ТЕПЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Принцип действия основан на использовании тепловых процессов (нагрева, охлаждения, теплообмена), входной величиной которых является температура.

Тепловые преобразователи используются не только как преобразователи температур, но и теплового потока, скорости потока, расхода, химического состава, давления газов, влажности и т. д.

Температура как параметр не поддается непосредственному измерению, но она непосредственно связана с внутренней энергией тел, и через нее с физическими свойствами.

Физические явления:

1.Тепловое расширение газов (водород, гелий, азот, воздух ΔT=1÷10К); жидкостей (ΔT=200÷1200К — ртуть); твердых тел (ΔT=200÷650К).

2.Зависимость шумового напряжения $U_Ш$ на резисторе от температуры (ΔT=4÷1800К).

3.Изменение модуля упругости пьезоэлектриков от температуры (ΔT=10÷500К).

4.Термо -ЭДС.

5.Зависимость сопротивления от температуры.

РАЗНОВИДНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

1.Термоэлектрические преобразовательные элементы.

Принцип действия термопары основан на использовании термоэлектрического эффекта, сущность которого заключается в возникновении термо -ЭДС в цепи, состоящей из двух разнородных проводников или полупроводников, называемых *термоэлектродами*, если температура соответствующих частей $\mathbf{T_1}$ и $\mathbf{T_2}$ разные.

Явление термоэлектричества было открыто в 1823 г. Зеебеком и заключается в следующем. Если составить цепь из двух различных проводников (или полупроводников) *A* и *B,* соединив их между собой концами (рис. 1,а), причем температуру Qi одного места соединения сделать отличной от температуры *@ц* другого, то в цепи потечет ток под действием ЭДС, называемой термоэлектродвижущей силой (термо-ЭДС) и представляющей собой разность функций температур мест соединения проводников:

$$E_{AB}(\theta_1, \theta_0) = f(\theta_1) - f\theta_0).$$

Подобная цепь называется термоэлектрическим преобразователем или иначе термопарой; проводники, составляющие термопару, — термоэлектродами, а места их соединения — спаями.

Термо-ЭДС при небольшом перепаде температур между спаями можно считать пропорциональной разности температур: $E_{AB}=S_{AB}\Delta\theta$

Опыт показывает, что у любой пары однородных проводников, значение термо-ЭДС зависит только от природы проводников и от температуры спаев и не

зависит от распределения температуры вдоль проводников. Термоэлектрический контур можно разомкнуть в любом месте и включить в него один или несколько разнородных проводников. Если все появившиеся при этом места соединений находятся при одинаковой температуре, то не возникает никаких паразитных термо-ЭДС.

Можно разомкнуть контур в месте контактирования термоэлектродов *A* и В и вставить дополнительный проводник *C* между ними (рис. 1,б). Значение термо-ЭДС в этом случае определится как $E = E_{AB}(\theta_1) + E_{BC}(\theta_0) + E_{CA}(\theta_0) = E_{AB}(\theta_1) + E_{BA}(\theta_0) = E_{AB}(\theta_1) - E_{AB}(\theta_0)$, так как если два любых проводника *A* и *B* имеют по отношению к третьему *C* термо-ЭДС E_{AC} и E_{BC} , то термо-ЭДС термопары *A B* = $E_{AB} = E_{AC} = E_{CB}$

Можно разорвать также один из термоэлектродов и вставить дополнительный проводник в место разрыва (рис. 1, в). Значение термо-ЭДС в этом случае будет тем же, что и в предыдущем. Действительно, $E = E_{AB}(\theta_1) + E_{BC}(\theta_2) + E_{CB}(\theta_2) + E_{BA}(\theta_0) = E_{AB}(\theta_1) - E_{AB}(\theta_0)$

Таким образом, прибор для измерения термо-ЭДС может быть включен как между свободными концами термопары, так и в разрыв одного из термоэлектродов.

Явление термоэлектричества принадлежит к числу обратимых явлений, обратный эффект был открыт в 1834 г. Жаном Пельтье и назван его именем. Если через цепь, состоящую из двух различных проводников или полупроводников, пропустить электрический ток, то теплота выделяется в одном спае и поглощается в другом. Теплота Пельтье связана с силой тока линейной зависимостью в отличие от теплоты Джоуля, и нагревание или охлаждение спая зависит от направления тока через спай.

Во второй половине XIX в. Томсоном был открыт эффект, заключающийся в установлении на концах однородного проводника, имеющего температурный градиент, некоторой разности потенциалов и в выделении дополнительной тепловой мощности при прохождении тока по этому проводнику. Однако ЭДС Томсона и дополнительная тепловая мощность настолько малы, что в практических расчетах ими обычно пренебрегают.

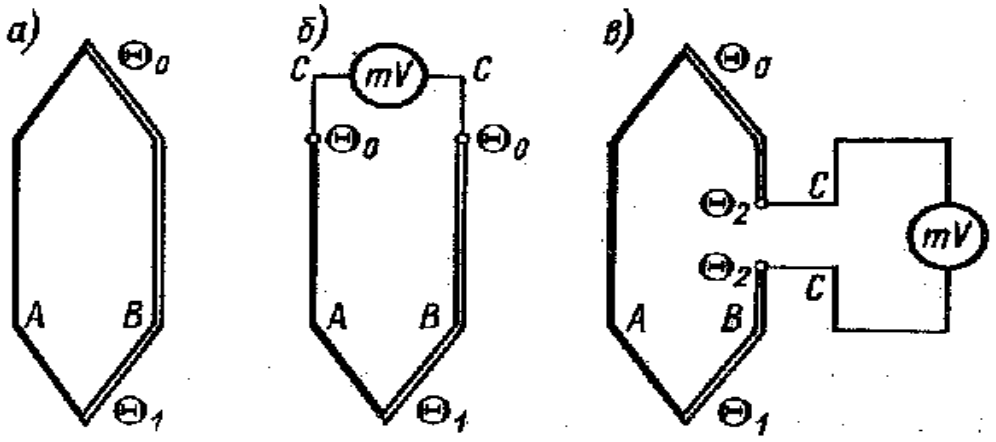

рис. 1

Возникновение термо- ЭДС (+U-) об’ясняется суммарным действием двух термоэлектродных эффектов.

1. Явление Томпсона - электроны диффундируют от горячего конца к холодному, следовательно на концах возникает разность потенциалов.
2. Явление Зебека - в месте контакта разнородных проводников - контактная разность потенциалов, обусловленная различной концентрацией носителей зарядов.

Прибор для измерения термо- ЭДС может быть включен как между свободными концами, так и в разрыв одного из термоэлектродов.

Материалы:

Платина + платинородий	ΔT=0÷1200
Медь + медноникель	
железо + медноникель	ΔT=-200+400
хромель + медноникель	

2. ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ: бывают металлические, полупроводниковые.

2.1. Металлические

Платина	медь	вольфрам, никель
ΔT=-260+1100 ^{0}C	-260÷ (-50) ^{0}C	
	180÷1200	
миниатюрные вжигаемые пленки 1-2 мм в керамическое основание, ширина 0,1-0,2 мм; длина 5-10 мм длина.	Окислители.	

Платиновые термопреобразователи сопротивления. Чистая платина — наилучший и наиболее распространенный материал для изготовления ЧЭ ТС. К достоинствам платины следует отнести ее сравнительно высокую химическую инертность вплоть до высоких температур, высокую температуру плавления, высокое удельное сопротивление (10 мк Ом/см при комнатной температуре). Платиновые ТС (ТСП) используют для измерения температуры в диапазоне от —260 до 1100 °С. В зависимости от назначения ТСП разделяют на прецизионные и технические. Конструкции ТСП этих двух групп имеют существенные различия.

Для изготовления прецизионных ТСП используют очень чистую платину. Показателем чистоты платины и отсутствия в ней механических напряжений служит ее ТКС или отношение $W_{100} = R_{100}/R_0$, где R_{100} и R_0– сопротивление ТСП при 100 и 0^0 С соответственно. Чувствительный элемент прецизионных ТСП представляет собой бифилярную спираль из платиновой проволоки, укрепленную на каркасе из кварца или уложенную в кварцевые трубки. Закрепление ЧЭ выполняется таким образом, чтобы свести к минимуму механические напряжения в платиновой проволоке при ее расширении и сжатии в период измерений, обусловливаемые разностью температурных коэффициентов линейного расширения платины и материала каркаса. Механические напряжения, возникшие в платине при изготовлении ЧЭ, снимают отжигом, т.е. нагревом ТС до температуры 800—850°С и выдержкой при этой температуре около 1 ч.

Для температур ниже 630°С ЧЭ изготавливают из проволоки диаметром 0,05-0,2 мм, для температур выше 630 °С - из проволоки диаметром 0,3—0,6 мм. Увеличение диаметра позволяет уменьшить отношение поверхности ЧЭ к его объему и тем самым снизить влияние распыления платины при высоких температурах. Чувствительный элемент размещают в кварцевой пробирке, которая заполняется сухим воздухом, а затем герметизируется.

Прецизионные ТСП для температур выше 0°С, так называемые стержневые, имеют номинальное значение сопротивления R_0 = 10 Ом, а зарубежные также и 25 Ом, а ТСП для температур ниже О °С, называемые капсульными, имеют R_0 = 100 Ом. Все детали ТСП выполняют из материалов, не загрязняющих платину.

Схематичное изображение стержневого ТСП приведено на рис.2.

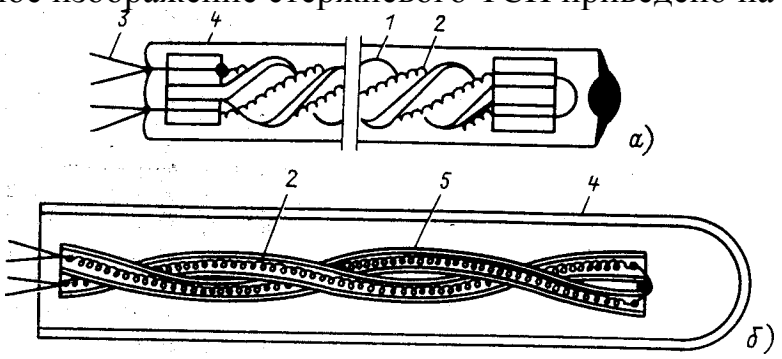

Рис.2. Конструкции чувствительного элемента стержневого ТСП:
а – на геликоидальном кварцевом каркасе;
б – в кварцевых трубках;

1– каркас; 2– платиновая спираль; 3–выводы; 4–оболочка; 5– кварцевая трубка

Зависимость сопротивления ТСП от температуры в диапазоне 0–630^{0}С хорошо апроксимируется полиномом второй степени:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

где R_t и R_0 – сопротивление ТСП при температуре t и 0^{0}С;

A и B – коэффициенты (B<0).

Для температур ниже 0^{0}С справедливо соотношение

$$R_t = R_0\left[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3\right].$$

Прецизионные ТСП довольно хрупкие, боятся ударов, вибрации, так как это может привести к механическим напряжениям в ЧЭ, замыканию его витков или разрушению оболочки. Для измерений температуры в промышленности разработаны и серийно выпускаются технические ТСП. Они обладают высокой механической прочностью и надежностью. Чувствительные элементы технических ТСП выполняют в виде спиралей из платиновой проволоки диаметром около 0,05 мм, спирали располагают в отверстиях керамического кожуха. Известны ЧЭ в виде бифилярной намотки на керамическом стержне.

Для закрепления ЧЭ используют чехол и внутри него изоляционную засыпку - как правило, порошок оксида алюминия, ЧЭ герметизируют и отжигают. В зависимости от рабочего диапазона температур, назначения, места и способа установки ЧЭ размещают в чехлах различной формы, длины, из разного материала. Один из серийных ЧЭ технических ТСП показан на рис.3.

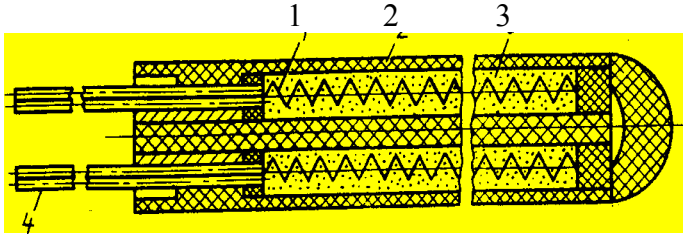

Рис.3. Чувствительные элементы серийных ТСП:1–платиновая спираль; 2–керамический кожух; 3 — засыпка; 4 - выводы;

Серийные технические ТСП изготавливаются с номинальными значениями сопротивления R_0, равными 1, 10, 50, 100, 500 Ом трех классов точности: А, В и С. Допускаемое отклонение от номинального значения R_0 составляет ± 0,05% для класса А, ± 0,1% для класса В и ± 0,2% для класса С.

2.2. Полупроводниковые.

Характеристики: меньшие габариты, большой температурный коэффициент сопротивления.

Недостаток: нелинейность R(t), значительный разброс параметров.

По форме чувствительного элемента (ЧЭ) термисторы подразделяются на бусинковые, дисковые и стержневидные. Размеры термисторов, как правило, малы — около нескольких миллиметров, а отдельные типы имеют диаметр ЧЭ около долей миллиметра. Для предохранения от механических повреждений и

воздействия среды ЧЭ в зависимости от его назначения покрывают эмалью, стеклом, используют также тонкостенные металлические трубки. Термисторы имеют большое номинальное сопротивление (от единиц до сотен кОм), большой ТКС и малую инерционность. К числу их недостатков следует отнести нелинейность температурной зависимости сопротивления, отсутствие взаимозаменяемости из-за большого разброса номинального сопротивления и ТКС.

Небольшие размеры чувствительных элементов обеспечивают высокую динамическую реакцию, а некоторые миниатюрные типы элементов имеют динамическую реакцию всего в несколько микросекунд.

Из известных типов термисторов наиболее широкое распространение получили зонды и базовые чувствительные элементы. По конструкции они очень похожи на обычные резисторы, за исключением используемых материалов, сопротивление которых зависит от температуры. Некоторые типы термисторов обладают допусками порядка ±0,2°С в пределах установленного температурного диапазона, для обеспечения которых может потребоваться специальная подстройка.

Зависимость сопротивления термисторов от температуры описывается выражением.

$$R_T = A\exp(B/T),$$

где R_T - сопротивление термистора при температуре Т;

A, B - постоянные коэффициенты, зависящие от материала термистора и номинального значения его сопротивления.

Это соотношение обеспечивает высокую точность аппроксимации только в узком диапазоне температур.

Для полупроводниковых терморезисторов в большей степени, чем для металлических ТС, характерно необратимое постепенное изменение их сопротивления во времени.

Германий широко применяют для изготовления ТС для области 4,2—13,81 К. Германиевые ТС обладают большой чувствительностью и высокой длительной стабильностью градуировочных характеристик.

Чистый германий (монокристаллический и поликристаллический) имеет в области низких температур слишком большое удельное сопротивление. Уменьшения удельного сопротивления добиваются легированием германия примесями сурьмы, мышьяка или галлия. Электропроводность германия, легированного примесями, в температурном интервале 1-100 К возрастает вдвое.

На рис.5 схематично представлен разрез прецизионного германиевого ТС. ЧЭ 1 выполнен из монокристаллического германия, легированного сурьмой. Он представляет собой тонкую узкую пластину с раздвоенными концами, к которой припаяны четыре золотых проводника 2 с платиновыми выводами 5. ЧЭ помещен в герметичную металлическую гильзу 3, заканчивающуюся стеклянной головкой 4 с вваренными в нее платиновыми выводами. Внутренняя стенка защитной гильза покрыта электроизоляционной пленкой.

Гильза герметична и заполнена газообразным гелием под небольшим давлением. Такие германиевые ТС могут применяться для измерения температур от 1,5 до 30 К. Их СХ близка к экспоненциальной и апроксимируется полиномами вида:

$$\ln R = \sum_{i=0}^{m} a_i (\ln T)^i ,$$

где a_i - кэффициенты.

Технические германиевые ТС используют в интервале 30—90 К, а пленочные германиевые ТС — в интервалах 4,2-300 и 1,3—100 К.

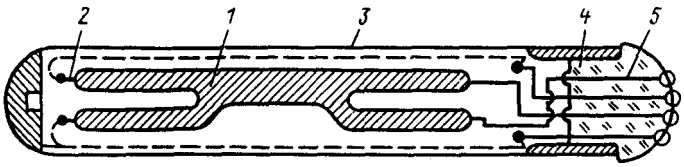

Рис.5. Конструкция прецизионного германиевого ТС:1-ЧЭ; 2–проводники; 3– герметическая гильза; 4–стеклянная головка; 5–платиновые выводы;

3. Термодиоды и термотранзисторы.

Δt=-80÷+150^{0}С.

Ge:до +200^{0}С;

Si:до +500^{0}С.

4. Другие типы.

Термочувствительные пьезорезонаторы, пироэлектрические преобразователи, сегнетокерамические и емкостные преобразователи.

Измерительные цепи строят на основе уравновешенных мостов или используют преобразование сопротивления в напряжение (в цифровых схемах).

ТЕПЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Электротермометр.

Основой прибора является терморезистор - полупроводниковый элемент, изменяющий свое электрическое сопротивление при изменении температуры.

Термометры сопротивления относятся к одним из наиболее точных преобразователей температуры. Так, например, платиновые терморезисторы позволяют измерять температуру с погрешностью порядка 0,001°С.

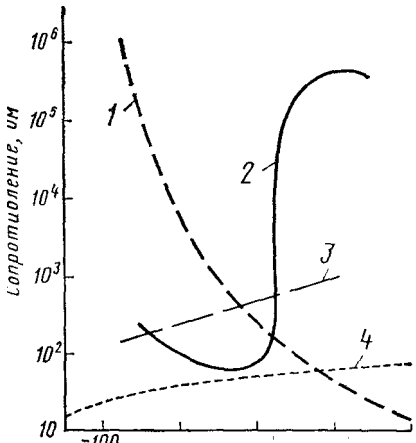

Рис. Сравнительные температурные характеристики сопротивлений терморезисторов и платинового термометра:
1 – терморезистор с отрицательным ТКС;

2 – терморезистор с положительным ТКС;
3 – кремниевый терморезистор с положительным ТКС;
4 – платиновый термометр сопротивления

Диапазон рабочих температур от 170÷210К до 370÷570К. Коэффициент температурного сопротивления при комнатной температуре составляет (-2.4) ÷ (-8.4)% на К.

Схема термометра.

В диагональ моста включен микроамперметр, проградуированный в градусах Цельсия. В положении переключателя 1 с помощью R2 производится установка рабочего напряжения.

Каждый датчик термометра состоит из терморезистора (1), оправы (2), соединительных проводов и разъема (3).

Терморезистор - шарик диаметром 0.6÷0.8 мм из полупроводникового материала, покрытый стеклянной оболочкой.

Типы датчиков:

1) подмышечный датчик
2) кожный датчик
3) ректальный датчик
4) стержневой датчик - для кратковременного замера температуры в различных точках кожного покрова совместно с внутримышечной иглой для измерения температуры внутри тканей тела.
5) желудочный датчик
6) сердечный датчик - для измерения температуры в венах, артериях и полости сердца.

2. Тепловидение, тепловизоры.

Получение видимого изображения объекта по их собственному либо отраженному от них тепловому (инфракрасному) излучению.

Тепловизоры используют следующие датчики:

1.тепловые приемники или термопары;

2.охлаждаемые фотоэлектрические приемники;

3.Пироэлектрические приемники (высокая чувствительность, они улавливают разность температур менее 1^0 С, на человеческом теле - до 0.1^0 С). Тепловое изображение об’екта без преобразования в электрический сигнал проецируется на экран, покрытый слоем вещества, которое при нагреве изменяет свои оптические характеристики.

4.Жидкие кристаллы (температурный интервал индикации 0.1^{O}С)

5.Термочувствительные краски (изменяющие свой цвет необратимо - для контроля).

6.Полупроводниковые пленки (Se) 1-5°С

7.Люминофоры (ZnSi, CdS, AgNi) 0.2-0.3^{O}С эффект тушения обратим.

8.Тонкие магнитные пленки. Научное направление - термография.

9.Инфракрасные лазеры.