

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:

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

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

Коэффициент полезного действия идеального термоэлемента равен КПД цикла Карно:

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

КПД реального термоэлемента определяется комплексом физических свойств материалов термоэлектродов. Этот комплекс называется **коэффициентом добротности Z (1 / 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 SnTe (/7-тип).

3) высокотемпературные материалы (600 °С и выше). Сплав кремния с германием 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
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 термоЭДС (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.

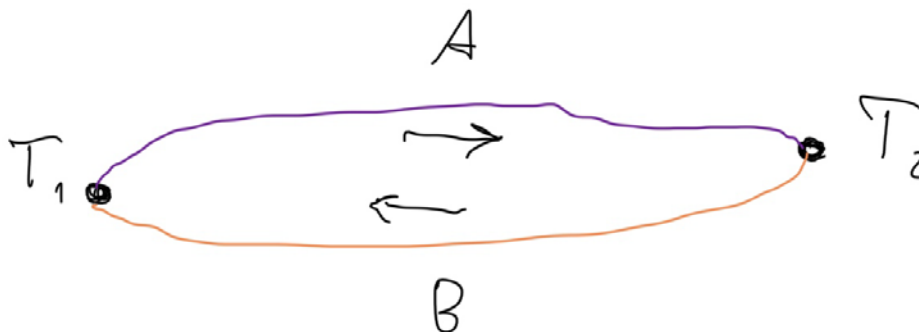
Термоэлектроды выбирают следующим образом.

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.