



Омский государственный технический университет
каф. Технология электронной аппаратуры

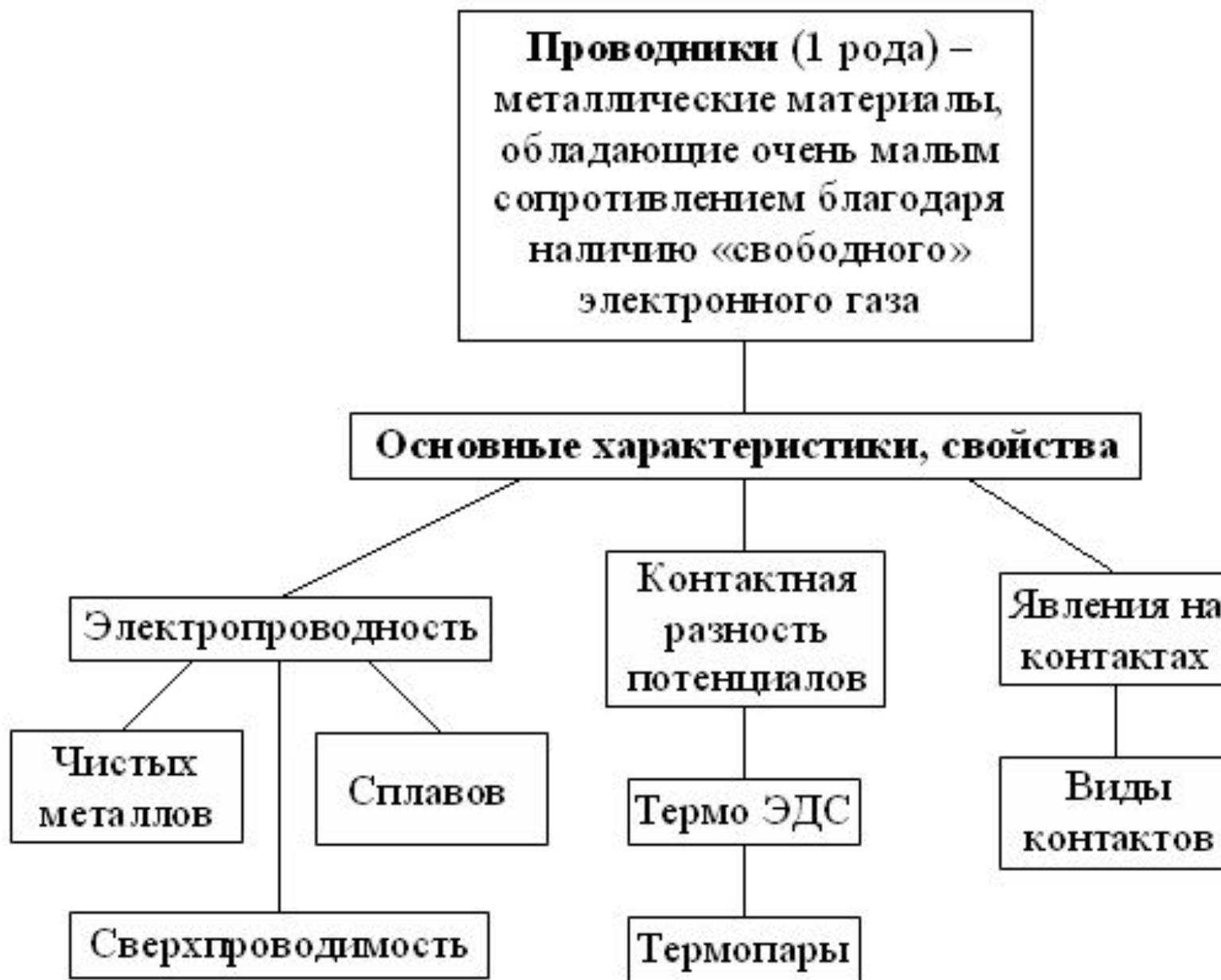
Дисциплина
Радиоматериалы и радиокомпоненты

Лекция 3.2. Проводниковые материалы.
Контактные явления

Ст. преп. Пономарёв Д.Б.

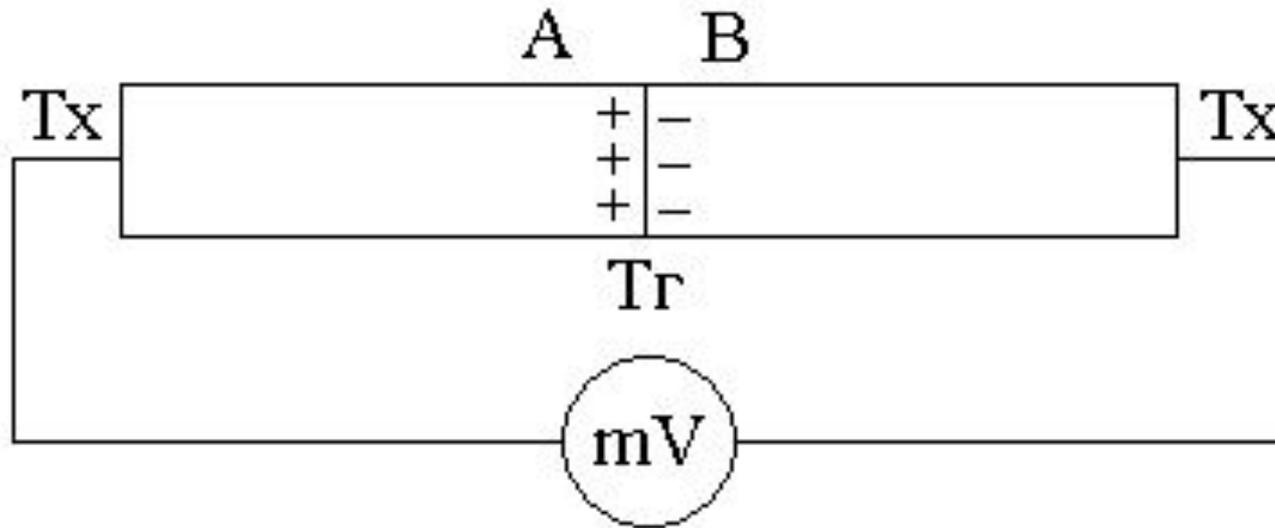


Структурная схема



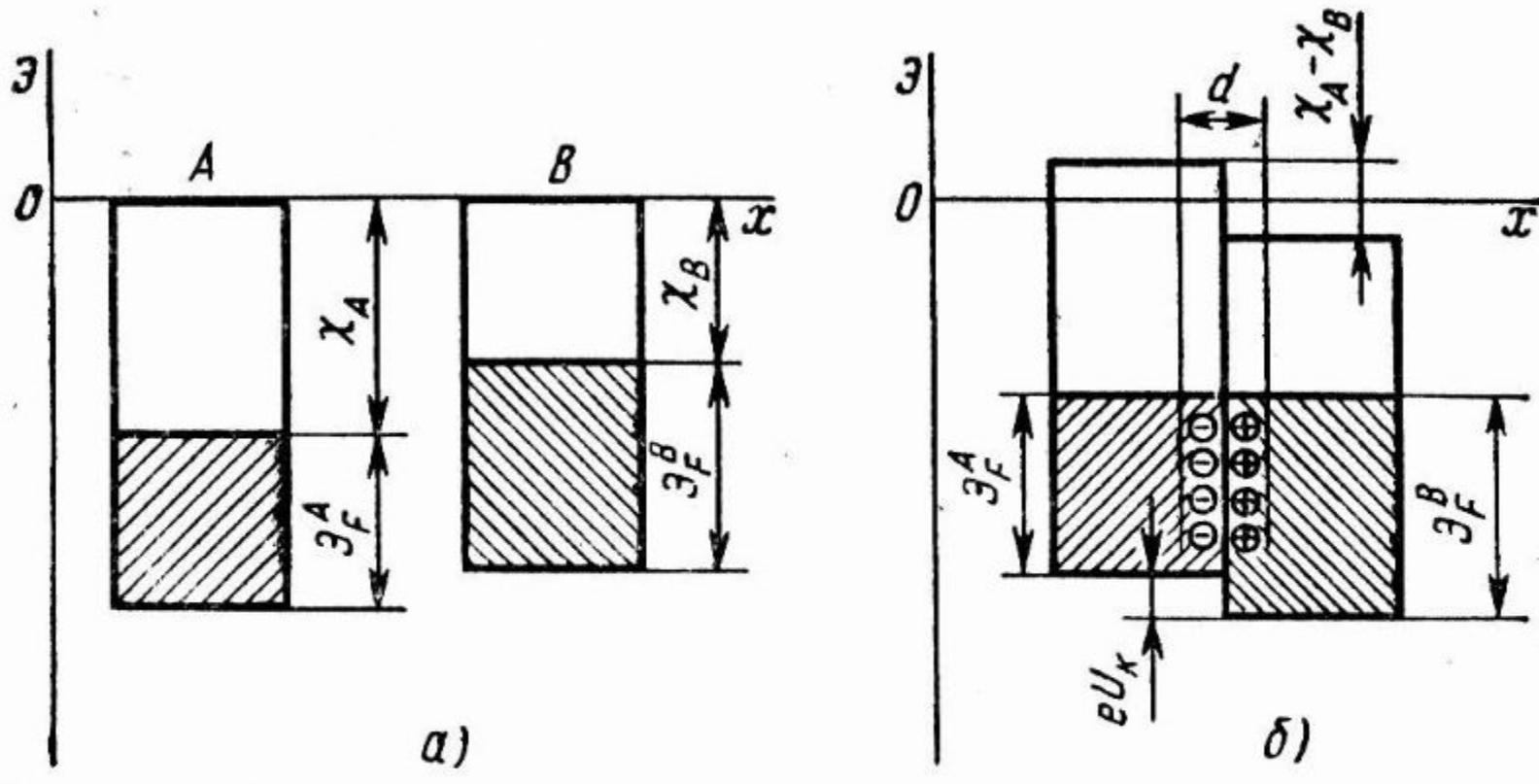


3.2.1. Контактная разность потенциалов



Контактная разность потенциалов ($W_A < W_B, n_A > n_B$)

Энергетическая диаграмма контакта двух металлов



Контактная разность потенциалов определяется по формуле:

$$U_{AB} = U_A - U_B + \frac{K \cdot T}{q} \cdot \ln \frac{n_{0A}}{n_{0B}}$$

где U_A и U_B – потенциалы соприкасающихся металлов;

n_{0A} и n_{0B} – плотности электронов в А и В, м^{-3} ;

K – постоянная Больцмана, $K=1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/град;

q – заряд электрона, $1,6 \cdot 10^{-19}$ А·с;

T – абсолютная температура, К.



Термо-ЭДС

определяется по формуле:

$$U = \frac{k}{q} \cdot \ln \frac{n_{0A}}{n_{0B}} \cdot (T_{\Gamma} - T_{\chi})$$

$$U = \alpha \cdot (T_{\Gamma} - T_{\chi})$$

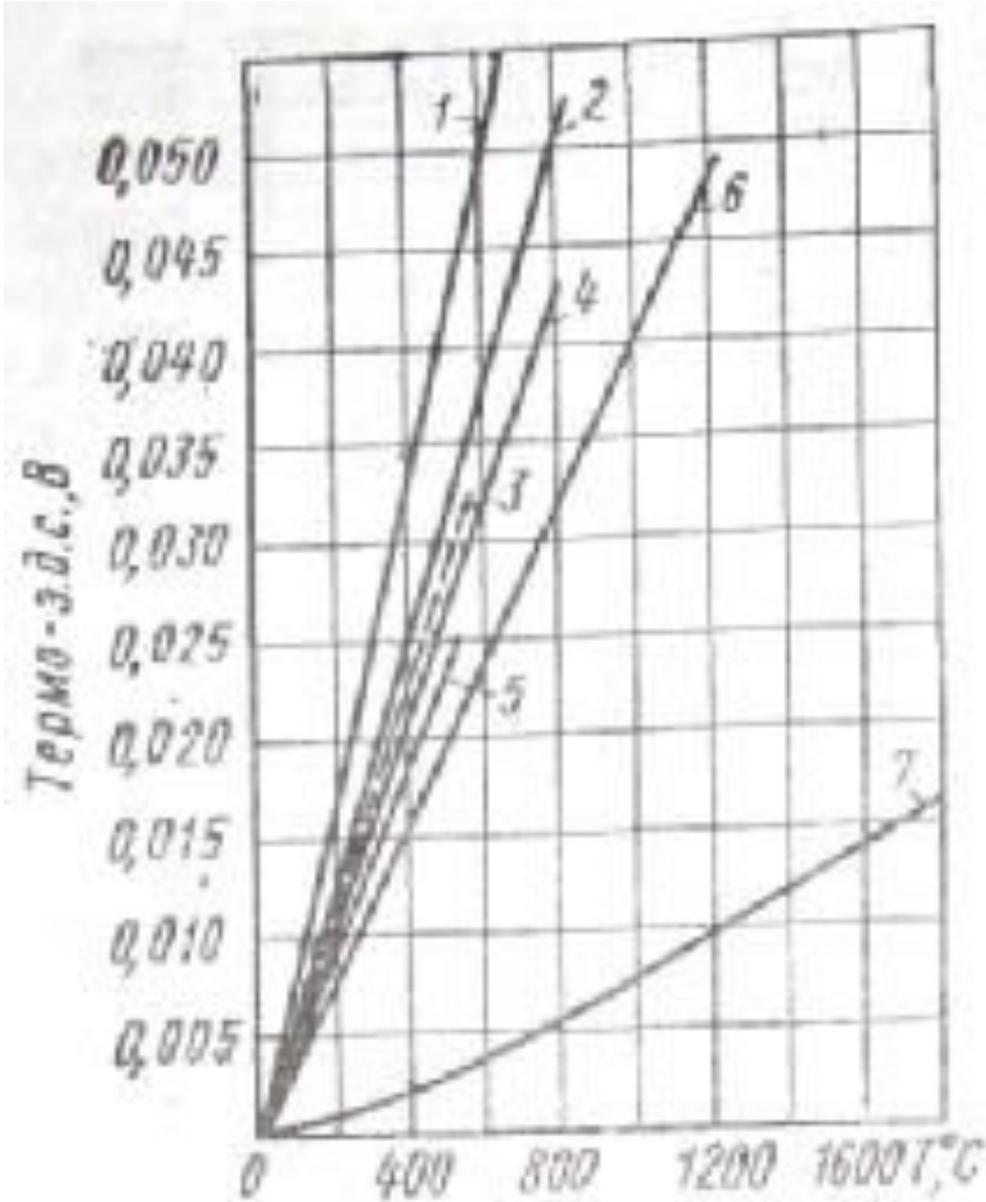




Термопара (термоэлектрический преобразователь температуры)
— термоэлемент, применяемый в измерительных
и преобразовательных устройствах,
а также в системах автоматизации

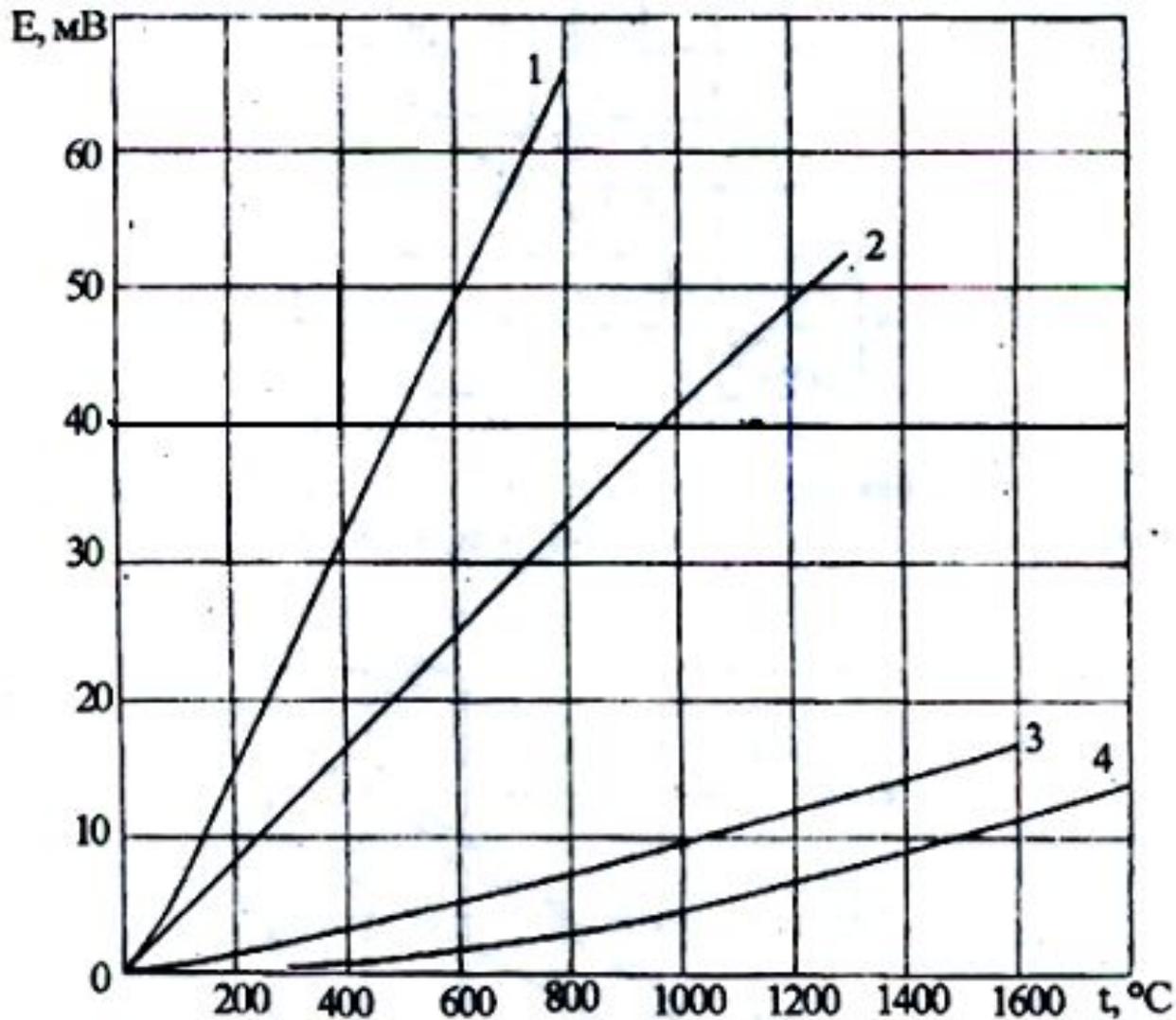


Зависимость термо-э. д. с. от разности температур горячего и холодного спаев для термопар



- 1— хромель—копель;
- 2— железо—копель;
- 3— медь—копель;
- 4— железо— константан;
- 5— медь—константен;
- 6— хромель—алюмель;
- 7— платинородий— платина

Температурная зависимость ТЭДС стандартных термопар

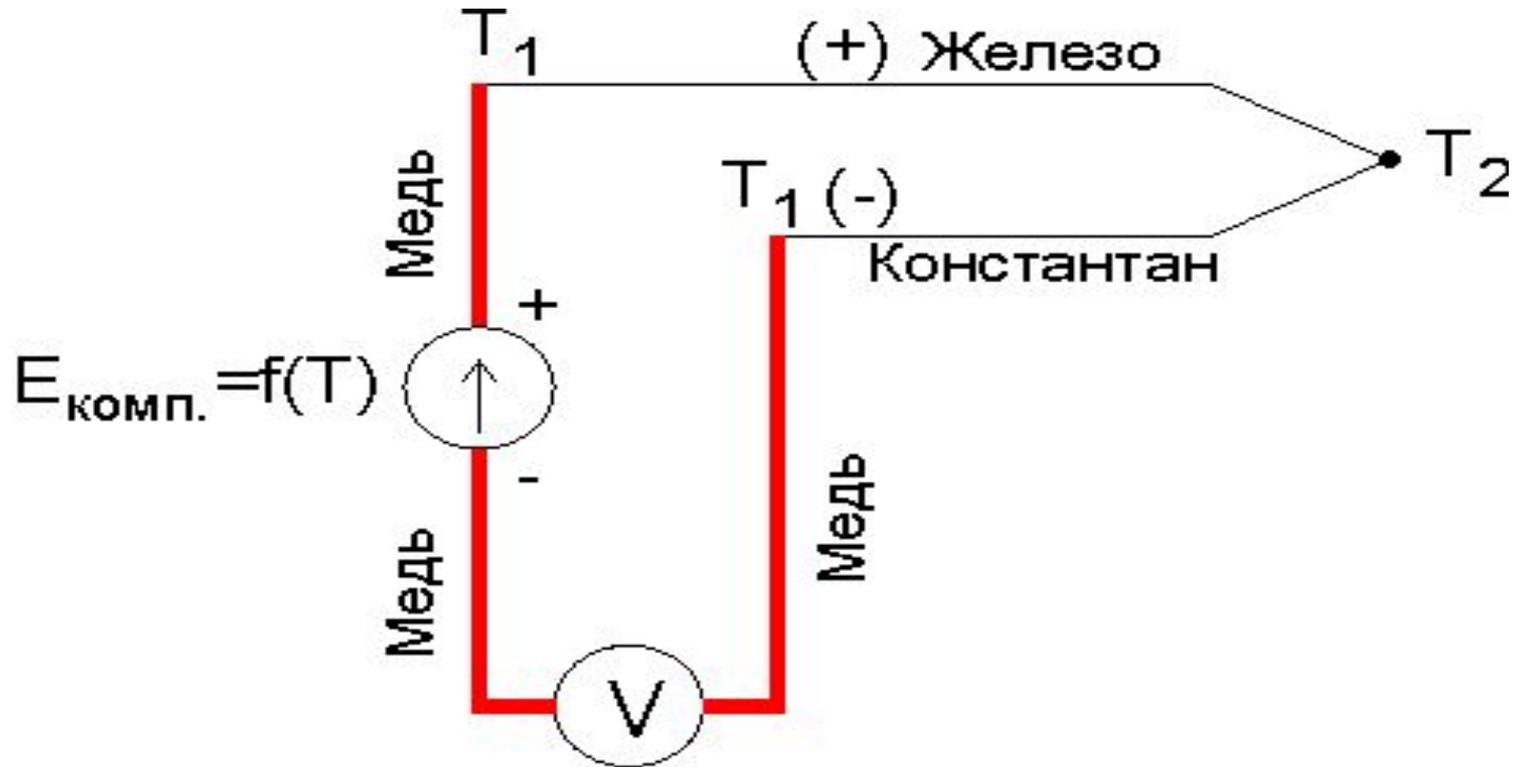


- 1 - ХК,
- 2 - ХА,
- 3 - ПП-10,
- 4 - ПР-30/6.

Алгоритм Измерения температуры:

- измерение температуры холодного спая;
- преобразование этой температуры в эквивалентное напряжение на выводах холодного спая термопары, используя градуировочную таблицу термопары или линеаризирующее уравнение;
- добавление этого напряжения к измеренному напряжению на выводах термопары;
- преобразование полученного напряжения в температуру используя градуировочную таблицу термопары или линеаризирующее уравнение.

Компенсация температуры холодных концов термопар



Особенности и области применения некоторых типов термопар:

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°C.
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

Обладают: — возможностью длительного применения при температурах до 2200°C в неокислительных средах;

— устойчивостью в аргоне, гелии, сухом водороде и азоте.

ТВР

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.

Недостаток - плохая воспроизводимость термоЭДС, вынуждающая группировать термоэлектродные пары по группам с номинальными статическими характеристиками А-1, А-2, А-3

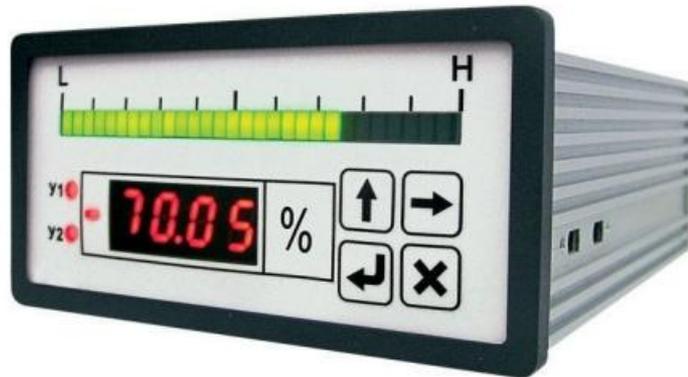
ТНН

Обладают: — высокой стабильностью термоЭДС (по сравнению с термопарами ТХА, ТПП, ТПР);

— высокой радиационной стойкостью;

— высокой стойкостью к окислению электродов.

Предназначены в качестве универсального средства измерения температур в диапазоне температур $0-1230^{\circ}\text{C}$

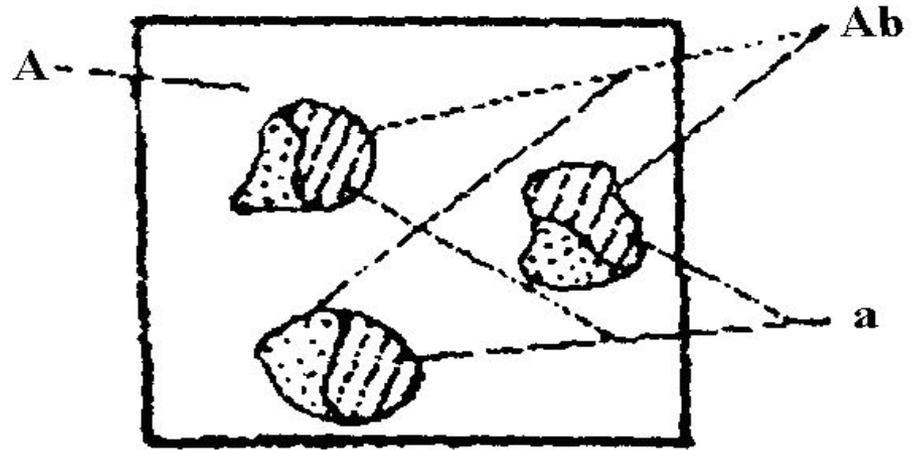
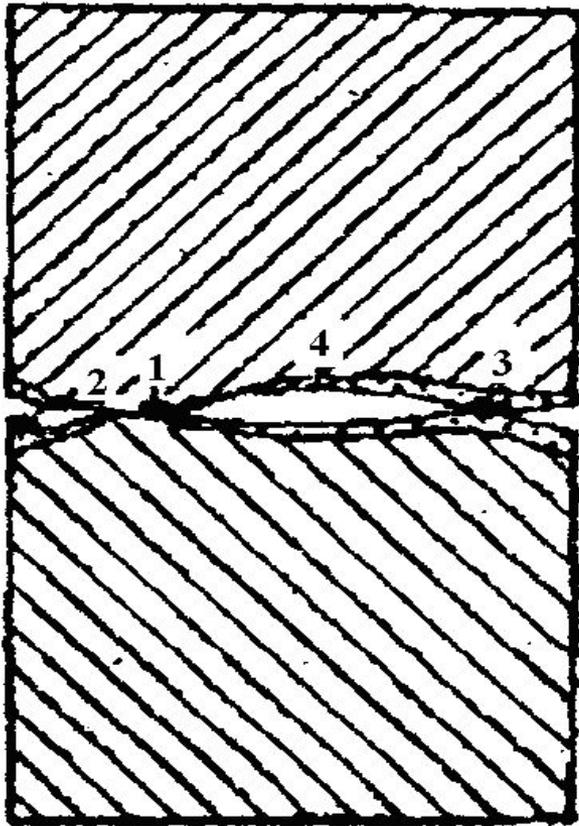




3.2.2. Контактные явления

При механическом соприкосновении двух твердых тел не происходит такое их сближение, при котором они образуют единое целое для прохождения тока.

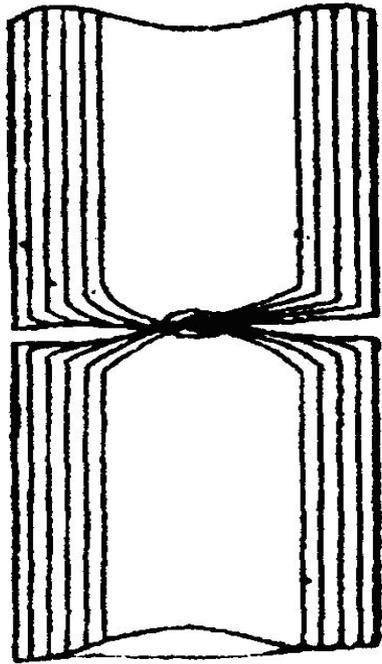
- Шероховатости
- Окислы
- Загрязнения



Модель контактирования двух проводников

$$a < Ab \ll A.$$

Эффект стягивания



$$\Delta T \hat{e} = \frac{I^2 \cdot R^2}{8 \cdot \rho \cdot \lambda_t}$$

ρ – удельное сопротивление контактного материала;

λ_t – его теплопроводность;

R – сопротивление контакта;

I – протекающий ток через контакт.



Сопротивление контакта

$$R = R_{c1} + R_{c2} + R_f$$

где

R_{c1} , R_{c2} – сопротивления стягивания первого и второго контактов;

R_f – сопротивление пленки.

Виды контактов:



Неподвижные

Разрывные

Скользящие

Материалы, используемые в качестве контактных для сильноточной аппаратуры, слаботочной аппаратуры, размыкаемых высоковольтной к низковольтной аппаратуры, скользящих:

серебро, медь, латуни, бронзы, золото, вольфрам, графит, композиции: Си-W, Си-графит, Ag-W и др.



Основные физические параметры контактных материалов

Материал	Удельное электрическое сопротивление, 10^{-6} Ом·мм	Поверхностная твердость по Бринеллю H_B , ~ГПА (Н/мм ²)	Модуль упругости E , ~ГПА (10^4 Н/мм ²)
Золото	24	0,185 (185)	84 (8,4)
Платина	105	0,5 (500)	0,0154 (0,00154)
Палладий	107	0,8 (800)	0,0119 (0,00119)
Серебро	16	0,25 (250)	77 (7,7)
Родий	45	0,1 (1000)	300 (30)
Медь	16,72	0,4...1,2 (400...1200)	112 (11,2)
Никель	70	0,73 (730)	210 (21)
Бронза БрКМц3-1	150	1,7...1,9 (1700...1900)	120 (12)
Бронза БрОФ 6,5-0,15	178	1,6...2 (1600...2000)	50...1000 (5...10)
Бронза БрБ2	70	3,78...4 (3780...4000)	130 (13)
Бронза БрОЦ4-3	87	1,5...1,7 (1500...1700)	90...120 (9...12)
Латунь Л-63	74	1,2 (1200)	90...120 (9...12)

Проводниковые материалы для токоведущих и упругих элементов контактных устройств

Латуни - это сплавы системы Cu-Zn с содержанием 10...40% цинка. Цинк кристаллизуется в ГПУ решетку и характеризуется ограниченной растворимостью в меди. Практическое применение нашли сплавы **Л85 и Л80**, содержащие 15 и 20% Zn, соответственно. Удельное сопротивление латуней $\rho = (0,05...0,06) \times 10^{-6}$ Ом·м, что в 3 раза превышает сопротивление чистой меди.

Бронзы характеризуются более высокими упругими свойствами, чем латуни. К бронзам относятся сплавы системы Cu-Sn (3... 6% Sn). Находят также применение алюминиевые бронзы Cu-Al (около 5% Al), а также кремнистые бронзы Cu-Si (1...3% Si). Для улучшения характеристик бронз в них, кроме перечисленных элементов, добавляют в небольшом количестве фосфор, цинк, никель, марганец, железо.

Сплавы бронзы в технической документации обозначаются буквами Бр с указанием дополнительных легирующих элементов и их концентрации. При этом пользуются следующими условными обозначениями легирующих элементов: О-олово, А-алюминий, К-кремний, Ф-фосфор, Ц-цинк, Н-никель, Мц-марганец, Ж-железо, Б-бериллий, Т-титан.

Широкое практическое применение нашли бронзы марок **БрОЦ4-3** (содержит 4% Sn и 3% Zn), **БрА7** (7% Al), **БрКМц3-1** (3% Si и 1% Mn), **БрБ2** (2% Be) - бериллиевая бронза. После термообработки изделия из бронзы имеют в 1,25...1,5 раза более высокий модуль упругости, чем латуни. Однако удельное электрическое сопротивление лент, пружин, токоведущих деталей из бронзы выше, чем у латуни примерно в 2 раза и составляет $(0,09...0,27) \times 10^{-6}$ Ом·м.

Материалы для изготовления слаботочных контактов

Серебро (Ag). Используется серебро марок **Ср999...999,9**. Серебро является полублагородным металлом. Это мягкий материал белого цвета, кристаллизующийся в ГЦК решетку. Температура плавления серебра равна $960,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, удельное электросопротивление составляет $0,016 \times 10^{-6}\text{ Ом}\cdot\text{м}$, плотность $10,5 \times 10^3\text{ кг/м}^3$.

Золото (Au) применяют для покрытий при очень высоких требованиях к надежности электрического контакта. Используется золото марок **Зл999...999,9**. Золото пластичный металл желтого цвета, кристаллизуется в ГЦК решетку. Температура плавления золота равна $1063\text{ }^{\circ}\text{C}$, удельное электросопротивление равно $0,022 \times 10^{-6}\text{ Ом}\cdot\text{м}$, плотность $19,3 \times 10^3\text{ кг/м}^3$. Сплавы системы золото-серебро, например **ЗлСр600-400** (60% Au, 40% Ag), а также сплавы системы золото-никель **ЗлН95-5** (95% Au, 5% Ni).

Палладий (Pd) не относится к благородным металлам, но обладает хорошими электрическими свойствами и в 4...5 раз дешевле, чем золото. В качестве контактного покрытия используется палладий марок **Пд99,7...99,8**.

Платина (Pt). Платина - это пластичный металл белого цвета, кристаллизующийся в ГЦК решетку. Температура плавления платины составляет $1773\text{ }^{\circ}\text{C}$, удельное электросопротивление достигает $0,105 \times 10^{-6}\text{ Ом}\cdot\text{м}$, плотность равна $21,4 \times 10^3\text{ кг/м}^3$. Практическое применение получили сплавы систем Pt-Ni, Pt-Ir и Pt-Rh. Никель, иридий и родий образуют с платиной твердые растворы.

Иридий (Ir) - редкий металл, кристаллизующийся в ГЦК решетку, имеет температуру плавления $2410\text{ }^{\circ}\text{C}$ и удельное электросопротивление $0,054 \times 10^{-6}\text{ Ом}\cdot\text{м}$. Плотность иридия $22,4 \times 10^3\text{ кг/м}^3$, а твердость почти в четыре раза выше, чем у платины. Добавка иридия в платину в количестве 10...25% позволяет получить сплавы марок **ПлИ-10** (10% Ir) и **ПлИ-25** (25% Ir).

Родий (Rh) применяется как самостоятельный контактный материал. По своим характеристикам он близок к иридию, но гальванические покрытия из родия обладают исключительной твердостью и износостойкостью. Их твердость в 10 раз выше, чем у серебра или золота.



Спасибо за внимание!

