

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 ρ — 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** μ :

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

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 выправляется.

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 °С.

Рабочий диапазон температур от -50 до 120 °С.

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 , $MgAl_2O_4$, Mn_3O_4 , Fe_3O_4 , Co_2O_3 , NiO , $ZnTiO_4$**). 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.

Тепловые ИП

Основы теорий термоэлектрического преобразования

Работа термоэлектрического генератора (ТЭГ) основана на явлении возникновения в замкнутой цепи термоэлектродвижущей силы, вызывающей электрический ток в цепи. **Термо-ЭДС E** пропорциональна разности температур горячего и холодного спаев:

$$(T_{\Gamma} - T_{\text{х}}): E = \alpha(T_{\Gamma} - T_{\text{х}})$$

, где α — коэффициент термо-ЭДС, зависящий от свойств материалов.

Коэффициент полезного действия идеального термоэлемента равен КПД цикла Карно:

$$\eta_{\text{ид}} = \eta_{\text{к}} = \frac{T_{\Gamma} - T_{\text{х}}}{T_{\Gamma}}$$

КПД реального термоэлемента определяется комплексом физических свойств материалов термоэлектродов. Этот комплекс называется **коэффициентом добротности Z ($1/\text{K}$)**:

$$Z = \frac{\alpha^2}{4\lambda\sigma}$$

Чем выше Z , тем ближе **реальный КПД термоэлектрического генератора к КПД цикла Карно**.

Использование идеи термоэлектрического преобразования для производства электроэнергии стало возможным благодаря академику А.Ф. Иоффе в 1929 г.

Материалы термопар

Основой любого термоэлектрического преобразователя являются термоэлектрические материалы, которые делятся на три группы:

1) низкотемпературные материалы (0–300 °С). Халькогениды висмута и сурьмы Bi>(Te, Be)_3 (и-тип) и $(\text{Bi, Bi})_2\text{Te}_3$ (/7-тип).

2) среднетемпературные материалы (300–600 °С). Теллурид свинца PbTe (и- и /7-тип), теллурид германия GeTe (/7-тип) и теллурид олова BiTe (/7-тип).

3) высокотемпературные материалы (600 °С и выше). Сплав кремния с германием BiGe (n- и /7-тип).

Термопара является самым распространенным и самым старым термодатчиком.

Ее действие основывается на **эффекте Зеебека**, который был открыт еще в 1822 году.

Тип термопары	Особенности применения
ТХА	Обладают наиболее близкой к прямой характеристикой. Предназначены для работы в окислительных и инертных средах
ТХК	Обладают: — наибольшей чувствительностью; — высокой термоэлектрической стабильностью при температурах до 600° С. Предназначены для работы в окислительных и инертных средах. Недостаток: высокая чувствительность к деформациям
ТПП	Обладают: — хорошей устойчивостью к газовой коррозии, особенно на воздухе при высоких температурах; — высокой надежностью при работе в вакууме (но менее стабильны в нейтральных средах). □ Предназначены для длительной эксплуатации в окислительных средах. □ Недостаток: высокая чувствительность термоэлектродов к любым загрязнениям, появившимся при изготовлении, монтаже или эксплуатации термопар

Тип термопары	Особенности применения
ТВР	<p>Обладают:</p> <ul style="list-style-type: none"> — возможностью длительного применения при температурах до 2200°C в неокислительных средах; — устойчивостью в аргоне, гелии, сухом водороде и азоте. <p>Термопары с термоэлектродами из сплава платины с 10 % родия относительно электрода из чистой платины могут использоваться как стандартные для установления номинальных статических характеристик термопар методом сравнения.</p> <p>Недостаток: плохая воспроизводимость термо ЭДС, вынуждающая группировать термоэлектродные пары по группам с номинальными статическими характеристиками А-1, А-2, А-3</p>
ТНН	<p>Обладают:</p> <ul style="list-style-type: none"> — высокой стабильностью термо ЭДС (по сравнению с термопарами ТХА, ТПП, ТПР); — высокой радиационной стойкостью; — высокой стойкостью к окислению электродов. <p>□ Предназначены в качестве универсального средства измерения температур в диапазоне температур $0-1230^{\circ}\text{C}$</p>

Для изготовления термопар можно использовать несколько комбинаций материалов.

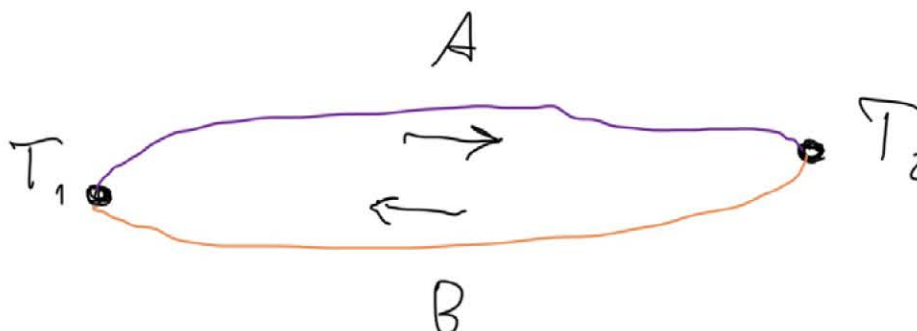
Термоэлектроды выбирают следующим образом.

Сначала выбирают базовый материал, например платину, и затем стремятся сочетать термоэлектроды таким образом, чтобы один из них развивал с платиной положительную, а другой отрицательную термо ЭДС.

В качестве материалов для термопар используются **металлы** (платина, медь, родий, рений, иридий и др.) и **сплавы** (хромель, алюмель, копель, медноникелевые сплавы, платинородий, вольфрамрений и др.)

Конструкции термопар

В простейшем случае **термопара представляет из себя** два разнородных проводника, которые образуют замкнутую электрическую цепь.



Если поместить один конец термопары в среду с температурой T_1 , а другой - с температурой T_2 , то в цепи будет протекать электрический ток (**термо-ЭДС**). Проводники принято называть **термоэлектродами**, а места соединения проводников - **спаями**.

Основными факторами являются условия ее эксплуатации. Основные из них: диапазон измеряемых температур и свойства среды.

Соединение термоэлектродов может проводиться с помощью сварки, спайки или скрутки. В зависимости от диапазона измеряемых температур термоэлектроды могут быть изолированы друг от друга с помощью воздуха или специальных керамических трубок. В зависимости от свойств среды, в которой осуществляются измерения, термопара может иметь защитный чехол.

Термодиоды и термотранзисторы

Термодиоды и термотранзисторы находят применение в датчиках температуры, работающих в диапазоне от -80 до $+150$ °C. Верхняя граница температурного диапазона ограничивается тепловым пробоем **p-n**-перехода и для отдельных типов германиевых датчиков достигает 200 °C, а для кремниевых датчиков – даже 500 °C.

Основными преимуществами термодиодов и термотранзисторов являются малые габариты, возможность взаимозаменяемости и, главное, дешевизна.

Связь между током I через p-n-переход и падением напряжения U на нем:

$$I = I_0 e^{-B/T} (e^{qU/(kT)} - 1)$$

Приближенные формулы для прямого и обратного токов:

$$I_{\text{пр}} = I_0 e^{-B/T} e^{qU/(kT)}; \quad I_{\text{обр}} = -I_0 e^{-B/T}$$

Падение напряжения на открытом **p-n**-переходе при токе **I** через переход определяется приближенной формулой:

$$U = \frac{kT \ln(I / I_0) + kV}{q}$$

Позисторы и критезисторы

Полупроводниковые резисторы с положительными ТКС получили название **позисторов**. Зависимость сопротивления позистора от температуры может быть приближенно выражена формулой:

$$R_{\Theta} = A e^{\alpha T},$$

где A – постоянная, имеющая размерность сопротивления; $\alpha = \frac{\Delta R / R}{\Delta \Theta}$ – температурный коэффициент, K^{-1} .

Уравнение теплового баланса критезистора:

$$UI_0 = k_{\text{то}}(\Theta_{\text{кт}} - \Theta_{\text{ср}}),$$

где U и I_0 – напряжение на критезисторе и стабилизированный ток через него;

$k_{\text{то}}$ – коэффициент теплоотдачи критезистора; $\Theta_{\text{кт}}$ – температура критезистора;

$\Theta_{\text{ср}}$ – температура среды, окружающей критезистор.