

ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СРЕД

Стучебников В.М.

Широко распространенный метод измерения давления высокотемпературных сред, при котором давление с помощью отводной трубки или капилляра с жидкостью передается в низкотемпературную зону, где измеряется с помощью стандартных датчиков, имеет ряд недостатков. В частности, при измерении давления паров в отводных трубках образуется конденсат или сублимат; при измерениях давления расплавов в качестве передающей жидкости обычно используют экологически вредную ртуть. Кроме того, существенно ухудшаются частотные характеристики измерительной системы.

Использование полупроводниковых чувствительных элементов (ПЧЭ) на основе структур «кремний на сапфире» (КНС) в тензопреобразователях (ТП) давления позволяет в принципе проводить измерения при температуре ПЧЭ, достигающей 500-600 °С, когда начинается заметная пластическая деформация кремния. В датчиках давления высокотемпературных жидкостей и газов МИДА-ДИ-12П-12 температура измеряемой среды (и ПЧЭ) может достигать 350 °С [1]. Дальнейшее повышение температуры ПЧЭ требует дополнительных технологических разработок высокотемпературных контактов, защиты тензосхемы ПЧЭ и др. Для измерения давления сред с более высокой температурой, а также для измерения давления вязких и кристаллизующихся жидкостей можно использовать двухмембранные ТП давления [1], в которых ПЧЭ удален от воспринимающей давление мембраны. Такую конструкцию имеют ТП давления газов в дизелях МИДА-ДИ-55П, в которых температура газов на входе достигает 600 °С, а также датчики давления расплавов полимеров и вязких жидкостей МИДА-ДИ-12П-06 и МИДА-ДИ-12П-08.

Опыт показывает, что нелинейность мембранных ТП давления с ПЧЭ на основе КНС практически не зависит от температуры и может быть сделана не более 0,1%. Вариация и повторяемость ТП также слабо зависят от температуры, так что если определять точность ТП (в соответствии с западными стандартами) как сумму нелинейности, вариации и повторяемости, то для ТП с ПЧЭ на основе КНС эта величина обычно лежит в пределах 0,2-0,5% вплоть до температуры 350 °С. Однако реальная точность измерения давления определяется не только указанными параметрами. В частности, поскольку датчики давления высокотемпературных сред работают в широком диапазоне температур, а температурная зависимость параметров ТП с ПЧЭ на основе КНС (начального выходного сигнала и чувствительности) достаточно велика, особое значение для таких датчиков приобретает проблема коррекции температурной погрешности измерения.

Используемая в ТП и датчиках МИДА пассивная компенсация температурной погрешности начального выходного сигнала и чувствительности с помощью термостабильных резисторов [2] особенно удобна для высокотемпературных ТП, поскольку в этом случае компенсационные резисторы можно размещать в любом удобном месте, где температура не превышает допустимую для этих элементов. Результирующая температурная зависимость выходного сигнала ТП после термокомпенсации близка к параболической; соответственно для таких ТП (и датчиков) теряет смысл обычно используемое нормирование температурной

погрешности с помощью температурных коэффициентов [3]. Наиболее разумно в этом случае нормировать величину зонс температурной погрешности измерения в рабочем диапазоне температур, тем более, что в технологических высокотемпературных процессах, при которых необходимо измерять давления, рабочая температура измеряемой среды, как правило, изменяется в незначительных пределах.

Соответственно высокотемпературные ТП и датчики МИДА калибруются при высокой температуре, близкой к рабочей у потребителя, а пассивная коррекция температурной погрешности осуществляется в 100-градусном диапазоне температур вокруг точки калибровки. В этом случае основная погрешность измерения не превышает 0,5%, а зона дополнительной температурной погрешности не превышает 3%. При параболической температурной зависимости выходного сигнала ТП зона температурной погрешности квадратично зависит от величины рабочего диапазона температур, поэтому в большинстве случаев, когда рабочий диапазон температур не выходит за пределы 20-50 °С, суммарная погрешность измерения давления не превышает 0,7-1,2%.

При таком подходе к повышению точности измерения давления высокотемпературных сред возникают, однако, две проблемы. Во-первых, поверка датчиков производится, как правило, при комнатной температуре. При описанной калибровке для проведения поверки в паспорте датчика приходится указывать индивидуальные значения начального и максимального выходных сигналов при комнатной температуре для каждого датчика, а также точное значение «комнатной» температуры, которой соответствуют эти данные; поверка датчиков должна осуществляться по указанным в паспорте параметрам, что достаточно непривычно как для потребителей, так и для поверяющих органов. Во-вторых, для двухмембранных датчиков, в которых значения температур измеряемой среды и ПЧЭ могут значительно отличаться, могут возникать дополнительные погрешности из-за того, что при постоянной температуре измеряемой среды температура ПЧЭ может изменяться в зависимости от конструкции оборудования и условий измерения.

Кардинальным образом эти проблемы решаются дополнительной обработкой выходного сигнала ТП микропроцессором, учитывающим квадратичную зависимость выходного сигнала от температуры. В результате суммарная погрешность измерения давления в диапазоне температур измеряемой среды от комнатной до 350 °С для датчиков давления МИДА-12П-К не превышает 0,5%. Дополнительная функция обнуления сигнала позволяет исключить составляющую погрешности, связанную с возможным влиянием затяжки датчика при установке в оборудование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушев В.В., Николайчук О.Л., Стучебников В.М. Серия микроэлектронных датчиков давления МИДА. // Датчики и системы, 2000, №1, с 21-27.
2. Мартынов Д.Б., Стучебников В.М. Температурная коррекция тензопреобразователей давления на основе КНС. // Датчики и системы, 2002, № 10, с.6-12.
3. Стучебников В.М. О нормировании температурной погрешности тензорезисторных полупроводниковых датчиков. // Датчики и системы, в печати.