

# Лекция № 9

## Первичные преобразователи систем измерения физических величин

- Восприятие физической величины и преобразование ее в электрический сигнал в измерительных системах осуществляется *первичными измерительными преобразователями* или измерительными датчиками.
- Датчики содержат *чувствительный элемент*, преобразующий измеряемую физическую величину в другую величину, пригодную для дальнейшей обработки и преобразования.
- Датчики принято делить на два класса: генераторные и параметрические.
- *В генераторных преобразователях* выходной сигнал в виде ЭДС, заряда или тока возникает в результате физических эффектов, функционально связанных с измеряемой неэлектрической величиной.
- *В параметрических преобразователях* собственно выходной величиной при воздействии входной является изменение параметров датчика: его сопротивления, емкости, индуктивности. Для работы с такими датчиками используют измерительные цепи, питаемые как постоянным, так и переменным током.

# Первичные преобразователи систем измерения физических величин

**Резистивные измерительные преобразователи** относятся к классу параметрических датчиков, включаемых в электрическую цепь с источником питания. Общим свойством является зависимость сопротивления датчика от измеряемой величины.

**Реостатный преобразователь** – прецизионный реостат, движок которого перемещается под действием измеряемой величины.

- Входной величиной датчика является линейное или угловое перемещение движка, выходной – изменение его сопротивления.
- Обмотка реостата изготавливается из провода с высоким удельным сопротивлением: константана, манганина, нихрома.
- Достоинство датчика заключается в его простоте, а недостаток – в механическом износе и химической коррозии, которые способны изменить рабочую характеристику датчика.
- Легко показать, что реостатный преобразователь перемещений имеет линейную функцию преобразования только при условии  $R_{нагр} \ll R_{реост}$ ,  
в противном случае появляется нелинейность.

$$u_n = f(x) = \frac{U_{ном}}{l} x$$

# Первичные преобразователи систем измерения физических величин

## *Резистивные измерительные преобразователи*

- *Тензорезисторный преобразователь (тензорезистор)* – проводник, изменяющий свое сопротивление при деформации растяжения–сжатия за счет тензоэффекта.
- Функцией преобразования тензорезистора является зависимость его относительного сопротивления от деформации:  $\frac{\Delta R}{R} = f(\varepsilon)$  .
- Различают металлические (проволочные, фольговые, пленочные) и полупроводниковые тензорезисторы. Полупроводниковые тензорезисторы имеют на два порядка большую чувствительность по сравнению с металлическими, но и сама чувствительность, и их сопротивление сильно зависят от температуры.
- Тензорезисторы применяют для измерений деформаций объекта контроля, для этого их наклеивают на объект контроля, чтобы они испытывали одинаковые с ним деформации.

# Первичные преобразователи систем измерения физических величин

## *Резистивные измерительные преобразователи*

- *Терморезисторные преобразователи (терморезисторы) – датчики, активное сопротивление которых меняется с изменением температуры, поэтому их называют термометры сопротивления.*
- В качестве терморезистора используют металлические или полупроводниковые резисторы. Последние также называют *термисторами*.
- Термометры сопротивлений обычно включают последовательно со вторичным прибором, часто с использованием компенсационных схем. В менее ответственных случаях для измерения сопротивлений используют мостовые схемы: в лабораторной практике – с ручным уравниванием, в производственных условиях – автоматические.

# Первичные преобразователи систем измерения физических величин

## *Резистивные измерительные преобразователи*

- Функция преобразования медного терморезистора линейна:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T), \quad \text{где } R_0 \text{ – сопротивление датчика при } T = 0^{\circ},$$

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

- Функция преобразования платинового терморезистора не линейна и обычно аппроксимируется квадратичным трехчленом:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T + \beta T^2). \quad \text{Коэффициенты зависимости равны:}$$

- $\alpha = 3,91 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}; \beta = 5,78 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-2}$ .  
Чувствительность термисторов в 6-10 раз больше чувствительности металлических терморезисторов. Недостатком термисторов является нелинейность функции преобразования, обычно описываемой выражением:

$$R_T = A e^{B/T}.$$

# Первичные преобразователи систем измерения физических величин

## *Резистивные измерительные преобразователи*

- *Фоторезисторные преобразователи (фоторезисторы)* – датчики, относящиеся к классу фотоэлектронных (оптоэлектронных) приемников. Принцип их работы основан на внутреннем фотоэффекте – явлении образования свободных электронов и дырок в полупроводнике при поглощении квантов света и резком возрастании его фотопроводимости.
- Фоторезистор представляет собой пластинку, на которую нанесен слой полупроводникового фоточувствительного материала (обычно из сернистого кадмия, селенистого кадмия или сернистого свинца).
- Одной из основных характеристик фоторезисторов является фоточувствительность – токовая чувствительность к световому потоку, определяемая отношением изменения фототока к вызвавшему это изменение лучистому потоку.

# Первичные преобразователи систем измерения физических величин

## **Фоторезисторные преобразователи**

- Чувствительность фоторезисторов может определяться кратностью изменения их сопротивления:  $k = R_T / R_{200}$ , где  $R_T$  – темновое сопротивление неосвещенного преобразователя (обычно  $R_T = 10^3 - 10^7$ ),  $R_{200}$  – сопротивление при освещенности  $E = 200$  лк.
- В целом фоторезисторы характеризуются высокой чувствительностью, большим спектральным диапазоном, возможностью использования в инфракрасной области спектра. К их недостаткам относят значительную инерционность: постоянная времени сернисто-кадмиевых датчиков лежит в пределах 1-140 мс, селенисто-кадмиевых – 0.5-20 мс. Отсюда сравнительно низкая граничная частота их использования –  $10^3 - 10^4$  Гц.

# Первичные преобразователи систем измерения физических величин

## *Резистивные измерительные преобразователи*

- *Магниторезистивные преобразователи (магниторезисторы)* относятся к классу гальваномагнитных преобразователей, изменение сопротивления которых обусловлено изменением подвижности носителей зарядов в полупроводниках под действием магнитного поля. При воздействии магнитного поля с индукцией  $B$  скорость движения носителей зарядов в направлении поля уменьшается.
- Функция преобразования магниторезистора, описывающая зависимость его сопротивления от индукции, имеет вид:

$$R_B = R_0 \left[ 1 + A |\mu B|^m \right],$$

где  $A$  – магниторезистивный коэффициент,  $\mu$  – подвижность носителей заряда,  $m$  – показатель степени, равный 2 в слабых магнитных полях ( $B \leq 0,2 - 0,5$ ), и равный 1 в сильных магнитных полях.



# Первичные преобразователи систем измерения физических величин

## *Электромагнитные измерительные преобразователи:*

- *Электромеханические преобразователи (электромагнитные преобразователи измерительных механизмов электромеханических приборов)*
- *Индукционные преобразователи*
- *Индуктивные и взаимоиндуктивные (трансформаторные) преобразователи*
- *Вихретоковые преобразователи*
- *Магнитоупругие преобразователи*
- *Магнитомодуляционные преобразователи*
- *Магнитошумовые преобразователи*

# Первичные преобразователи систем измерения физических величин

## *Измерительные преобразователи:*

- датчики для измерения тепловых величин: термоэлектрические преобразователи (термопары), пироэлектрические преобразователи (пирометры);
- ионизационные преобразователи: ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, сцинтилляционные детекторы, полупроводниковые детекторы и пр.;
- фотоэлектрические преобразователи: фотодиоды, фотоэлементы, фотоэлектронные умножители;
- электрохимические преобразователи: кондуктометрические, гальванические, кулонометрические преобразователи.