

# Современные технологии в измерении давления, расхода и уровня

На сегодня одной из самых актуальных проблем на теплостанциях является несрабатывание или ложное срабатывание защиты, что ведет к большим временным и финансовым потерям, вызываемым остановом энергоблока и выходом из строя технологического оборудования. Главная причина ложных срабатываний лежит в заложенных в большинстве современных датчиков давления емкостном и пьезорезистивном принципах измерения, оба из которых не исключают ложных показаний в нештатных режимах работы.

Применяемые в большинстве существующих датчиков давления емкостной и пьезорезистивный принципы измерения используются уже около 50 лет и давно исчерпали свой технологический ресурс, о чем свидетельствуют известные проблемы со стабильностью их работы, уходом характеристик а также с аналого-цифровым преобразованием, ограничивающим возможности датчиков, построенных на этих принципах, и существенно их удорожающим.

В конце 80-х годов, когда произошел скачок в развитии полупроводниковых технологий, японская компания Yokogawa решилась на беспрецедентный шаг – отойти от традиционных методов измерения и реализовать принципиально новый метод, основанный на использовании частотно-резонансного сенсора, получившего в дальнейшем название DPHarp (Differential Pressure High Accuracy Resonant Pressure sensor). Сегодня приборы компании Yokogawa (рис. 1) стали незаменимыми при проведении измерений в большинстве процессов теплоэнергетики.

## Принцип измерения

В основе нового сенсора DPHarp, как уже было сказано, лежит известный частотно-резонансный метод, принцип работы которого наглядно виден на примере поведения струны: при натяжении струны ее тон (частота собственных колебаний) становится выше, при ослаблении – ниже.

Уникальность сенсора DPHarp заключается в том, что эта конструкция выполнена в чрезвычайно малых размерах (десятки микрон) в виде единого монокристалла кремния (отсюда его другое название “кремниевый резонатор”) безо всяких швов, смычек и т.п.

## Конструкция сенсора

В качестве упругого элемента в сенсоре используется кремниевая диафрагма, на которой расположе-



Рис. 1

ны два чувствительных элемента – резонатора, расположенных так, что их деформации отличаются по знаку при приложении разности давлений к сенсору. Изменение собственной частоты резонаторов прямо пропорционально прилагаемому давлению.

Возбуждение колебаний и передача частоты механических колебаний в электрический частотный сигнал происходят путем помещения двухконтурных резонаторов в постоянное магнитное поле и пропускания переменного электрического тока через тело резонатора в контуре возбуждения (рис. 2).

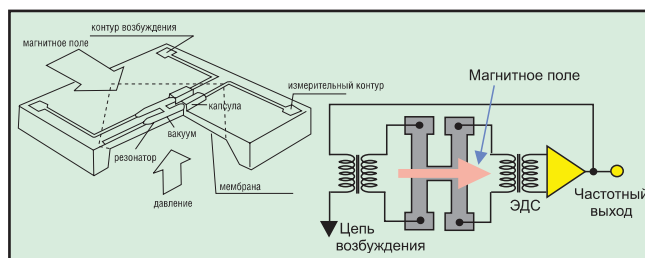


Рис. 2. Схема перевода механических колебаний в электрические – колебания в электрическом контуре в точности соответствуют собственным механическим колебаниям резонатора

Такой сенсор имеет целый ряд преимуществ по сравнению с другими принципами измерения:

## Стабильность работы и влияние перегрузок

Существующие до настоящего времени методы преобразования давления в электрический сигнал имеют очевидные принципиальные ограничения по стабильности работы и устойчивости к перегрузкам:

- ▶ для емкостного метода это остаточная деформация и механическая усталость центральной мембраны – “сердца” емкостного сенсора,

▶ для пьезорезистивного – нестабильность стеклянной подложки и дрейф сопротивления пленок, связанный с диффузией примесей в материале.

В случае кремниевого резонатора DPHarp собственную частоту определяют всего два его параметра: один – масса, другой – геометрические размеры и форма. Масса резонатора – величина постоянная. Геометрические размеры и форма также жестко зафиксированы кристаллической решеткой – самой стабильной и упругой физической структурой. Все это в совокупности позволяет гарантировать стабильность во всем диапазоне рабочих условий без ограничений, включая перегрузки по давлению.

Суперстабильность кремниевого резонатора многократно подтверждается на практике постоянными испытаниями по циклическим нагрузкам, термоциклированию и т.п. На рис. 3 можно видеть результаты испытаний на дрейф нуля в течение 15 календарных лет.



Рис. 3. Реальная погрешность показаний тестовых датчиков в течение 15 лет

## Влияние внешних факторов

Следующим важным фактором стабильной работы сенсора является устойчивость к внешним воздействиям (температуре и статическому давлению). Для емкостного и пьезорезистивных сенсоров этот показатель традиционно является проблемным:

▶ у емкостных датчиков происходит дрейф нуля из-за незаметного, но существенного для точных измерений, перекоса сенсора (поскольку идеально симметричной конструкции не бывает);

▶ в случае пьезорезистивного сенсора проблема связана с существенной зависимостью сопротивления полупроводниковых пленок от температуры и статического давления (большую зависимость гораздо сложнее компенсировать).

С кремниевыми резонаторами ситуация кардинально лучше:

▶ геометрические размеры на 4-5 порядков (в десятки и сотни тысяч раз) меньше подвержены влиянию температуры и статического давления, чем электрические характеристики (сопротивление, емкость);

▶ в сенсоре используются два идентичных резонатора с разным откликом на перепад давления, но с одинаковым – на статическое давление и температуру. Аппаратная компенсация получается автоматически, так как для измерения перепада давления берется разница частот этих резонаторов. Одновременно по сумме частот измеряется статическое давление;

▶ по сопротивлению резонатора определяется температура сенсора, по которой электроника датчи-

ка компенсирует оставшееся влияние температуры на характеристики прибора.

## Точность перестройки шкалы

Кремниевый резонатор называют истинно цифровым сенсором, так как в нем деформация диафрагмы сразу преобразуется в частоту, благодаря чему полностью отсутствует промежуточное аналого-цифровое преобразование – в отличие от емкостного и пьезорезистивного датчиков, где промежуточный аналоговый параметр обязательно присутствует (деформация – емкость – частота, деформация – сопротивление – частота). Это дает большое преимущество “кремниевому резонатору”: перестройка шкалы не требует подстройки нуля и калибровки, обязательных для емкостного и пьезорезистивного датчиков, а для достижения более высокой точности требуется только увеличить точность калибровки.

## EJX – новая серия датчиков с сенсором DPHarp

Последняя выпущенная компанией Yokogawa линейка датчиков давления – серия EJX – предлагает широкий набор унифицированных аналоговых и цифровых выходных сигналов, с помощью которых можно изменить настройки прибора и выходные характеристики сигнала, получить диагностические сообщения и т.п.

В датчиках EJX реализован целый ряд функций и характеристик, которые отличают их от предыдущей серии EJA:

- 1) более высокая точность и стабильность (погрешность – стандартно 0,04 % от шкалы, стабильность – 0,1 % от ВПИ в течение 10 лет). При этом максимальная глубина перестройки шкалы увеличена до 200;
- 2) дополнительно к аналоговому выходу предусмотрен еще и опциональный релейный/импульсный выход (открытый коллектор), позволяющий выводить на верхний уровень вторую переменную в виде релейного или импульсного сигнала;
- 3) во всех датчиках перепада стандартно измеряется и статическое давление. При этом выпущена еще модель многопараметрического датчика EJX910, который принимает дополнительно сигнал с внешнего термометра сопротивления и производит вычисления массового или приведенного к нормальным условиям расхода строго в соответствии с существующими стандартами;
- 4) значительно повышена скорость реакции датчика на изменение давления. На сегодняшний момент EJX имеет время отклика 95 мс и является самым быстрым интеллектуальным датчиком давления;
- 5) надежность нового датчика такова, что стандартные модели EJX получили сертификат TUV сразу на уровень SIL2.

Датчики серий EJA/EJX внесены в Госреестр и для них утвержден межповерочный интервал 3 года.

В. Н. Кравченко,  
ООО “Йокогава Электрик СНГ”