - 312с.
2. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 272с.
3. Борцев В.Н. Сравнительный анализ параметров типовых форм упругих элементов кремниевых датчиков давления / *Технология приборостроения*, 1998, №2, с.64-73.
4. Цибизов П.Н., Михайлов П.Г., Михайлов А.П. Методы и средства функциональной диагностики сенсорных элементов и структур микроэлектронных датчиков / *Датчики и системы*, 2005, № 10, с.9-11.

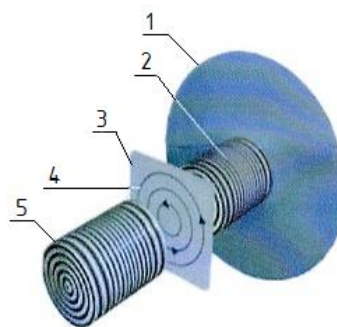


Рис.6 Общий вид индукционного ИПД.
1 – мембрана; 2 – подвижная катушка индуктивности; 3 – металлический экран; 4 – вихревые токи (токи Фуко); 5 – регистрирующая катушка индуктивности.

Преимущества: возможность измерения низких, избыточных и дифференциальных давлений, достаточно высокая точность, незначительная температурная зависимость.

Однако датчик чувствителен к магнитным воздействиям, что объясняется наличием катушек, которые при прохождении переменного сигнала создают магнитное поле.

Выводы

1. Тензометрический метод расчета УЭ в датчиках для ГО и ТС используется в основном в приборах и устройствах, позволяющих контролировать высокие давления или температуры рабочих сред, например в материальных трубопроводах, так как такие датчики имеют хорошую защищенность УЭ, особенно в случае агрессивной среды.
2. Емкостной метод расчета УЭ обеспечивает высокую точность измерения параметров рабочей среды, в т.ч с низкими значениями давления или температуры.
3. Резонансный метод расчета УЭ обеспечивает высокую стабильность выходных характеристик датчиков.
4. Индуктивный метод расчета УЭ используется в датчиках ГО и ТС для измерения низких, избыточных и дифференциальных давлений рабочих сред.

Рецензент: д-р техн. наук, доцент М.А. Мирошник. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков.

Автор: Пахомов Юрий Васильевич
Харьковский национальный университет городского хозяйства им А.Н. Бекетова, Харьков, ассистент
E-mail – abc050073@gmail.com