

СЕНСОРЫ ДЛЯ БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ



Измерения с помощью датчиков – один из основных способов познания мира. К концу XX века датчики стали важнейшими элементами многих систем: информационно-измерительных (ИИС), автоматизированного управления технологическими процессами, аналитических измерений. Предназначены они для определения физических параметров четырех агрегатных состояний вещества: твердого, жидкого, газообразного, плазменного. Измеряемые величины могут характеризоваться временными, пространственными и корреляционными свойствами. Ошибки датчиков нельзя полностью исключить или сделать бесконечно малыми. А стремление получить больше информации неизбежно ведет либо к утрате работоспособности датчика, либо к настолько большому энергетическим затратам, что может быть нарушен сам контролируемый процесс. Таким образом, мир датчиков – это многомерное пространство проблем и возможных их решений.

Е.Мокров, А.Блинов, Н.Новиков

В последние десять-пятнадцать лет обозначилась тенденция к созданию так называемых "интеллектуальных датчиков", представляющих собой автономную информационно-измерительную систему, способную выполнять самодиагностику, цифровое преобразование поступающей от датчика аналоговой информации, а также компенсировать присущие ему недостатки (нелинейность функции преобразования, зависимость от внешних воздействий). Правда, утверждение о необходимости и целесообразности наделять такими функциями каждый датчик достаточно спорно. Как правило, датчики устанавливают на участках наиболее концентрированного воздействия всех рабочих факторов, а размещение электронных элементов на эксплуатационно напряженных объектах не всегда оправдано. Кроме того, благодаря построению современных информационно-измерительных систем эти функции становятся общими для групп датчиков. Поэтому в большинстве, специально не мотивированных, случаев усложнение структуры датчика и увеличение его стоимости вследствие наращивания функций, без которых он может обойтись, едва ли целесообразно.

КАКИЕ ДАТЧИКИ ВЫПУСКАЮТСЯ ЗА РУБЕЖОМ?

Датчики применяются в самых разнообразных сферах – от авиакосмической, тяжелой, металлургической и строительной промышленности до производства медицинского оборудования, детского питания, косметики. Наибольшее применение они находят в следующих областях:

Область применения	Объем продаж на мировом рынке в 2002 году, млрд. долл.
Автомобиле- и кораблестроение	13,8
Технологическое и промышленное оборудование	9,6
Бытовая техника	6,0
Здания и сооружения	4,8
Машиностроение	4,2
Самолетостроение	3,0
Прочие	9,0

КАКИЕ ДАТЧИКИ НУЖНЫ?

Большинство датчиков – контактные устройства, т.е. устанавливаются они непосредственно на объекте в местах измерения исследуемых параметров. Как правило, это место одновременного концентрированного воздействия многих физических сил, поэтому датчик должен быть надежно механически защищен от разрушительного действия этих сил, а также обладать селективностью по отношению к измеряемому параметру. Взаимодействие датчика с объектом измерений – процесс обоюдный. Измерение корректно настолько, насколько датчик, установленный на объекте, не меняет физическую картину изучаемого процесса, и настолько, насколько он способен воспринять и правильно воспроизвести изменение измеряемого параметра во времени.

Помимо обеспечения гарантированных метрологических характеристик на протяжении всего срока эксплуатации, датчики по своей механической прочности должны превосходить объект измерения. Их масса, объем и токопотребление должны быть по возможности минимальными. Необходимо также, чтобы они были пожаробезопасными, помехоустойчивыми, допускали многоуровневое применение, обладали электромагнитной совместимостью. Надежность их должна составлять 0,99–0,999 при механической надежности 0,99999.

К крупнейшим фирмам-производителям датчиков относятся:

- **Transamerica** (США). Один из ведущих производителей датчиков давления с годовым доходом ~4 млрд. долл. Миниатюрные датчики давления серии ВНЛ-4700 фирмы могут работать при температуре до 240°C. Диаметр датчика 13 мм, выходной сигнал ~75 мВ;
- **Entran Devices** (США). Миниатюрные датчики давления для авиакосмической техники. Диапазон рабочих температур (Δt°) -40...120°C, $U_{п} = 10$ В, $U_{вых} = 100$ мВ, точность измерений – $\pm 0,5\%$;



- **Kulite Semiconductor Production** (США). Миниатюрные датчики давления для авиационной и оборонной отраслей промышленности. Диапазон измерений (ΔP_x) 0...30 кПа, точность $\pm 1\%$;
- **Druck** (Великобритания). Миниатюрные полупроводниковые датчики абсолютного, избыточного и дифференциального давления для авиакосмической и автомобильной отраслей промышленности. ΔP_x от 0...0,7 кПа до 70 МПа, точность до $\pm 0,12\%$ и $\Delta t^\circ = -40...125^\circ\text{C}$;
- **Kistler** (Швейцария). Датчики давления на пьезоэлектрическом и пьезорезистивном принципах преобразования. Пьезорезистивные датчики используются для измерения значений статического и динамического давления. Максимальная частота – 100–150 Гц. Последняя разработка фирмы – полупроводниковый датчик относительного давления с измерительным элементом Tenso Symmetric, позволяющим повысить термостабильность и расширить частотный диапазон до $\Delta t^\circ = -20...120^\circ\text{C}$; $\Delta P_x = 0...0,02$ МПа; диаметр = 19 мм;
- **Endevco** (США). Полупроводниковые датчики для авиакосмической техники, отличающиеся высокой собственной частотой, малыми габаритами и массой, высокой чувствительностью, что позволяет использовать их в качестве эталонных при проведении стендовых и летних испытаний РКТ;
- **Siemens** (ФРГ). Полупроводниковые датчики низких давлений: КРУ 31, 32, 33; $\Delta P_x = 2-10$ кПа, $U_{\text{Вых}} = 30, 40, 60$ мВ, $U_n = 5$ В;
- **Ermeto Armaturen** (ФРГ). Миниатюрные пьезорезистивные датчики типа SCPT для измерения давления и температуры с выходным сигналом по току 4...20 мА, по напряжению 0...3 В; $\Delta P_x = 0...0,6$ МПа, $\Delta t^\circ = -50...150^\circ\text{C}$;
- **RFT** (Германия). Конденсаторные приемники давления на частотный диапазон от 2 Гц до 100 кГц для лабораторных исследований;
- **Lem** (Франция). Миниатюрные приемники давления электретного и пьезоэлектрического типов для исследования нестационарных и аэрогазодинамических процессов. Благодаря малым размерам могут устанавливаться в труднодоступных местах: на лопатках компрессоров, турбинах и т.п.

Большое внимание производители уделяют повышению надежности, уменьшению габаритов и массы датчиков. Особый интерес вызывает пьезорезистивный эффект в поликремниевых пленках. Благодаря высокому сопротивлению и отсутствию *p-n*-перехода датчики на основе таких пленок могут работать при температурах до 250°C . За рубежом активно разрабатываются и внедряются в военную технику волоконно-оптические датчики. По данным американских фирм, ежегодные темпы роста их объема продаж превышают 15%. Сегодня волоконно-оптические датчики уже применяются в космической системе многоазового использования.

Развитие новых направлений в технологии датчиков дало импульс к совершенствованию традиционных приборов, поэтому пока, несмотря на внедрение в практику датчиков, созданных на новых принципах, традиционные устройства все еще доминируют на рынке. И, как показал анализ отечественной и зарубежной измерительной техники, на сегодняшний день наиболее динамично развиваются микроэлектронные и полупроводниковые датчики. В США датчики в микроэлектронном исполнении выпускают более 250 предприятий. При этом на долю полупроводниковых датчиков приходится до 60% общего объема производства этих изделий. В среднем объем производства микроэлектронных датчиков в таких странах, как США, Япония и Германия, ежегодно увеличивается в полтора-два раза.

Следует отметить, что если до 90-х годов основное внимание уделялось развитию датчиков для оборонной техники, то сегодня все больше усилий направлено на совершенствование приборов для бытовой техники – холодильников, микроволновых печей, стиральных машин, кондиционеров, пылесосов. Самый распространенный тип датчика для таких применений – емкостной, но достаточно широко используются и волоконно-оптические, и пьезорезистивные датчики.

Особое внимание сегодня уделяется датчикам, выполненным по технологии микросистемной техники. В настоящее время на основе этих технологий фирмами Analog Devices, Motorola, Kistler, Endevco и другими разработана широкая номенклатура миниатюрных дешевых емкостных акселерометров средней точности для систем безопасности автомобилей и строительной техники. Новые концепции развития акселерометров предусматривают совершенствование их технологического базиса с целью увеличения точности и помехоустойчивости при одновременном улучшении динамических и массогабаритных характеристик. Наряду с этим как перспективные рассматриваются возможности выполнения акселерометров на основе новых материалов и физических эффектов, например туннельного эффекта и тепловой конверсии, пьезоэлектрических пленок высокой чувствительности и т.п.

Большое внимание уделяется разработке датчиков для газоанализаторов, используемых в автомобильной и химической промышленности для контроля состояния окружающей среды (определение взрывоопасных концентраций нефтепродуктов, пропана и бутана, экологический контроль паров керосина и дизельного топлива в атмосфере, экспресс-контроль различных марок бензина, контроль при производстве минеральных удобрений). Для этих целей, как правило, используются электрохимические датчики. Однако наряду с очевидными достоинствами, такими как малые габариты и энергоемкость, они в целом настраиваются и градуируются только на один вид газа. Сегодня более перспективно применение датчиков на основе МОП-структур, примесная проводимость которых в результате адсорбции газа изменяется. Такие датчики могут устанавливаться и в распределенных измерительных системах совместно с другими датчиками регистрации экопараметров.

Другое перспективное направление исследований в области газочувствительных элементов – использование явления изменения оптических свойств различных веществ (реагентов) в зависимости от концентрации определенного газа.

Значительный интерес представляет разработка системы контроля герметичности упаковки товаров, которая сможет устанавливать факт нарушения герметичности вакуумированной (или заполненной газом под давлением выше атмосферного) упаковки. В упаковку помещается микродатчик абсолютного давления (размером до 2×2 мм) с герметичными выводами (например, провода, опрессованные упаковочной полиэтиленовой пленкой), выходами из упаковки. Давление измеряемой среды воздействует на мембрану кремниевого кристалла, на котором выполнены тензорезисторы, включенные по мостовой схеме. Выходной сигнал мостовой схемы, пропорциональный значению измеряемого давления, поступает на анализатор, состоящий из преобразователя сигнала датчика, регистратора показаний и блока питания.

СОСТОЯНИЕ ДЕЛ В РОССИИ

Несмотря на произошедшие в последнее десятилетие серьезные, подчас драматичные, изменения в научно-технической сфере, в России продолжают работы по улучшению характеристик датчи-

ков различного назначения. При разработке датчиков для бытового оборудования российские ученые ставят задачу создания устройств с совершенно новыми свойствами, более низкой стоимостью и лучшими характеристиками (габариты, точность и др.) в сравнении с зарубежными образцами. Так, на основе открытого российскими учеными неизвестного ранее явления резонансной автомодуляции параметров излучения волоконного лазера с оптическим нелинейным зеркалом (микрорезонатором) созданы высокочувствительные датчики физических величин. Как считают авторы, используя это явление, удастся преобразовать внешние физические воздействия на микрорезонатор в пропорциональное изменение частоты автомодуляции. Это значит, что появились предпосылки создания нового инструмента для измерения таких физических величин, как температура, давление, влажность, магнитное поле, электрический ток, вибрация, ускорение, концентрация газов и др.

Волоконно-оптический лазер, в отличие от твердотельных, газовых и других типов лазеров с их достаточно изрядными размерами и массой, по существу представляет собой лишь отрезок оптического световода толщиной с человеческий волос. Микрорезонатор-датчик изготавливается на монокристаллическом кремнии или из пьезокварца методами анизотропного травления и плазмохимии. Важное достоинство разработки – простота монтажа множества миниатюрных датчиков в разветвленную от одного лазера сеть. Передачу излучения практически на любые расстояния обеспечивают волоконно-оптические линии, благодаря чему достигается развязка каналов, исключаются взаимные помехи, не допустимые при очень плотной компоновке аппаратуры. Бестоковые цепи предотвращают возникновение проблем короткого замыкания и пожароопасности. На точность и надежность датчика не влияют ни агрессивная среда, ни мощная радиация до 10 рад, вызывающая в полупроводниковых приборах необратимые изменения, приводящие к отказам. Поскольку универсальной мерой измерения любых физических параметров служит частота, новый датчик по точности измерений на два-три порядка превосходит все традиционные устройства.

Последние разработки направлены на создание дифференциальных схем измерения. В этом случае в сеть, помимо информационных датчиков, включается нейтральный к внешнему воздействию среды опорный резонатор. Сравнивая значения частоты датчиков с эталонным, можно получить разностную частоту, исключаящую все погрешности, обусловленные нестабильностью и случайными факторами.

Интерес представляет применение в качестве микрорезонаторов чувствительных элементов на базе фотонных кристаллов. По сути, эти кристаллы содержат пучок оптоволоконных микрокапилляров длиной не более 1 мм. Эффект от применения такого микрорезонатора тем значительнее, чем сложнее исследуемые среды с множеством контролируемых факторов. На этом принципе могут быть созданы, например, чрезвычайно точные, высокочувствительные и сверхминиатюрные радиационные дозиметры или газоанализаторы, а также многоканальные термометры для быстрого, практически в одно касание, замера температуры сразу в нескольких точках. Сейчас в проводимой НИР уже изготовлены макетные образцы такого микрорезонатора.

Российскими учеными предложено построение нового типа датчика на основе трех принципов термодинамики (положений Рене де Карта, или Картезиуса). Согласно этим положениям: 1) теплоту можно преобразовать в работу, 2) полностью такое преобразование возможно только при абсолютном нуле температу-

ры, 3) абсолютный нуль недостижим. Современная формулировка третьего положения гласит, что по мере приближения к абсолютному нулю энтропия любой равновесной системы перестаёт зависеть от каких-либо термодинамических параметров, принимая для всех систем одно и то же значение. На основе этого свойства можно построить датчик с бесконечно большим коэффициентом усиления, а также весовые системы на совершенно новых принципах. Рассмотрим плавающий на поверхности воды сосуд, в который доливают воду. При превышении порога плавучести сосуд пойдет ко дну (закон Архимеда). Если в этот сосуд с водой поместить другой, перевернув его на 180°, и плотно закрыть первый мембраной, то при слабом давлении на мембрану уровень воды во втором сосуде незначительно возрастет (термодинамический процесс – адиабата, или перепуск газа). А раз количество воды увеличивается (хоть бы на одну молекулу), второй сосуд тонет. После прекращения воздействия второй сосуд возвращается в исходное состояние. При этом необходимо напомнить, что дна у второго сосуда нет, так как он перевернут. Поскольку объем второго сосуда неизменен, закон Архимеда в этой системе не работает, точно так же, как он не работает в невесомости.

На базе такого датчика можно создать универсальные весы (например, для взвешивания белья в стиральной машине), барометр или термометр, чувствительный элемент которого может находиться на значительном расстоянии от измерительного прибора (в зоне недоступной или опасной для человека) и присоединяться к нему капиллярным трубопроводом с жидкостью. При этом появляется уникальная возможность регистрировать абсолютные значения измеряемых величин, другими словами, прибор не требует периодической калибровки. Еще одно достоинство датчика такого "термодинамического" типа – отсутствие присущей большинству измерительных приборов зоны нечувствительности вблизи нуля, поскольку рабочая характеристика не проходит через нуль и линейна.

Новый "термодинамический" датчик может послужить основой гравиметра, предназначенного для прогноза землетрясений. На его базе возможно построение совершенно новых двигательных систем. Он найдет применение и в игрушках для изменения положения отдельных их частей и/или их свойств (цвета, звука, запаха и пр.)

Нельзя не отметить и бесконтактный (дистанционный) датчик измерения температуры, выполненный на принципе регистрации тепловых полей. Основное его преимущество перед мировыми устройствами аналогичного типа – широкий динамический диапазон (-32...450°C и -16...900°C при точности измерения 1% от уровня температуры). К примеру, погрешность аналогового датчика для дистанционного измерения температуры типа OS 520 фирмы Omega (США) составляет $\pm 2\%$ при измерении температуры в диапазоне -18...400°C.

Российскими учеными предложен и датчик, позволяющий контролировать изменения положения объекта относительно магнитного или искусственно созданного поля Земли. Датчик построен на основе магниторезонансного эффекта, т.е. зависимости электропроводности тонкопленочной структуры от ориентации внешнего магнитного поля, и характеризуется нечеткой и линейной (в определенном интервале полей) функцией преобразования. Отличительная его особенность – возможность повышения термостабильности чувствительности аппаратными средствами.

Ведется разработка системы на основе биосенсоров, позволяющей определять типы основных стиральных порошков, выпуска-

.....

емых фирмами-лидерами в области моющих средств. Система сможет идентифицировать 10–15 основных типов стиральных порошков за 3–5 мин.

В российском автомобилестроении наиболее широкое применение в системах управления двигателями внутреннего сгорания нашли пьезоэлектрические (вибрационные) датчики детонации. Это объясняется, в частности, их высокими химической стойкостью при повышенной температуре и пьезочувствительностью, а также относительно низкой стоимостью пьезокерамики.

Интенсивно развиваются датчики для медицинского оборудования, что связано с конверсией оборонно-промышленных предприятий. Правда, процесс внедрения разработок идет медленно, так как необходимо получать слишком много разрешительных документов на их использование, а на это уходит иногда больше года. Тем не менее, сегодня подавляющее большинство диагностических и терапевтических приборов и систем прямо или косвенно содержат множество самых разных преобразователей и датчиков.

Потребность в датчиках во всем мире непрерывно растет. Постоянно ведется поиск новых видов измерительной техники, расширяется круг используемых материалов и технологий. Одновременно совершенствуются приборы на основе традиционных принципов преобразования (тензорезистивные, пьезорезистивные, пьезоэлектрические, индуктивные, емкостные, вихретоковые и др.). И во всем этом успехи отечественных разработчиков очевидны. ○
