

## Резистивные ИП

### Реостатные ИП

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

Реостатные передающие преобразователи предназначены для преобразования угловых и линейных перемещений выходных кинематических устройств измерительных приборов в электрический сигнал.

Реостатные передающие преобразователи обычно изготавливают из тонкой проволоки, намотанной на каркас из пластмассы или на изолированную проволоку. В качестве материала для проволоки применяют манганин, константин и другие металлы. Последнее время применяют проволоку из сплава ПдВ-20.

### Тензорезистивные ИП

**Тензорезистивные преобразователи — тензорезисторы (ТР)** применяются для измерения деформаций и напряжений на различных участках конструкций. При использовании упругих преобразователей с помощью тензорезисторов можно измерять усилия, давления, крутящие моменты и другие механические величины.

Физические основы тензорезистивного эффекта состоит в изменении омического сопротивления проводника или полупроводника.

**Сопротивление недеформированного проводника** определяется уравнением:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление,  $l$  — длина,  $S$  — площадь поперечного сечения тензорезистора.

**Относительное изменение сопротивления тензорезистора при деформации** определяется как:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta S}{S}$$

Учитывая, что в твердом теле в зоне упругих деформаций величины поперечных и продольной деформаций связаны через **коэффициент Пуассона**  $\mu$ :

$$\frac{\Delta S}{S} = 2\mu \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

Тогда:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + (1 + 2\mu) \cdot \frac{\Delta l}{l} = K_T \cdot \frac{\Delta l}{l}$$

где  **$K_T$**  — коэффициент тензочувствительности материала тензорезистора:

$$K_T = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}}$$

**По конструктивному выполнению** тензорезисторы подразделяются:

- **приклеиваемые**, такие как: проволока на металле, фольга на металле, кремний на металле, кремний на кремнии, кремний на сапфире;
- **пленочные с атомарной связью**, такие как: кремний на кремнии (КНК структуры), кремний на сапфире (КНС структуры), металлические пленки, напыляемые на изолированную подложку.

**Проволочные ТР** изготавливают обычно в виде зигзагообразной решетки из проволоки.

Тензорешетка закрывается защитным бумажным или пленочным листом.

Для приклеивания ТР и создания электроизоляционных пленок используют клеи типа **БФ-2, БФ-4, В-58, ВН-12**.

Аналогичную и более сложные формы имеют **фольговые ТР**. Они изготавливаются из тонкой фольги, наклеенной на подложку, на которую

фотооптическим методом наносится рисунок решетки. Затем часть фольги в соответствии с рисунком вытравляется.

Применяют две схемы включения ТР: *схему делителя напряжений* и *мостовую*.

При работе с ТР нужно иметь в виду то, что их сопротивления зависят от изменения температуры, вызывая погрешность. Для уменьшения и исключения этих погрешностей применяют компенсационные тензорезисторы. Рабочий и компенсационный ТР включаются в смежные плечи мостовой схемы. Остальными плечами моста могут быть резисторы, величина сопротивлений которых равна сопротивлению тензорезисторов.

Большую (*примерно в два раза*) чувствительность можно получить в мостовой схеме, если в качестве рабочих использовать два ТР, включенных в "*полумост*":

- 1) ТР в этой схеме получают одинаковое по величине, но различное по знаку изменения сопротивлений и включаются в смежные плечи моста;
- 2) Если все четыре ТР воспринимают измеряемую деформацию, то такой мост обеспечивает большую чувствительность и точность;
- 3) Питание схемы может осуществляться от источника как постоянного, так и переменного напряжения.

### **Контактные ИП**

**Контактными** называются измерительные преобразователи, в которых измеряемое механическое перемещение преобразуется в замкнутое или разомкнутое состояние контактов, управляющих электрической цепью.

Простейший контактный преобразователь является однопредельным и имеет одну пару контактов.

При контроле размеров чаще всего используются **двухпредельные контактные преобразователи** с двумя парами контактов.

Встречаются конструкции **многопредельных** преобразователей с несколькими парами контактов.

Контактные преобразователи могут работать либо **на замыкание (или размыкание) всей цепи**, либо **на замыкание (размыкание) участка цепи**.

## Терморезистивные ИП

Принцип действия *терморезистивных преобразователей (терморезисторов)* основан на свойстве ряда веществ изменять свое электрическое сопротивление при воздействии температуры.

Терморезисторы используются при создании *измерительных устройств*: термометров и датчиков температуры.

Для изготовления терморезисторов применяются *металлические, неметаллические и полупроводниковые материалы*.

### Металлические терморезисторы

*Причиной сопротивления* является неидеальная периодичность кристаллической решетки материалов, которая обуславливается, с одной стороны, тепловыми колебаниями атомов и дефектами кристаллической решетки. В зависимости от диапазона температур терморезисторы изготавливаются *из платины, никеля* и, реже, *из меди и вольфрама*.

### Неметаллические терморезисторы с положительным ТКС

Неметаллические терморезисторы с положительным ТКС называются *позисторами*. Многие позисторы изготавливаются из сегнетоэлектрических керамик на основе титанатов, цирконатов и других солей свинца, бария мышьяка. Их ТКС может превышать 10. *Область применения* позисторов ограничивается весьма узкими интервалами температур, где нужна высокая чувствительность измерения.

У позисторов температурный коэффициент сопротивления положительный и имеет величину порядка 0,7 при температуре 25 °C.

*Рабочий диапазон температур* от -50 до 120 °C.

### Полупроводниковые терморезисторы: термисторы

*Термистор* — это полупроводниковый терморезистор с отрицательным ТКС. Основное отличие терморезистора этого типа состоит в том, что их чувствительность к температуре значительно выше (*приблизительно в 10 раз*), чем у металлических. Терморезисторы изготавливаются из смесей поликристаллических полупроводниковых оксидов металлов (*MgO, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Mn<sub>3</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, ZnTiO<sub>4</sub>*). Термисторы выпускаются в виде дисков, цилиндров, колец, шариков.

Терморезисторам свойственны следующие *методические погрешности*:

- динамические;
- нелинейность статической характеристики;
- температурная погрешность за счет нагрева обмотки током.

**Динамическая характеристика** терморезистора определяется тепловой инерцией при разном нагревании и охлаждении.

**Инструментальные погрешности терморезисторов** определяется следующими факторами:

- качеством изготовления и сборки конструкции;
- нестабильностью характеристик термочувствительных материалов.