

## 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  $\alpha$  — 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/К)**:

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

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  $\text{Bi} > (\text{Te}, \text{Be})_3$  (и-тип) и  $(\text{Bi}, \text{Vl})_2 \text{Te}_3$  (/7-тип).

**2)** среднетемпературные материалы (300–600 °С). Теллурид свинца  $\text{PbTe}$  (и- и /7-тип), теллурид германия  $\text{GeTe}$  (/7-тип) и теллурид олова  $\text{SnTe}$  (/7-тип).

**3)** высокотемпературные материалы (600 °С и выше). Сплав кремния с германием  $\text{SiGe}$  (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
<b>ТХА</b>	Обладают наиболее близкой к прямой характеристикой. Предназначены для работы в окислительных и инертных средах
<b>ТХК</b>	Обладают: — наибольшей чувствительностью; — высокой термоэлектрической стабильностью при температурах до 600° С. Предназначены для работы в окислительных и инертных средах. Недостаток: высокая чувствительность к деформациям
<b>ТПП</b>	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
<b>ТВР</b>	<p>Обладают:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— возможностью длительного применения при температурах до <math>2200^{\circ}\text{C}</math> в неокислительных средах;</li> <li>— устойчивостью в аргоне, гелии, сухом водороде и азоте.</li> </ul> <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>
<b>ТНН</b>	<p>Обладают:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— высокой стабильностью термо ЭДС (по сравнению с термопарами ТХА, ТПП, ТПР);</li> <li>— высокой радиационной стойкостью;</li> <li>— высокой стойкостью к окислению электродов.</li> </ul> <p>□ Предназначены в качестве универсального средства измерения температур в диапазоне температур <math>0-1230^{\circ}\text{C}</math></p>

*Для изготовления термопар* можно использовать несколько комбинаций материалов.

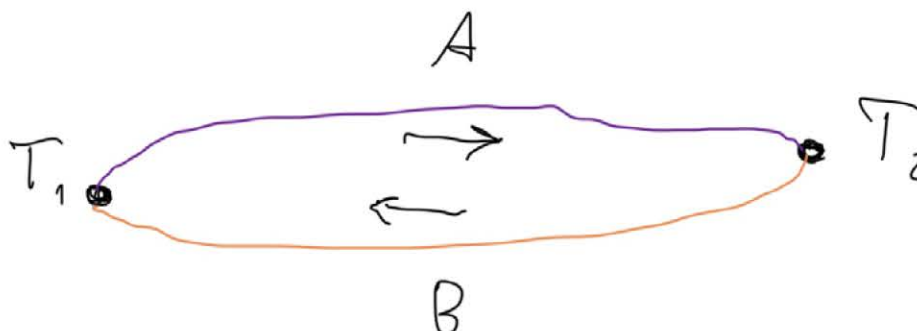
*Термоэлектроды* выбирают следующим образом.

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.