

# Электробезопасность. Расчет устройств защиты

Практическое занятие

# Термины и определения

---

# Электробезопасность

система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электробезопасность должна обеспечиваться

Проектирование  
(ПУЭ 7е изд.)

Создание безопасных  
ЭУ

Эксплуатация  
(ПТЭП, ПОТ при экспл. ЭУ)

Использование  
устройств  
защиты

Технические и  
организационны  
е мероприятия

# Термины и определения

**Электроприемник** - аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

**Электроустановка** - совокупность электрических устройств объединенных общими признаками: машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенные для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования её в другой вид энергии.

**Электрооборудование** - совокупность электрических устройств объединенных общими признаками.

# Классификация электрооборудования

(по степени защиты оболочки)

Маркировка степени защиты оболочки электрооборудования осуществляется при помощи международного знака защиты (IP) и двух цифр: первая из которых означает защиту от попадания твёрдых предметов, вторая — от проникновения воды.

IP 6 7

## Защита от попадания твердых предметов:

- 0 - защита отсутствует;
- 1 - защита от частиц диаметром 50мм или касания тыльной стороной руки;
- 2 - защита от частиц диаметром 12,5 мм или касания пальцем;
- 3 - защита от частиц диаметром 2,5 мм или касания инструментом;
- 4 - защита от частиц диаметром 1,0 мм или касания проволокой;
- 5 - пылезащищенное исполнение, но некоторое количество пыли может попасть, полная защита от контакта;
- 6 - пылезащищенное.

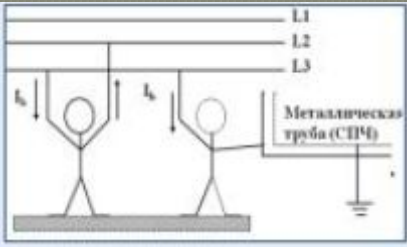
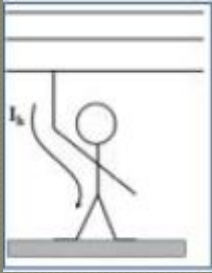
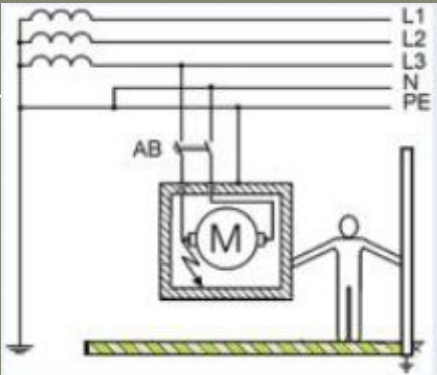
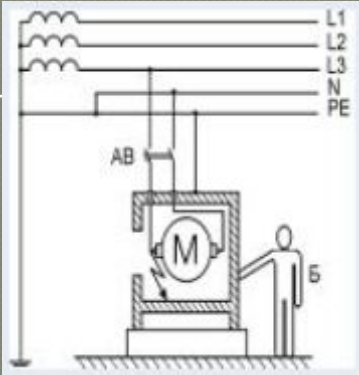
## Защита от проникновения воды:

- 0 - защита отсутствует;
- 1 - защита от вертикальных капель;
- 2 - защита от вертикальных капель под углом  $15^{\circ}$ ;
- 3 - защита от падающих брызг (от дождя под углом  $60^{\circ}$ );
- 4 - защита от брызг в любом направлении;
- 5 - защита от струи воды (сопло 6,3 мм  $P = 30$  кПа);
- 6 - защита от мощной струи воды (сопло 12,5 мм  $P = 100$  кПа);
- 7 - кратковременное погружение на глубину 1 м длительностью 30 мин;
- 8 - погружение на глубину более 1 м длительностью 30 мин.

# **Действие электрического тока на человека**

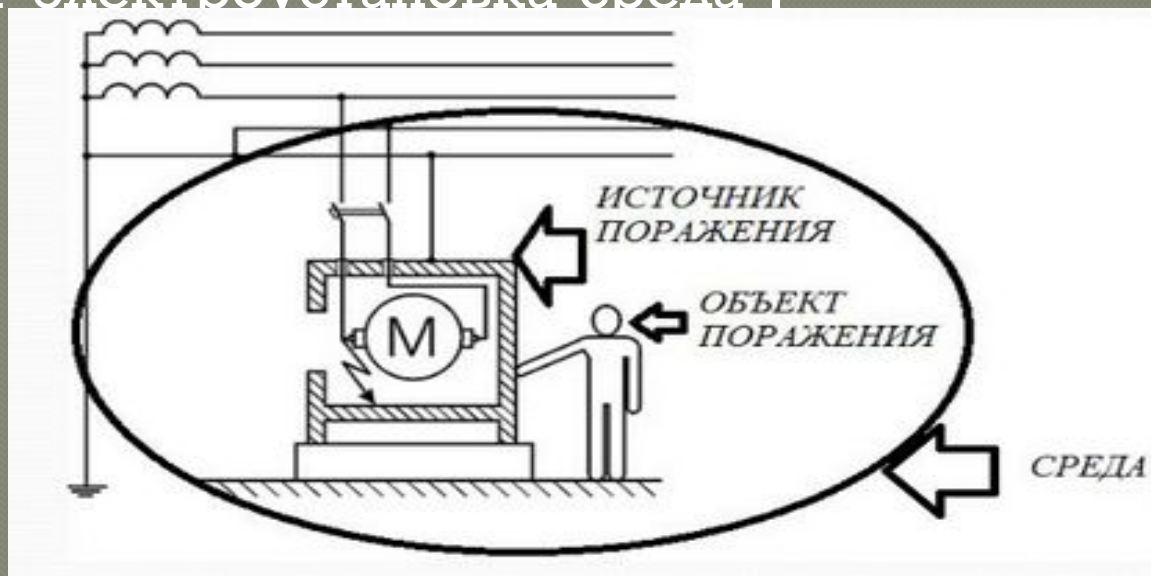
---

# Виды контактов с частями, находящимися под напряжением

Вид прикосновения	Помещение	
	Пол изолирован	Пол проводит ток
<p><b>Прямое</b> — электрический контакт человека с токоведущими частями, находящимися под напряжением</p>		
<p><b>Косвенное</b> — электрический контакт с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции</p>		

# Электротравматизм

**Электротравматизм** – совокупность электротравм, характеризующаяся определенными причинно-следственными связями между элементами системы "человек–электроустановка–среда".



Причины

Прикосновение к  
неизолированным токоведущим  
частям

Дуга

Прикосновение к проводящим  
частям, оказавшимся под  
напряжением при повреждении  
изоляции

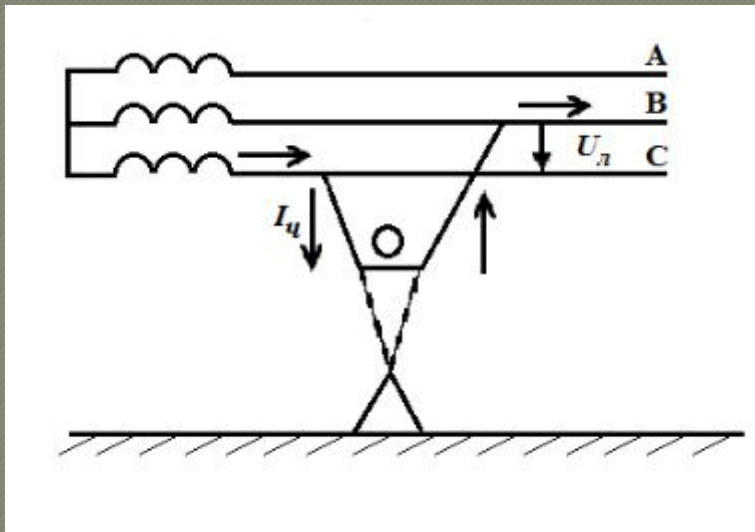
Напряжение шага



# Характерные значения токов

Действие	Значение I, мА	
	Переменный ток (50Гц)	Постоянный ток
Отсутствует (безопасное значение)	0,3	0,3
Пороговые ощущения (ощутимый ток)	0,5-1,5	5-7
Судороги мышц (неотпускающий ток)	10-15	50-80
Фибрилляция желудочков сердца (фибрилляционный ток)	100	300

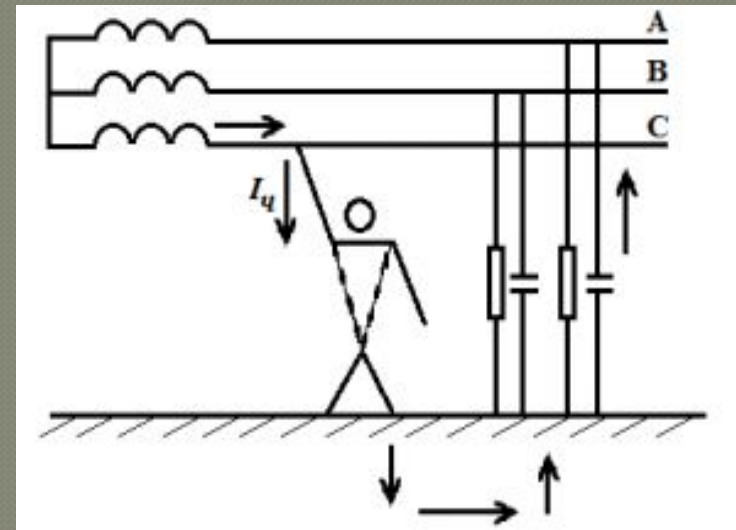
# Схемы включения человека в цепь



Двухфазное

$$I = U/R_{\text{ч}},$$

$R_{\text{ч}}$  – сопротивление тела человека



Однофазное

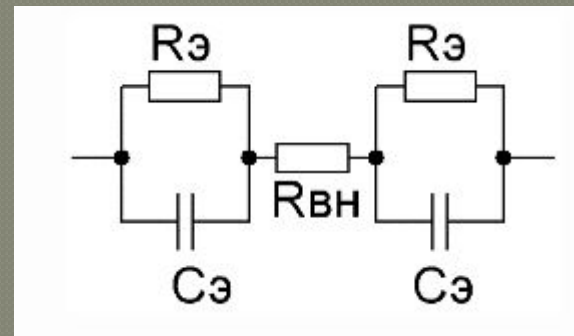
$$I = U/R_{\Sigma},$$

$R_{\Sigma}$  - сумма сопротивлений при прохождении тока через человека, землю, защитный проводник

# Сопротивление тела человека

Сопротивление тела человека – величина непостоянная, ее значение зависит от ряда факторов. Сопротивление различных тканей неодинаково (кожа, сухожилия, жировая и костная ткань – 3-20 кОм/м; кровь, лимфа, мышцы, нервная ткань – 0,5-1 Ом/м). Наибольшее влияние на сопротивление тела влияет кожа: эпидермис – наибольшее, дерма – значительно меньше.

Условно сопротивление тела человека можно представить из активного сопротивления внутренних тканей и емкостного сопротивления эпидермиса (электрод и внутренние ткани – обкладки конденсатора, эпидермис –

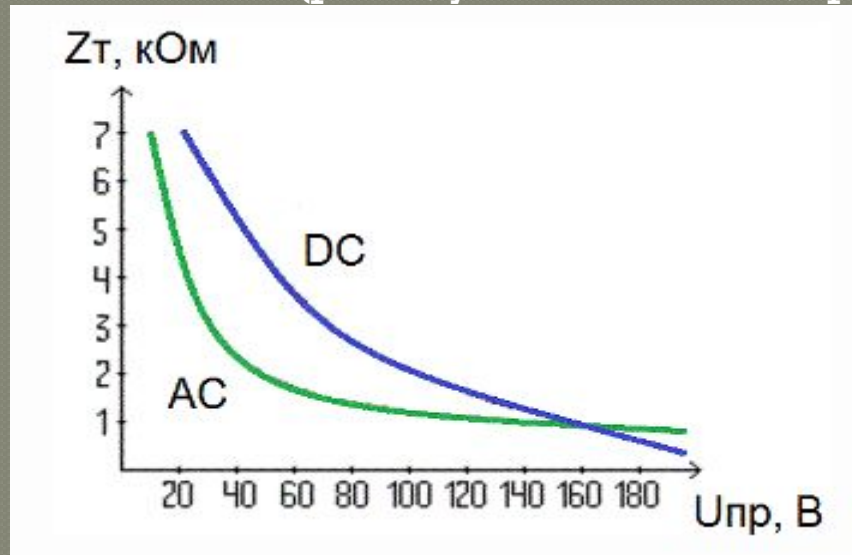


Электрическая схема сопротивления тела человека

# Сопротивление тела человека

Сопротивление тела человека зависит от пяти факторов:

- от психологического и физиологического состояния (индивидуальные особенности);
- от возраста (у взрослых  $R$  выше, чем у детей);
- от пола ( $R$  у мужчин выше, чем у женщин);
- от внешних условий (температура, влажность);
- от общего состояния кожи (раны, увлажненность, грязь).

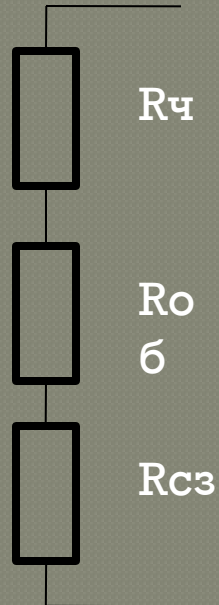


Зависимость сопротивления тела человека от приложенного напряжения AC – переменный ток; DC – постоянный ток.

При расчетах, связанных с электробезопасностью, сопротивление тела человека принимается равным 1000 Ом.

# Суммарное сопротивление при использовании СИЗ

## Электрическая схема



$$R_{\Sigma} = R_{ч} + R_{об} + R_{сз}$$

Рассчитать ток, протекающий через тело человека при его прикосновении к однофазной цепи для двух случаев – без использования диэлектрического коврика и с диэлектрическим ковриком. Диэлектрический коврик выполнен из резины (удельное сопротивление  $10^{13}$  Ом×м) и имеет размеры  $1000 \times 1000 \times 2$  мм.

# **Технические мероприятия по обеспечению электробезопасности**

---

# Заземление

**Защитное заземление** - это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

**Цель заземления:** снизить до безопасной величины напряжение относительно земли на металлических частях оборудования, которые не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции электроустановок. В результате замыкания на корпус заземленного оборудования снижается напряжение прикосновения и, как следствие, - ток, проходящий через тело человека, при его прикосновении к корпусам.



# Заземление

**Заземляющее устройство** – совокупность заземлителя и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части ЭУ с заземлителем.

## Заземлители:

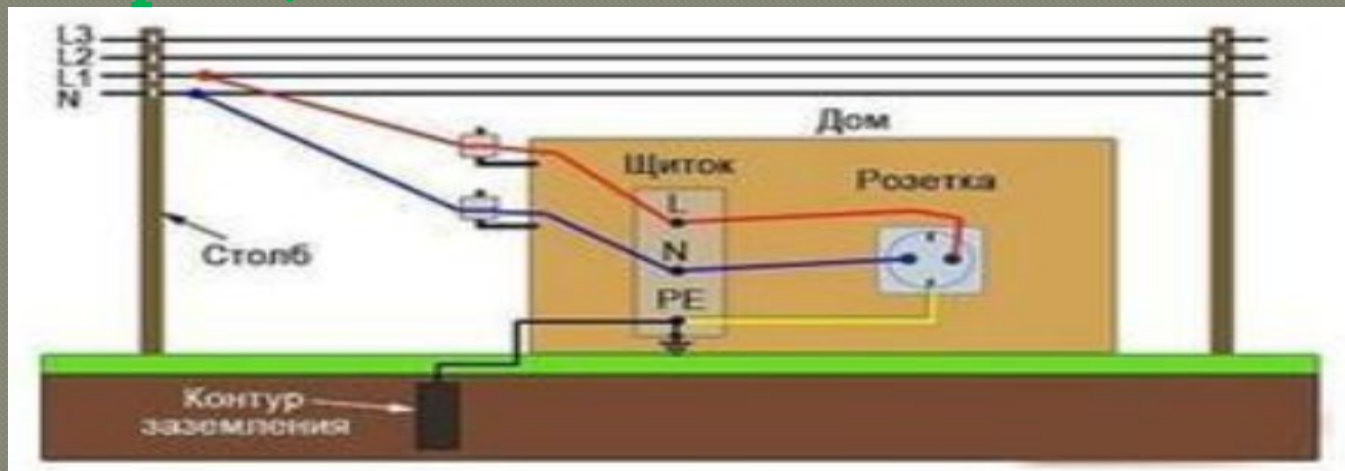
### Естественные:

- водопроводные трубы, проложенные в земле;
- металлические конструкции зданий и сооружений, имеющие соединение с землей.

### Искусственные:

- стальные трубы (длиной 2-3м; диаметром 3-5 см);
- угловая или полосовая сталь толщиной не менее 4 мм.

## Принципиальная схема заземления



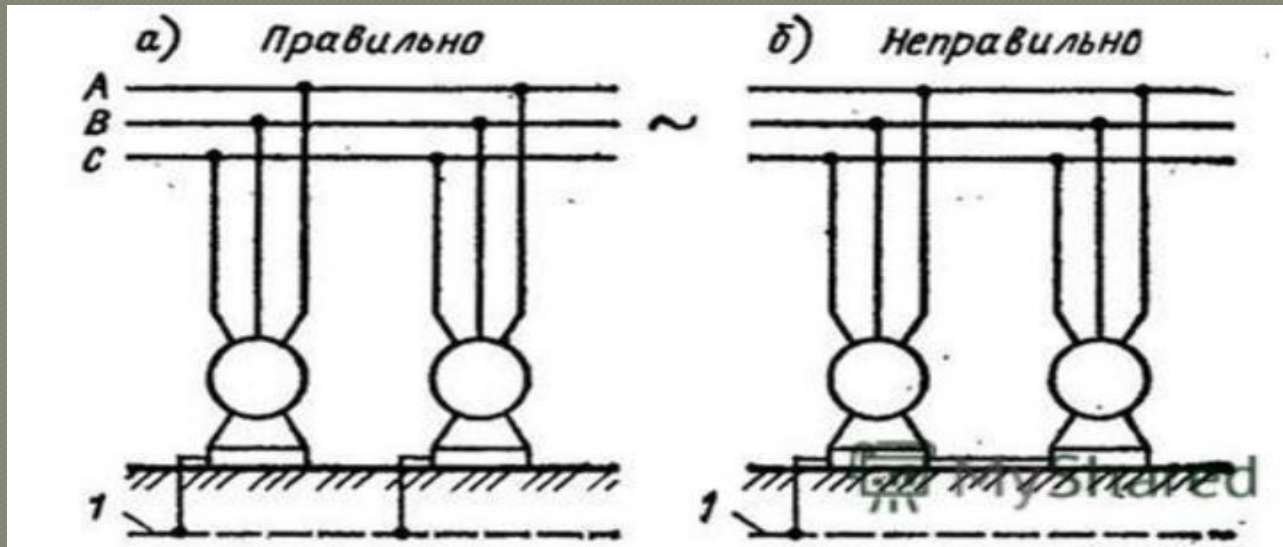


# Заземление

## Общие правила

Каждый корпус электроустановки должен быть присоединен к заземлителю или к заземляющей магистрали с помощью отдельного ответвления. Последовательное включение нескольких заземляемых корпусов электроустановок в заземляющий проводник запрещается.

Сопротивление ЗУ представляет собой сумму сопротивлений заземлителя относительно земли и заземляющих проводников. Наибольшее допустимое значение 10 Ом (мощность 100кВА); 4 Ом – остальные случаи.



# Защитное отключение

**Защитное отключение** - это система защиты, автоматически отключающая электроустановку (потребитель) при возникновении опасности поражения человека электрическим током (при замыкании на землю, снижении сопротивления изоляции, неисправности заземления); возникновении КЗ; общей перегрузке сети.

Для защитного отключения используют следующие устройства:

- **автоматические выключатели** - реагируют на сверхтоки (токи КЗ) , а также на нагрев проводника, возникающий при перегрузке цепи.
- **выключатели дифференциального тока** или устройства защитного отключения (УЗО).

# Защитное отключение

## Автоматический выключатель

**Автоматический выключатель** — коммутационный аппарат, способный включать ток, проводить и отключать при нормальных условиях в цепи, а также автоматически отключать ток при нормированных ненормальных условиях в цепи, таких как ток короткого замыкания или ток перегрузки.

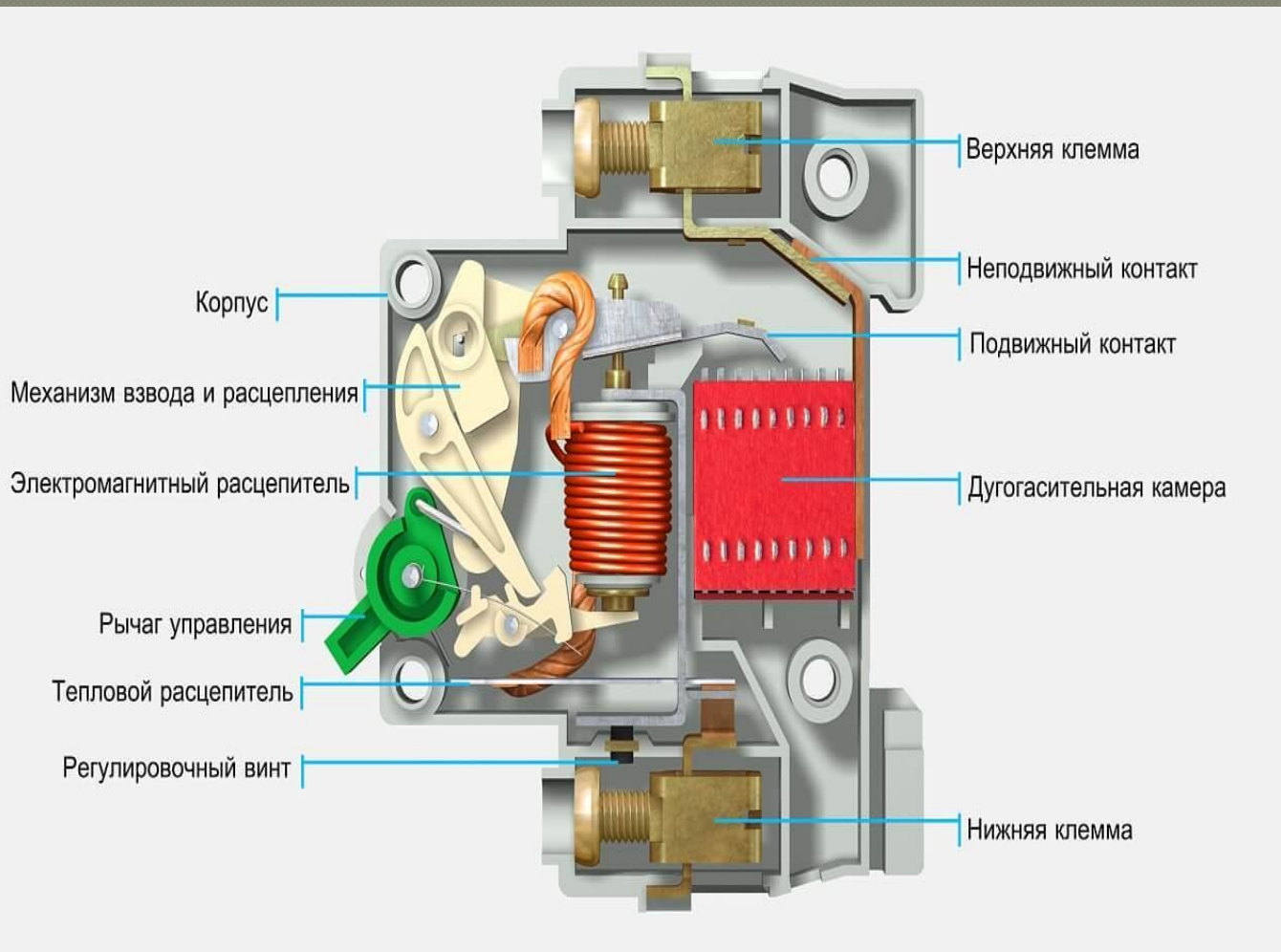
Основным рабочим элементом автоматического выключателя, является **расцепитель**.

Современные автоматические выключатели имеют расцепители 2-х типов:

- **Тепловой:** обеспечивает отключение защищаемой цепи при незначительном превышении (от 1,45) номинального тока (например, при перегрузке цепи); представляет собой биметаллическую пластину, которая при увеличении силы тока выше номинальной нагревается, изгибается и приводит в действие механизм расцепления;
- **Электромагнитный:** расцепитель мгновенного действия, отключающий цепь при значительном превышении тока номинала (в 2-10 раз) при аварийных режимах (например, коротком замыкании); представляет собой катушку индуктивности с подвижным сердечником, который втягивается при превышении заданного порога тока.

# Защитное отключение Автоматический выключатель

## Принципиальная схема автоматического



# Защитное отключение

## Расчет автоматических выключателей

Расчет АВ производится по 2м параметрам:

### I.1 По номинальному току

Расчет АВ по номинальному току сводится к расчету максимального тока нагрузки включенных электроприемников и подбора ближайшего большего значения номинального тока из стандартного ряда с одной стороны, и расчету максимально допустимого тока в проводнике и подбору ближайшего меньшего значения номинального тока АВ с другой.

То есть должны выполняться следующие условия:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

где  $I_B$  – максимальный рабочий ток нагрузки, А;

$I_N$  – номинальный ток АВ, А;

$I_Z$  – предельно допустимый ток проводника цепи, А.

Максимальный рабочий ток нагрузки рассчитывается по следующей формуле:

$$I = \Sigma P / U ,$$

где  $\Sigma P$  – суммарная мощность электроприемников, Вт;

$U$  – напряжение цепи (для бытовой однофазной цепи переменного тока – 220 В).

# Защитное отключение

## Расчет автоматических выключателей

### I.1 По номинальному току

Суммарную мощность следует рассчитывать как сумму мощностей всех электропотребителей в защищаемой цепи с поправкой на коэффициент использования (учитывает, что приборы включаются не одновременно):

$$\Sigma P = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) \times k_{\text{и}}$$

где  $k_{\text{и}}$  – коэффициент использования.

АВ по номинальному току выбирается по ближайшему большему значению из стандартного ряда:

6А-10А-16А-20А-25А-32А-40А-50А-63А.

### I.2 По току короткого замыкания.

Для упрощения расчетов принимаем следующее: в быту используются два типа АВ по току мгновенного расцепления:

- тип В (от  $3I_N$  до  $5I_N$ ) – для цепей, питающих осветительные приборы;
- тип С (от  $5I_N$  до  $10I_N$ ) – для цепей, питающих силовые приборы.

# Защитное отключение

## Расчет автоматических выключателей



# Защитное отключение

## Устройство защитного отключения

---

**УЗО** - контактное коммутационное устройство, предназначенное для включения и отключения токов при нормальных условиях эксплуатации и автоматического отключения, когда дифференциальный ток (ток утечки) достигает заданного значения.

### УЗО отключает защищаемую цепь:

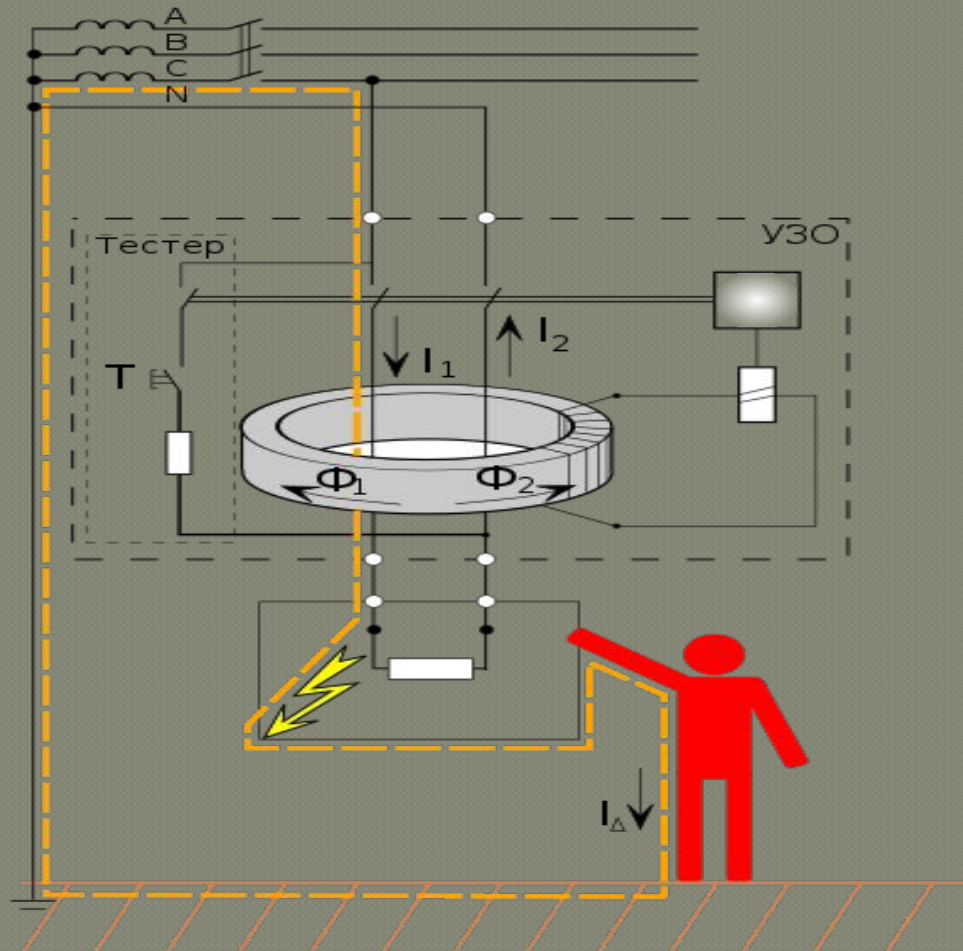
- при прямом прикосновении к электрооборудованию, находящемуся под напряжением;
- при повреждении основной изоляции и контакте токоведущих частей с открытой проводящей частью.



# Защитное отключение

## Устройство защитного отключения

### Принципиальная схема УЗО



# Защитное отключение

## Расчет УЗО

Расчет УЗО осуществляется по 2-м параметрам:

**1) номинальному току** – должен соответствовать току АВ (в расчетах принимаем номинальный ток УЗО равным номинальному току АВ);

**-дифференциальному току (току утечки)** - рассчитывается по формуле:

$$\Delta I_{\text{сети}} = 0,4 \times I_{\text{сети}} + 0,01 \times L_{\text{провода}}$$

где  $I_{\text{сети}}$  – расчетный ток нагрузки в цепи (рассчитывался для АВ), А;

$L_{\text{провода}}$  - длина фазного проводника, м

При этом номинальный дифференциальный отключающий ток должен быть в три раза выше рассчитанного тока утечки;

$$\Delta I_n \geq 3 \Delta I_{\text{сети}}$$

далее принимается ближайшее большее значение тока утечки УЗО из стандартного ряда:

6мА-10мА-30мА-100мА-300мА-500мА.

# Защитное отключение

## Расчет УЗО



# Защитное отключение

## Задачи на расчет АВ и УЗО

Параметр	№ 1	№ 2
Мощности электропотребителей	-чайник – 2кВт; -холодильник – 800Вт; -стир. машина – 2,5кВт; -СВЧ-печь – 800Вт	-освещение из 20 ламп накаливания: 10 по 75Вт; 10 по 100Вт
Коэффициент использования	0,8	0,9
Длина фазного проводника, м	12	20

Подобрать:

- Автоматический выключатель по номинальному току (учитывать только ток нагрузки, предельно допустимый ток в проводнике не учитывать) и тип по току мгновенного расцепления;
  - УЗО по номинальному току и току утечки.
- Результаты представить со всеми расчетами.