# **[Тема. 7. Первичные измерительные преобразователи (датчики)](#_Toc324507560)**

**Лекція 14. Назначение, области применения и основные определения датчиков. Температурные датчики. Омические (резистивные) датчики. Индуктивные и емкостные датчики. Генераторные датчики**

**Датчики** или, по-другому, **сенсоры** (часто называемые также измерительными преобразователями, первичными преобразователями) являются элементами многих систем автоматики – с их помощью получают информацию о параметрах контролируемой системы или устройства.

**Датчик** – это элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и т. д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а также для воздействия им на управляемые процессы.

**Датчик** – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в электрический сигнал.

Датчики широко используются в информационно-измерительных системах, для автоматизация различных технологических процессов. Эффективное управление различными агрегатами, машинами, механизмами, технологическими процессами требуют многочисленных измерений разнообразных физических величин.

14.1 Температурные датчики. Омические (резистивные) датчики. Индуктивные и емкостные датчики. Генераторные датчики

Рассмотрим различные типы датчиков

**Температурные датчики.** В современном промышленном производстве наиболее распространенными являются измерения температуры (так, на атомной электростанции среднего размера имеется около 1500 точек, в которых производится такое измерение). Широкий диапазон измеряемых температур, разнообразие условий использования средств измерений и требований к ним определяют многообразие применяемых средств измерения температуры.

Если рассматривать датчики температуры для промышленного применения, то можно выделить их основные классы: кремниевые датчики температуры, биметаллические датчики, жидкостные и газовые термометры, термоиндикаторы, термисторы, термопары, термопреобразователи сопротивления, инфракрасные датчики.

**Кремниевые датчики температуры** используют зависимость сопротивления полупроводникового кремния от температуры. Диапазон измеряемых температур -50…+150 0C. Применяются в основном для измерения температуры внутри электронных приборов.

**Биметаллический датчик** сделан из двух разнородных металлических пластин, скрепленных между собой. Разные металлы имеют различный температурный коэффициент расширения. Если соединенные в пластину металлы нагреть или охладить, то она изогнется, при этом замкнет (разомкнет) электрические контакты или переведет стрелку индикатора. Диапазон работы биметаллических датчиков -40…+550 0C. Используются для измерения поверхности твердых тел и температуры жидкостей. Основные области применения – автомобильная промышленность, системы отопления и нагрева воды.

**Термоиндикаторы** – это особые вещества, изменяющие свой цвет под воздействием температуры. Изменение цвета может быть обратимым и необратимым. Производятся в виде пленок.

**Термопреобразователи сопротивления (терморезисторы)**

Принцип действия термопреобразователей сопротивления основан на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры.

Платиновые терморезисторы предназначены для измерения температур в пределах от

– 260 до 1100 0С. Широкое распространение на практике получили более дешевые медные терморезисторы, имеющие линейную зависимость сопротивления от температуры.

Недостатком меди является небольшое ее удельное сопротивление и легкая окисляемость при высоких температурах, вследствие чего конечный предел применения медных термометров сопротивления ограничивается температурой 180 0C. По стабильности и воспроизводимости характеристик медные терморезисторы уступают платиновым. Никель используется в недорогих датчиках для измерения в диапазоне комнатных температур.

Полупроводниковые терморезисторы (термисторы) имеют отрицательный или положительный температурный коэффициент сопротивления, значение которого при 20 0C  составляет (2…8) 10–2(0C)–1, т.е. на порядок больше, чем у меди и платины. Полупроводниковые терморезисторы при весьма малых размерах имеют высокие значения сопротивления (до 1 МОм). В качестве полупроводниковых материалов используются оксиды металлов: полупроводниковые терморезисторы типов КМТ – смесь окислов кобальта и марганца и ММТ – меди и марганца.

Полупроводниковые датчики температуры обладают высокой стабильностью характеристик во времени и применяются для измерения температур в диапазоне от –100 до 200 0С.

Температурная характеристика полупроводниковых терморезисторов имеет вид:



Рис. 14.1. Температурная характеристика полупроводниковых терморезисторов

Полупроводниковые терморезисторы (термисторы) имеют много достоинств:

– обладают высокой чувствительностью (в 6 раз большей, чем металлические);

– имеют малую массу и размеры (от 0,006 до 2,5 мм);

– обладают малой инерционностью.

Недостатками терморезисторов являются:

– нелинейность температурной характеристики;

– большой разброс параметров;

– старение и некоторая нестабильность характеристик.

**Термоэлектрические преобразователи (термопары)** – их принцип действия основан на термоэлектрическом эффекте, который состоит в том, что при наличии разности температур мест соединений (спаев) двух разнородных металлов или полупроводников в контуре возникает электродвижущая сила, называемая термоэлектродвижущей (сокращенно термо-ЭДС). В определенном интервале температур можно считать, что термо-ЭДС прямо пропорциональна разности температур ΔT = Т1 – Т0 между спаем и концами термопары.

Соединенные между собой концы термопары, погружаемые в среду, температура которой измеряется, называют рабочим концом термопары. Концы, которые находятся в окружающей среде, и которые обычно присоединяют проводами к измерительной схеме, называют свободными концами. Температуру этих концов необходимо поддерживать постоянной.

**Инфракрасные датчики (пирометры)** используют энергию излучения нагретых тел, что позволяет измерять температуру поверхности на расстоянии. Пирометры делятся на радиационные, яркостные и цветовые.

Радиационные пирометры используются для измерения температуры от 20 до 2500 0С, причем прибор измеряет интегральную интенсивность излучения реального объекта.

Яркостные (оптические) пирометры используются для измерения температур от 500 до 4000 0С. Они основаны на сравнении в узком участке спектра яркости исследуемого объекта с яркостью образцового излучателя (фотометрической лампы).

Цветовые пирометры основаны на измерении отношения интенсивностей излучения на двух длинах волн, выбираемых обычно в красной или синей части спектра; они используются для измерения температуры в диапазоне от 800 0С.

Пирометры позволяют измерять температуру в труднодоступных местах и температуру движущихся объектов, высокие температуры, где другие датчики уже не работают.

**Кварцевые термопреобразователи** используют для измерения температур от – 80 до 250 0С, часто используются кварцевые термопреобразователи, использующие зависимость собственной частоты кварцевого элемента от температуры. Данные датчики широко используются в цифровых термометрах.

**Омические (резистивные) датчики**– принцип действия основан на изменении их активного сопротивления при изменении длины ***l***, площади сечения ***S*** или удельного сопротивления **p**:

R= pl/S

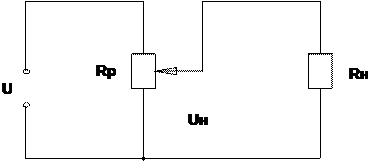
Резистивные датчики делят на: контактные, потенциометрические (реостатные), тензорезисторные, терморезисторные, фоторезисторные.

**Контактные датчики** – это простейший вид резисторных датчиков, которые преобразуют перемещение первичного элемента в скачкообразное изменение сопротивления электрической цепи. С помощью контактных датчиков измеряют и контролируют усилия, перемещения, температуру, размеры объектов, контролируют их форму и т. д. К контактным датчикам относятся путевые и концевые выключатели, контактные термометры и, так называемые, электродные датчики, используемые в основном для измерения предельных уровней электропроводных жидкостей. Контактные датчики могут работать как на постоянном, так и на переменном токе. Недостаток контактных датчиков – сложность осуществления непрерывного контроля и ограниченный срок службы контактной системы. Но благодаря предельной простоте этих датчиков их широко применяют в системах автоматики.

**Реостатные датчики** представляют собой резистор с изменяющимся активным сопротивлением. Входной величиной датчика является перемещение контакта, а выходной – изменение его сопротивления. Подвижный контакт механически связан с объектом, перемещение (угловое или линейное) которого необходимо преобразовать.

Наибольшее распространение получила потенциометрическая схема включения реостатного датчика, в которой реостат включают по схеме делителя напряжения.

Потенциометрическая схема включения преобразователя

****

Обычно реостатные датчики применяют в механических измерительных приборах для преобразования их показаний в электрические величины (ток или напряжение), например, в поплавковых измерителях уровня жидкостей, различных манометрах и т. п.

Потенциометрические датчики, конструктивно представляющие собой переменные резисторы, которые выполняют из различных материлов – обмоточного провода, металлических пленок, полупроводников и т. д.

**Тензометрические датчики (тензорезисторы)**

Поскольку сопротивление проводника определяется соотношением R = rL / S, где r – удельное сопротивление материала; L – длина S – площадь поперечного сечения, то сопротивление может меняться при любом изменении измеряемой величины, которая влияет на один или несколько аргументов, входящих в это выражение. Приведенная зависимость используется в тензодатчиках – преобразователях, которые превращают изменение прилагаемого усилия, в изменение сопротивления. Как правило, такой преобразователь применяется вместе с мостом Уитстона, когда одно, два или даже все четыре плечи представляют собой тензодатчики, а выходное напряжение изменяется в ответ на изменение измеряемого усилия.

Тензорезисторы служат для измерения механических напряжений, небольших деформаций, вибрации. Действие тензорезисторов основано на тензоэффекте, заключающемся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов под воздействием приложенных к ним усилий.

Рассмотрим схему включения тензорезистора



Рис. 14.2. Схема включения тензорезистора в измерительный мост

Условие баланса моста имеет вид

*R1R3=R2R4*

В этом случае на выходе моста нулевой сигнал, *U*вых=0.

Если давление изменяется, выходное напряжение изменяется пропорционально изменению давления.

**Термометрические датчики** **(терморезисторы)** – преобразователи изменения температуры в изменение сопротивления.

Терморезисторы в качестве датчиков используют двумя способами:

1. Температура терморезистора определяется окружающей средой; ток, проходящий через терморезистор, настолько мал, что не вызывает нагрева терморезистора. При этом условии терморезистор используется как датчик температуры и часто называется «термометром сопротивления».

2. Температура терморезистора определяется степенью нагрева постоянным по величине током и условиями охлаждения. В этом случае установившаяся температура определяется условиями теплоотдачи поверхности терморезистора (скоростью движения окружающей среды – газа или жидкости – относительно терморезистора, ее плотностью, вязкостью и температурой), поэтому терморезистор может быть использован как датчик скорости потока, теплопроводности окружающей среды, плотности газов и т. п. В датчиках такого рода происходит как бы двухступенчатое преобразование: измеряемая величина сначала преобразуется в изменение температуры терморезистора, которое затем преобразуется в изменение сопротивления.

Терморезисторы изготовляют как из чистых металлов, так и из полупроводников. Материал, из которого изготавливается такие датчики, должен обладать высоким температурным коэффициентом сопротивления, по возможности линейной зависимостью сопротивления от температуры, хорошей воспроизводимостью свойств и инертностью к воздействиям окружающей среды.

**Индуктивные датчики** служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов, роботов и т.п. и преобразования этой информации в электрический сигнал.

Принцип действия индуктивного датчика основан на изменении индуктивности обмотки на магнитопроводе в зависимости от положения отдельных элементов магнитопровода (якоря, сердечника и др.). В таких датчиках линейное или угловое перемещение *X* (входная величина) преобразуется в изменение индуктивности (*L*) датчика. Применяются для измерения угловых и линейных перемещений, деформаций, контроля размеров и т.д.

В простейшем случае индуктивный датчик представляет собой катушку индуктивности с магнитопроводом, подвижный элемент которого (якорь) перемещается под действием измеряемой величины.

Индуктивный датчик распознает и соответственно реагирует на все токопроводящие предметы. Индуктивный датчик является бесконтактным, не требует механичесого воздействия, работает бесконтактно за счет изменения электромагнитного поля.

**Преимущества:**

– нет механического износа, отсутствуют отказы, связанные с состоянием контактов

– отсутствует дребезг контактов и ложные срабатывания

– высокая частота переключений до 3000 Hz

– устойчив к механическим воздействиям

**Недостатки** – сравнительно малая чувствительность, зависимость индуктивного сопротивления от частоты питающего напряжения, значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину (за счет притяжения якоря к сердечнику).

**Емкостные датчики** – принцип действия основан на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними.

Для двухобкладочного плоского конденсатора электрическая емкость определяется выражением

*С = e0eS/h*,

где *e0* – диэлектрическая постоянная; *e* – относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками; *S* – активная площадь обкладок; *h* – расстояние между обкладками конденсатора.

Зависимости *C*(*S*) и *C*(*h*) используют для преобразования механических перемещений в изменение емкости.

Емкостные датчики, также, как и индуктивные, питаются переменным напряжением (обычно повышенной частоты – до десятков мегагерц). В качестве измерительных схем обычно применяют мостовые схемы и схемы с использованием резонансных контуров. В последнем случае, как правило, используют зависимость частоты колебаний генератора от емкости резонансного контура, т.е. датчик имеет частотный выход.

Достоинства емкостных датчиков – простота, высокая чувствительность и малая инерционность. Недостатки – влияние внешних электрических полей, относительная сложность измерительных устройств.

Емкостные датчики применяют для измерения угловых перемещений, очень малых линейных перемещений, вибраций, скорости движения и т. д., а также для воспроизведения заданных функций (гармонических, пилообразных, прямоугольных и т. п.).

Емкостные преобразователи, диэлектрическая проницаемость *e* которых изменяется за счет перемещения, деформации или изменения состава диэлектрика, применяют в качестве датчиков уровня непроводящих жидкостей, сыпучих и порошкообразных материалов, толщины слоя непроводящих материалов (толщиномеры), а также контроля влажности и состава вещества.

**Генераторные датчики** осуществляют непосредственное преобразование входной величины *X* в электрический сигнал. Такие датчики преобразуют энергию источника входной (измеряемой) величины сразу в электрический сигнал, т.е. они являются как бы генераторами электроэнергии (откуда и название таких датчиков - они генерируют электрический сигнал).

Дополнительные источники электроэнергии для работы таких датчиков принципиально не требуются (тем не менее дополнительная электроэнергия может потребоваться для усиления выходного сигнала датчика, его преобразования в другие виды сигналов и других целей). Генераторными являются термоэлектрические, пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические и многие другие типы датчиков.