

## АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ

**Назарбаева Барно Асатовна**

ТашГТУ, доцент кафедры «Метрология, техническое регулирование, стандартизация и сертификация».

**Тургунбаев Асатулла**

ТашГТУ, профессор кафедры «Метрология, техническое регулирование, стандартизация и сертификация».

**Тажибаев Турсынбек Болатович**

ТашГТУ, магистрант кафедры «Метрология, техническое регулирование, стандартизация и сертификация».

### **АННОТАЦИЯ**

*В данной статье анализируются метрологические характеристики современных датчиков. В данном исследовании в основном рассмотрены датчики температуры. Датчики прямого действия построены на основе физических явлений, в которых были проанализированы способы получения электрических сигналов на выходе в ответ на неэлектрические воздействия.*

**Ключевые слова:** современные датчики, калибровочная температура, температурная чувствительность, пьезоэлектрический датчик, сопротивление системы, надежность.

### **ABSTRACT**

*This article analyzes the metrological characteristics of modern sensors. In this study, temperature sensors are mainly considered. Direct-acting sensors will be built on the basis of physical phenomena in which methods of obtaining electrical signals at the output in response to non-electrical influences have been analyzed.*

**Keywords:** modern sensors, calibration temperature, temperature sensitivity, piezoelectric sensor, system resistance, reliability.

Использование микропроцессоров позволяет создавать очень сложные инструменты, находящие свое применение в различных областях человеческой деятельности. Микропроцессоры являются цифровыми устройствами, работающими с двоичными кодами. В виде двоичных кодов можно представить

практически любые электрические сигналы. Однако мы живем в аналоговом мире, где большинство устройств не являются цифровыми. Сигналы окружающего нас мира не всегда бывают электрическими. Для того, чтобы сложные интеллектуальные цифровые системы могли воспринимать информацию из внешнего мира, необходимы интерфейсные устройства, преобразующие разнообразные физические величины в электрические сигналы. Такими интерфейсными устройствами являются датчики.

*Датчик* – это устройство, воспринимающее внешние воздействия и реагирующее на них изменением электрических сигналов. Под внешним воздействием понимается количественная характеристика объекта, его свойство или качество, которую необходимо воспринять и преобразовать в электрический сигнал. Назначение датчиков – преобразование физической величины (электрической или чаще всего неэлектрической) в электрический сигнал, который может быть далее усилен, преобразован при помощи электронных устройств и/или передан по линиям передач[2]. Выходными сигналами датчиков могут быть напряжение, ток или заряд, описываемые такими характеристиками как амплитуда, частота, фаза или цифровым кодом. Набор характеристик, описывающих сигнал, называется форматом выходного сигнала. Каждый датчик характеризуется набором входных параметров (любой физической природы) и набором выходных параметров.

#### Физические принципы работы датчиков

Датчики прямого действия строятся на основе физических явлений, позволяющих в ответ на неэлектрические воздействия получать на выходе электрические сигналы. К таким явлениям относятся, например, фотоэффект, пьезоэлектрический эффект, эффект Зеебека (термоэлектрический эффект) и др. Рассмотрим некоторые свойства материалов и физические явления, на которые необходимо обратить внимание при разработке датчиков[1].

Резистивные датчики температуры являются самыми распространенными среди датчиков температуры. При выборе материала для этих типов датчиков нужно обратить внимание на свойства, таких как температурный коэффициент сопротивления и линейная зависимость температуры и электрического сопротивления. Проводимость материала зависит от изменения температуры  $t$ , и в сравнительно узком диапазоне может быть выражена формулой:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta t), \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – удельное сопротивление материала при эталонной температуре  $t_0$  (обычно равной 0 или 25 °C);

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления (ТКС);

$\Delta t$  – разность текущей температуры  $t$  и эталонной  $t_0$ .

В более широком диапазоне зависимость удельного сопротивления от температуры является нелинейной функцией. Металлы имеют положительный ТКС, а многие полупроводники и оксиды – отрицательный. Для резисторов, используемых в электронных схемах, желательно применять материалы с низким температурным коэффициентом, для построения же температурных датчиков резисторы должны обладать высоким ТКС. Резистивные датчики температуры называют также термисторами или температурными детекторами. Наиболее популярным температурным детектором является платиновый, имеющий значение ТКС  $3,7 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  и работающий в широком температурном диапазоне  $200 \div 600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Термисторы – это резисторы с большим значением либо положительного, либо отрицательного ТКС. Их изготавливают из полупроводников, состоящих из оксидов одного или нескольких металлов, таких как никель, марганец, кобальт, титан, железо[4]. Оксиды других металлов применяются очень редко. Сопротивления термисторов лежат в пределах от долей Ом до многих МОм. Они выполняются в форме диска, капли, трубки, пластины. При применении современных тонкопленочных технологий возможно изготовить термистор методом печатного монтажа на керамической подложке. Термисторы с отрицательным ТКС изготавливают из платины, спеченной с керамикой. Термисторы обладают нелинейной зависимостью сопротивления от температуры, которую можно аппроксимировать несколькими вариантами уравнений, одним из которых является следующий:

$$R_t \approx R_0 \cdot e^{\beta(1/T - 1/T_0)}, \quad (2)$$

где  $T_0$  – калибровочная температура в Кельвинах;

$R_0$  – значение сопротивления при температуре калибровки;

$\beta$  – характеристическая температура материала (в Кельвинах).

Обычно значения  $\beta$  лежат в диапазоне  $3000 \div 5000 \text{ K}$ , и в пределах узкой зоны измерений могут считаться независимыми от температуры. Традиционно термисторы калибруются и тестируются при температуре  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_0 = 298,15 \text{ K}$ ), а температурные детекторы – при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_0 = 273,15 \text{ K}$ )[3].

Проанализируем другой вид датчиков, датчики давления. Широко используются в технике датчики давления на основе пьезоэлектрических элементов. Пьезоэлектрические элементы могут использоваться либо в форме кристалла, либо многослойной структуры, в которой отдельные пластины соединяются при помощи электродов, размещенных между ними. Когда, например, к двухслойному датчику (рис. 1) прикладывается внешняя сила (направление действия указано на рисунке стрелкой), верхняя часть его

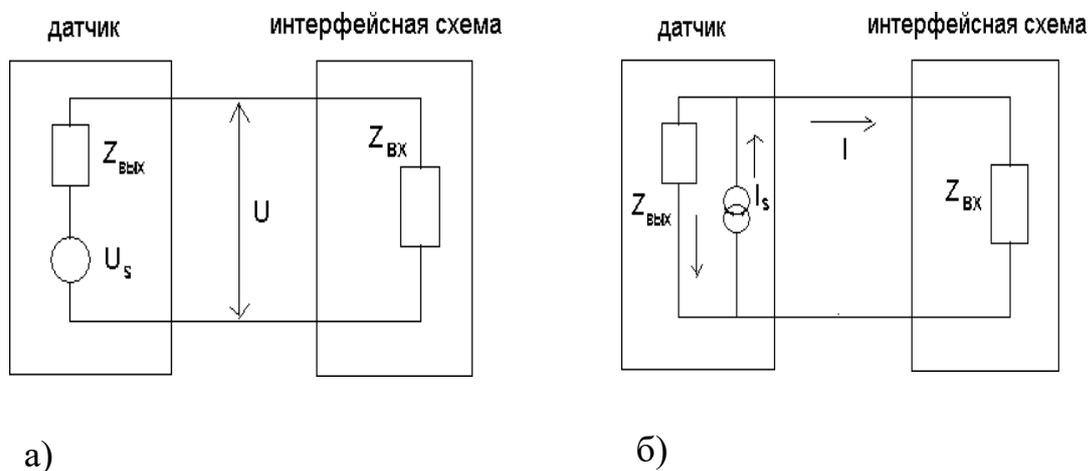
растягивается, тогда как нижняя сжимается, что при соответствующем включении датчика приводит к удвоению выходного сигнала.



**Рис.1. Двухслойный пьезоэлектрический датчик ( $U$ –напряжение выхода)**

Двойные сенсоры могут включаться как параллельно, так и последовательно. В терминах эквивалентных электрических схем пьезоэлектрический датчик представляет собой параллельное соединение сопротивления утечки, емкости и источника тока. Сопротивление утечки, как правило, имеет очень большие значения (до  $10^{12} \div 10^{14}$  Ом), т.е. такой датчик обладает очень высоким выходным импедансом. Для согласования такого устройства с последующими электронными цепями необходимо использовать соответствующие интерфейсы, представляющие собой преобразователи заряда или тока в напряжение, или усилители напряжения, имеющие высокие входные сопротивления.

Соединение датчика с интерфейсной схемой показан на рис. 2, где указаны два вида соединений: датчик с выходным сигналом в виде напряжения и датчик с токовым выходом.



**Рис. 2. Соединение датчика с интерфейсной схемой: а) датчик с выходным сигналом в виде напряжения, б) датчик с токовым выходом.**

В последнее время пьезоэлектрические пленки (в том числе и полимерные) обретают большую популярность, поскольку обладают целым набором уникальных свойств. Например, широкий частотный диапазон (от 0,001 до 10<sup>9</sup> Гц), низкий акустический импеданс, высокое выходное напряжение (в 10 раз выше, чем у керамических материалов при приложении одинаковых механических сил), высокая электрическая и механическая прочность и

ударостойкость, устойчивость к влажности, большинству химических реактивов и другие. Кроме того, им можно придавать практически любую требуемую форму и соединять обычными клеями. В то же время у них есть и недостатки, к которым в первую очередь следует отнести существенные ограничения по рабочей температуре (не более 135 °С, а для некоторых пленок и 100 °С). Кроме того их необходимо экранировать от высокочастотных электромагнитных помех и радиочастотных шумов, поскольку как только на пленку наносятся электроды, она становится чувствительной к электромагнитному излучению [5].

В миниатюрных полупроводниковых датчиках пьезоэлектрический эффект является основным средством преобразования механической деформации в электрические сигналы и наоборот. Однако следует помнить, что этот эффект применим для преобразования переменных входных сигналов и не годится для стационарных, либо медленно меняющихся внешних воздействий. Кремний сам по себе не обладает пьезоэлектрическими свойствами. Поэтому для придания ему таких свойств на его поверхность наносят кристаллические слои пьезо материалов. Например, ZnO, AlN и другие.

В стационарных условиях датчик полностью описывается своей передаточной функцией, диапазоном измеряемых значений, калибровочными коэффициентами и т. д. Однако на практике выходной сигнал датчика не всегда с достаточной точностью отслеживает изменения внешнего сигнала. Т. е. любой датчик обладает параметрами, зависящими от времени, называемыми динамическими характеристиками. Если датчик имеет ограниченное быстродействие, он может регистрировать значения величины внешних воздействий, отличные от реальных в данный момент времени, иначе говоря, работать с динамической погрешностью. Если датчик входит в измерительную систему, обладающую определенными динамическими характеристиками, внесение дополнительных динамических погрешностей может привести к задержке отображения реального значения внешнего воздействия, в худшем же случае – к возникновению колебаний в системе[4].

В теории автоматического управления принято описывать взаимосвязь между входами и выходами устройств в виде линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. При решении таких уравнений можно определить динамические характеристики устройства. В зависимости от конструкций датчиков уравнения, описывающие их, могут иметь разный порядок. Например, дифференциальные уравнения первого порядка описывают поведение датчиков, в состав которых входит один энерго преобразующий элемент (например, датчик температуры, в котором теплота преобразуется в электрический сигнал). В качестве динамических характеристик таких датчиков

обычно указываются их частотные характеристики, показывающие, насколько быстро датчик может отреагировать на изменение внешнего воздействия. Для отображения относительного уменьшения выходного сигнала при увеличении частоты применяется амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), граничная частота, соответствующая снижению выходного сигнала на 3 дБ, показывающая, на какой частоте происходит 30% уменьшение величины выходного напряжения или тока. Эта граничная частота называется верхней частотой среза и считается предельной частотой работы датчика[2,1].

Частотные характеристики напрямую связаны с быстродействием датчика, которое выражается в единицах внешнего воздействия на единицу времени. То, какие именно характеристики, АЧХ или быстродействие, используются для описания датчика, зависит от его типа, области применения и предпочтений разработчиков. Другой способ описания быстродействия состоит в определении времени, требуемого для достижения выходным сигналом датчика уровня в 90 % от стационарного или максимального значения при подаче на его вход ступенчатого внешнего воздействия. Еще один способ – определение постоянной времени  $\tau$  датчика. Например, в терминах электрических величин  $\tau = C \cdot R$ , где  $C$  - емкость,  $R$  – сопротивление системы. В тепловых терминах под  $C$  и  $R$  понимается теплоемкость и тепловое сопротивление. Постоянная времени является мерой инертности датчика.

Для возможности применения датчиков в различных областях важными могут быть и такие характеристики датчиков, как вес, конструкция, габариты. Если для датчиков главными параметрами являются точность и надежность, такая характеристика, как стоимость, не играет ведущей роли. Если устройства предназначены для систем жизнеобеспечения, оборонных комплексов, космических кораблей, их высокая стоимость оправдана предъявляемыми требованиями по точности и надежности. Существует целый ряд других областей применения датчиков, где их стоимость является основополагающей [6].

Надежность – это способность датчика выполнять требуемые функции при соблюдении определенных условий в течение заданного промежутка времени. В статистических терминах это вероятность того, что устройство будет работать без поломок в течение указанного промежутка времени или заданного количества циклов.

В общем случае, перед тем как приступить к разработке или выбору детектора (датчика), необходимо ответить на ряд вопросов, например, следующий:

- Величина и тип измеряемых величин

- Требуемая точность и разрешающая способность
- Материал, из которого изготовлен, или состоит объект (металл, пластмасса, жидкость, ферромагнетик, биологическая ткань и пр.)
- Диапазон измерений
- Условия окружающей среды, в которых должен работать датчик
- Потребляемая мощность датчика
- Размер пространства, отведенный под монтаж датчика
- Срок службы датчика
- Количество датчиков, которое необходимо изготовить и стоимость одного устройства.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Назаров Н. Г. «Метрология: основные понятия и математические модели» М. Высшая школа 2012 г.
2. Тартаковский Д. Ф. «Метрология, стандартизация и технические средства измерения» Учебник для ВУЗов М. Высшая школа 2014 г.
3. П. В. Новицкий, И. А. Зограф «Оценка погрешностей результатов измерений» - Л.: Энергоатомиздат, 2003 г. – 248 с.
4. Дж. Фрайден «Современные датчики. Справочник» М.: Техносфера, 2006 г. – 529 с. ISBN 5-94836-050-4
5. Клаассен Клаас Б. «Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике» М. 2002
6. М. К. Ефимчик «Технические средства электронных систем. Вводный курс» Мн.: Тесей, 2000. – 276 с.