



**Тема 6**

**ОСНОВЫ**

**ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ**

---

*Техника безопасности* — это система организационных и технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

*Основные задачи техники безопасности:*

- ☐ выявление производственных опасностей и их источников;
- ☐ оценка выявленных опасностей;
- ☐ разработка комплексных мер по безопасности труда с целью снижения несчастных случаев.



## Основные причины несчастных случаев на производстве:

- ☐ *организационные* (низкий уровень образования, профподготовки работника, нарушение инструкций и прочее);
- ☐ *технологические* (низкий технический уровень оборудования, низкий уровень защитных мер и прочее);
- ☐ *санитарно-гигиенические* (несоответствие требованиям санитарных норм, правил, стандартов; характеристик производственной среды);
- ☐ *психофизиологические* (физические и нервно-психические перегрузки, утомление и прочее).

## Воздействие тока на человека

Электрический ток может причинять человеку повреждения – явные и скрытые.

Проходя через живой организм человека, электрический ток оказывает *действие*:

- ☐ термическое (нагрев, ожоги);
- ☐ электролитическое (разложение крови и других органических жидкостей);
- ☐ биологическое (раздражение тканей, нарушение внутренних биоэлектрических процессов).



# Воздействие тока на человека

Различают два *вида поражения* эл. током:

- ☐ электрические травмы
- ☐ электрические удары

*Электрические травмы* – четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги.

*Различают виды электротравм:*

- ☐ электрические ожоги;
- ☐ электрические знаки;
- ☐ металлизация кожи;
- ☐ механические повреждения;
- ☐ электроофтальмия.



*Электрические удары* — это возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, сопровождающееся непроизвольным судорожным сокращением мышц.

*Степени электроударов:*

- ☐ 1 степень — судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- ☐ 2 степень — судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;

❑ 3 степень — потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

❑ 4 степень — клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения (8 мин).



## **Способы освобождения пострадавшего от действия эл. тока:**

- ☐ отключение электроустановки или ее части
- ☐ отделение пострадавшего от электроустановки
- ☐ отделение токоведущих частей от пострадавшего
- ☐ механическое воздействие на токоведущие части
- ☐ отделение пострадавшего от земли
- ☐ вызов искусственного короткого замыкания с целью отключения электроустановки

## **Причины смерти от действия эл. тока:**

- ☐ электрический шок;
- ☐ прекращение дыхания.



## Факторы, влияющие на тяжесть поражения электрическим током

□ *сила тока* — это основной фактор, обуславливающий тяжесть поражения;

При длительном (более 1с) протекании переменного тока промышленной частоты (50 Гц) выделяют следующие характерные значения:

1) 0,6 – 1,5 мА – пороговый ощутимый ток, при котором человек начинает ощущать его воздействие;

2) 6 – 10 мА – пороговый неотпускающий ток, при котором человек не в состоянии самостоятельно освободиться от действия тока;

3) 80 – 100 мА – пороговый фибрилляционный ток, при котором начинается фибрилляция сердца, обычно заканчивающаяся его остановкой;



**□род тока** (постоянный или переменный).  
Постоянный ток менее опасен. Для него пороговые значения в 3-4 раза выше, чем для переменного. Неотпускающий эффект при действии постоянного тока отсутствует, и правильнее говорить о болевом пороге, когда человек начинает испытывать сильную боль;

**□ частота тока** (промышленная частота 50 Гц практически является наиболее опасной. Опасность поражения уменьшается при значительном увеличении частоты тока);

**□ величина напряжения** (менее опасным является переменное напряжение, не превышающее 42 В, и постоянное, не превышающее 110 В);



□ *сопротивление тела человека  $R_h$* .  $R_h$  зависит от состояния кожи, состояния здоровья, психофизиологических особенностей, фактора «внимания». При расчетах  $R_h$  принимается равным 1000 Ом;

□ *продолжительность воздействия тока* (увеличение продолжительности – снижение сопротивления человека. При очень кратковременном действии человек может выдержать достаточно большой ток);

□ *путь тока через тело человека* (наиболее опасно, когда ток проходит через жизненно важные органы – сердце, легкие, головной мозг. Т.е. наиболее опасные пути – «голова-рука», «голова-ноги», «рука-рука», «руки-ноги»);

□ *условия внешней среды*: сырость; высокая температура окружающего воздуха; токопроводящая пыль и т.д.



## Пороговые значения токов

1. Условно безопасный – 0,1 мА
2. Пороговый ощутимый – 1,1 мА
3. Пороговый неотпускающий – 15 мА
4. Пороговый фибрилляционный – 70 мА
5. Смертельный – 100 мА

# Классификация производственных помещений по степени опасности поражения электрическим током

Согласно ПУЭ, помещения делят на три группы:

- 1) помещения с повышенной опасностью, в которых имеет место одно из следующих условий:*
- ☐ относительная влажность воздуха более 75 %;
  - ☐ токопроводящий пол;
  - ☐ токопроводящая пыль;
  - ☐ температура воздуха более +35 °С;



2) *особо опасные помещения*, характеризующиеся наличием одного из следующих условий:

- ☐ относительная влажность воздуха около 100 %;
- ☐ химически активная среда, способная разрушать изоляцию;
- ☐ одновременно два или более условий первой группы;

3) *помещения без повышенной опасности*, где отсутствуют вышеупомянутые условия.

С учетом требований электробезопасности рекомендуются следующие номинальные напряжения для электроприемников:

- ❑ 12 В – для ручных светильников и переносного электроинструмента, применяемых в особо опасных помещениях;
- ❑ 42 В – для тех же целей – в помещениях с повышенной опасностью;
- ❑ 65 В – для аппаратов дуговой электросварки.



## Оценка опасности поражения эл. током

*Оценка* – сравнение максимально возможных токов или напряжения прикосновения с предельно допустимыми значениями за определенный промежуток времени.

Оценка позволяет установить необходимость применения тех или иных мер защиты и при необходимости произвести выбор и расчет необходимых методов и средств. Оценка осуществляется в нормальном и аварийном режимах работы.

*Аварийный режим работы сети* — при замыкании фазы на землю.

*Аварийный режим работы электрооборудования* — при замыкании фазы на корпус электрооборудования.



# Нормируемые значения токов напряжений прикосновения

*Нормальный режим работы  
электрооборудования:*

$$I_{h \text{ пд}} \leq 0,3 \text{ мА}; \quad U_{\text{прпд}} \leq 2 \text{ В}; \quad \text{при } t \geq 1 \text{ с.}$$

*Аварийный режим работы  
электрооборудования:*

$$I_{h \text{ пд}} \leq 6 \text{ мА}; \quad U_{\text{прпд}} \leq 42 \text{ В}; \quad \text{при } t \geq 1 \text{ с.}$$

если  $U_{\text{пр}} \geq 50 \text{ В} \Rightarrow R_h = 1 \text{ кОм};$

если  $U_{\text{пр}} \leq 50 \text{ В} \Rightarrow R_h = 6 \text{ кОм}.$

$$R_h = R_h + R_{\text{об}} + R_{\text{ос}}, \text{ Ом}$$

$I_{h\text{ПД}}$  – предельно допустимое значение тока,

проходящего через человека, А

$U_{\text{пр ПД}}$  – предельно допустимое значение напряжения

прикосновения, В

$R_h$  – сопротивление тела человека, Ом

$R_{\text{ch}}$  – сопротивление в цепи тела человека, Ом

$$U_c = U_{\text{л}} / U_{\text{ф}} \text{ В.}$$

Напряжение сети = линейное / фазное.



## Характеристика и анализ электробезопасности трехфазных сетей

В зависимости от режима нейтрали и наличия нулевого провода на практике применяются главным образом два вида электрических сетей:

- ☐ трехфазные четырехпроводные с заземленной нейтралью;
- ☐ трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью;
- ☐ трехфазные четырехпроводные с изолированной нейтралью.

## **Трехфазные четырехпроводные сети с заземленной нейтралью**

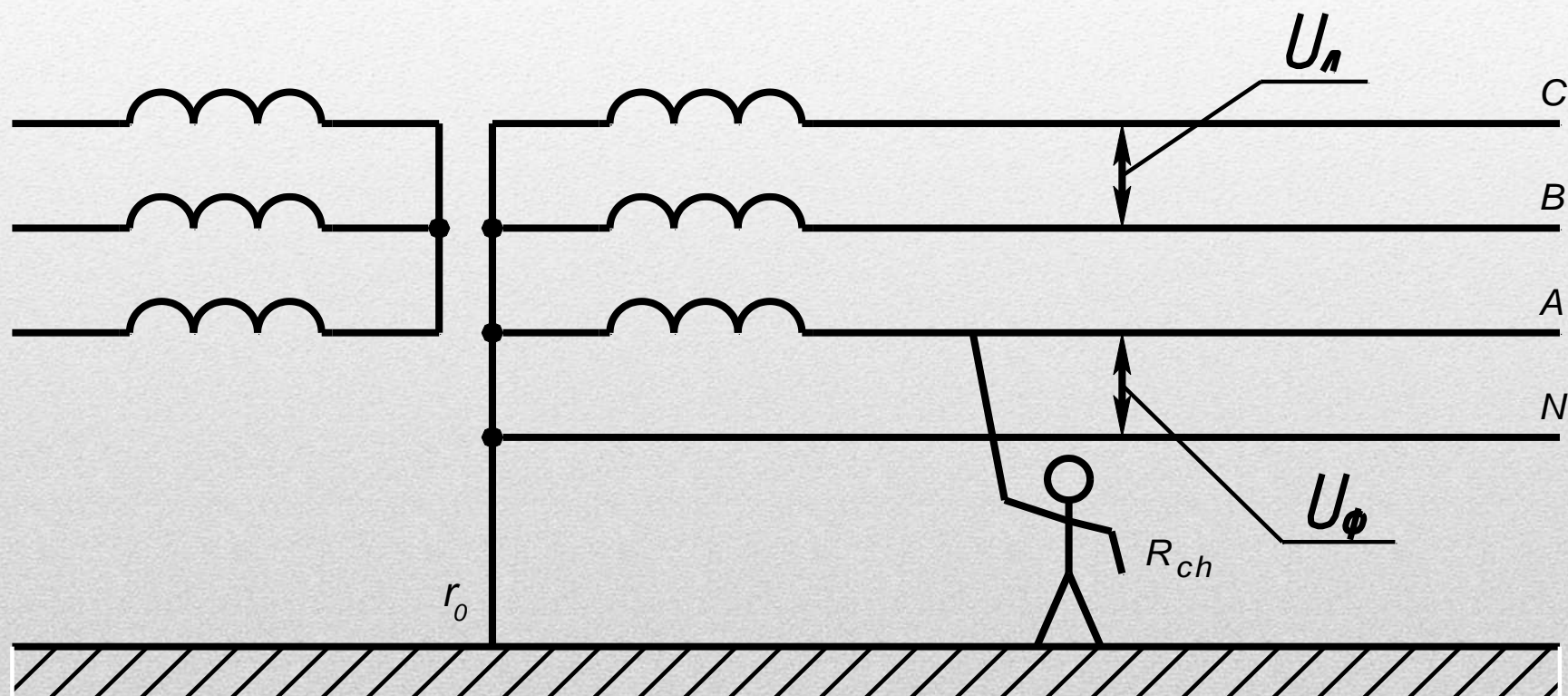
Применяются, когда невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (например, из-за большой протяженности сети, высокой влажности и прочее).

Эксплуатационные преимущества перед трехпроводными сетями — позволяют использовать два рабочих напряжения (линейное и фазное).



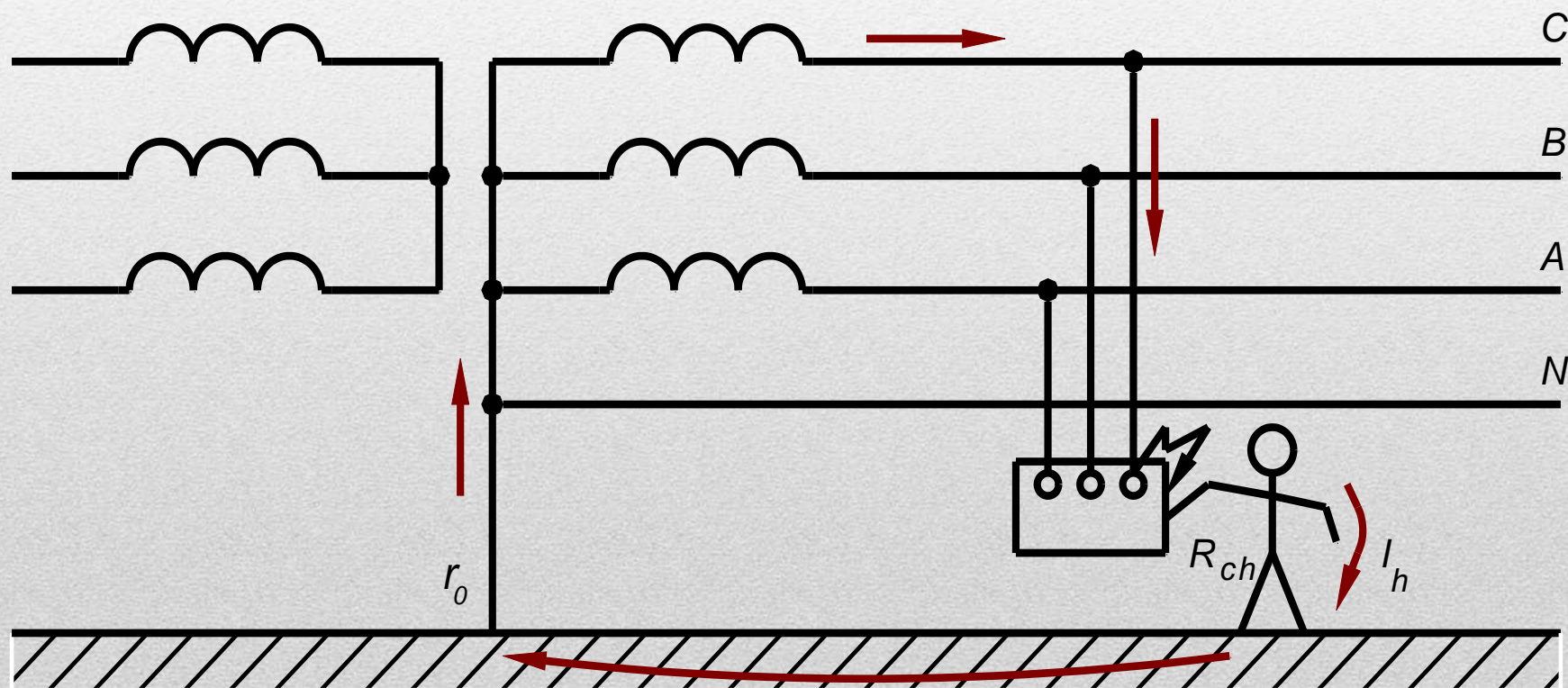
3-х фазные сети с ЗН более *безопасны* в аварийном режиме работы и универсальны в подключении, поэтому получили наибольшее применение на практике.

# Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью при нормальном режиме работы





# Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью при нормальном режиме работы сети, аварийном режиме - оборудовании



## Ток, проходящий через тело человека

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_{ch} + r_o}, A; \text{ так как } r_o \ll R_{ch}, \text{ то } I_h = \frac{U_\phi}{R_{ch}}, A$$

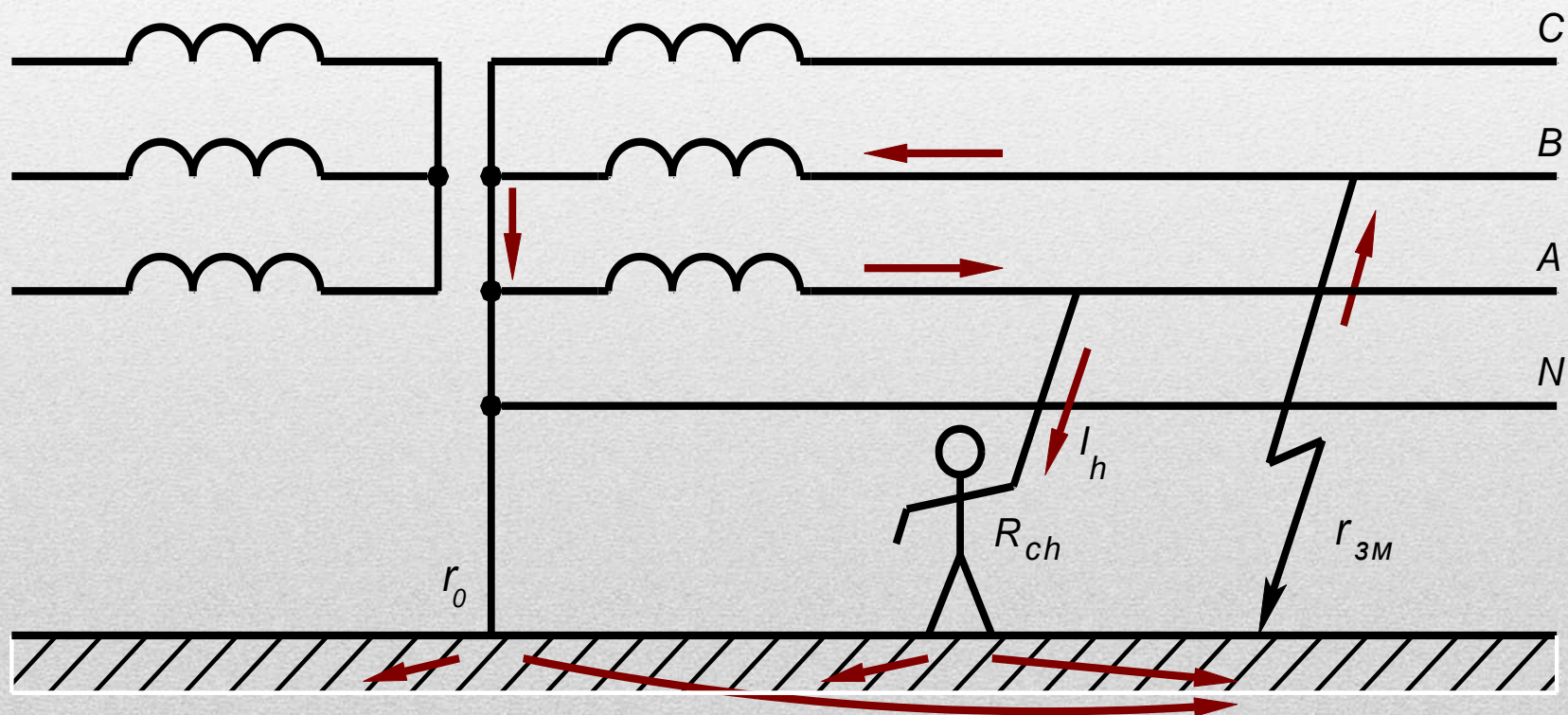
Напряжение сети, В	Сопротивление заземления нейтрали трансформатора $r_o$ , Ом
660/380	2
380/220	4
220/127	8



Прикасаясь к одной из фаз, человек попадает под фазное напряжение, причем ток, проходящий через него, не зависит ни от сопротивления изоляции, ни от емкости сети относительно земли.

В этом случае существенно повышают безопасность сопротивления обуви, грунта и другие сопротивления в электрической цепи человека.

# Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью при аварийном режиме работы сети (одна из фаз замкнута на землю)





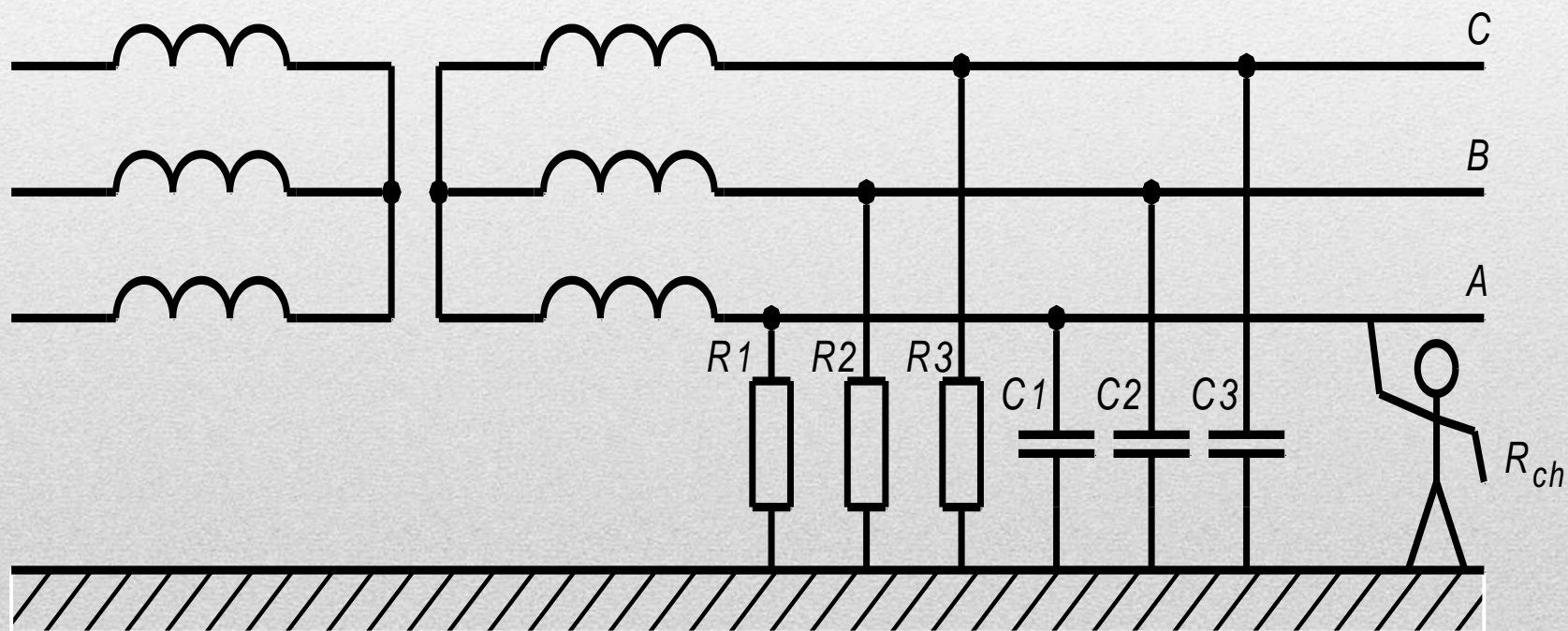
# Ток замыкания на землю

$$I_{3M} = \frac{U_{\phi}}{r_o + r_{3M}}, A$$

# Напряжение прикосновения

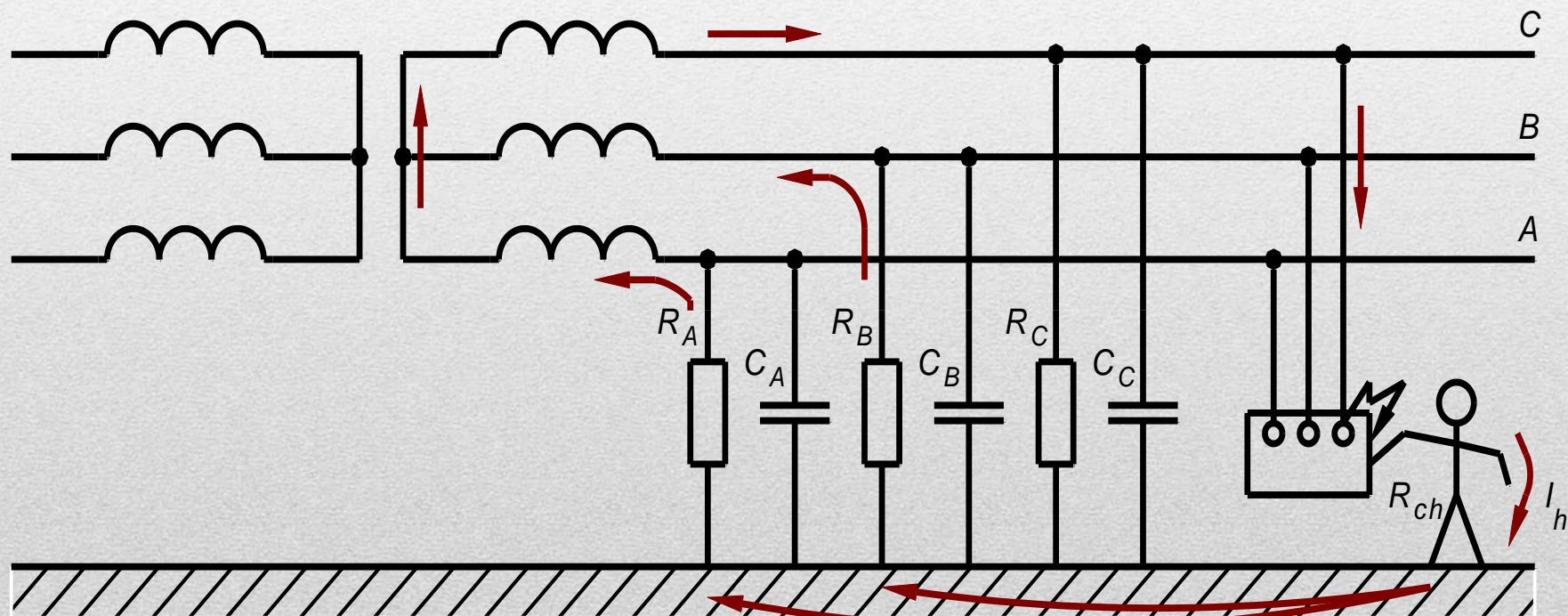
$$U_{л} > U_{пр} > U_{\phi}, B$$

# Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы





# Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы сети, аварийном - оборудовании



## Однофазное прикосновение

$$I_h = \frac{3U_\phi}{3R_{ch} + \dot{Z}}, A$$

при  $R_1 = R_2 = R_3 = \dot{Z}$  и  $C_1 = C_2 = C_3 = C$

$\dot{Z}$  – комплексное сопротивление изоляции фазных проводов по отношению к земле, Ом или в действительном виде

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_{ch} \times \sqrt{1 + \frac{R \times (R + 6R_{ch})}{9R_{ch}^2 \times (1 + R^2 \omega^2 C^2)}}}, A$$



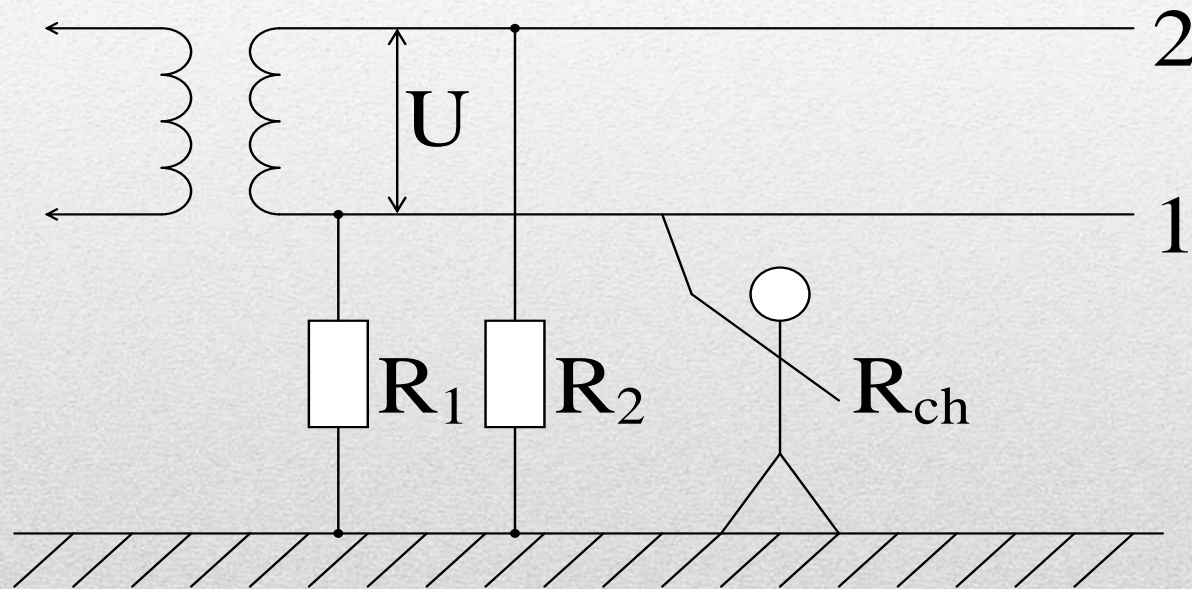
При  $C_1 = C_2 = C_3 = C \rightarrow 0$   
(в сетях небольшой протяженности)  $Z \approx R$ , тогда

$$I_h = \frac{3U_\phi}{3R_{ch} + R}, \text{ A}$$

При расчетах тока необходимо принимать  $Z$  и  $R$  при нормальном режиме работы электрических сетей напряжением до 1000 В равными 500 кОм.

Трехфазные четырехпроводные сети применяются на передвижных установках.

# Двухпроводная сеть переменного тока, изолированная от земли в нормальном режиме работы

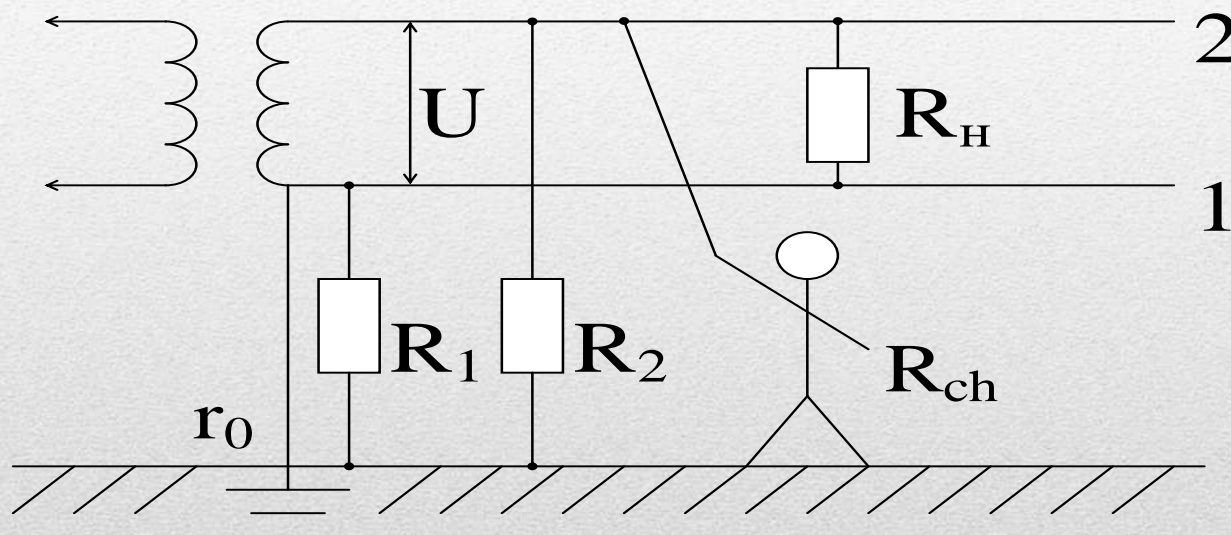


$$I_h \approx \frac{U}{2R_{ch} + R}, A$$

$$\text{при } R_1 = R_2 = R;$$
$$C_1 = C_2 = C \rightarrow 0$$



## Двухпроводная сеть переменного тока с заземленным проводом (прикосновение к незаземленному проводу)



$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_{ch} + r_0}, \text{ так как } R_{ch} \gg r_0, \text{ то } I_h = \frac{U}{R_{ch}}$$

# Технические способы и средства защиты от электропоражений

(могут применяться отдельно или друг с другом)

- ☐ Защитное заземление;
- ☐ Зануление;
- ☐ Защитное отключение (УЗО);
- ☐ Малое напряжение;
- ☐ Электрическое разделение сетей;
- ☐ Изоляция токоведущих частей;



- ❑ Выравнивание потенциалов;
- ❑ Компенсация токов замыкания на землю;
- ❑ Оградительные устройства;
- ❑ Предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности;
- ❑ Средства защиты и предохранительные приспособления

## Защитное заземление

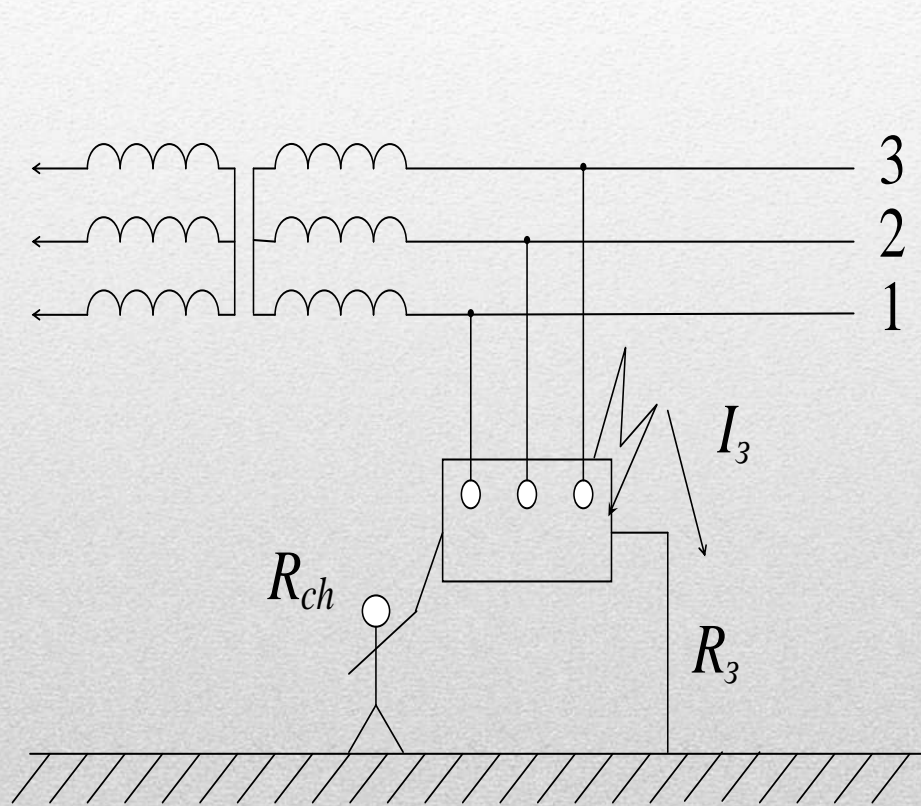
*Защитное заземление* — это преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей ЭУ, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения целостности изоляции или по др. причинам и к которым возможно прикосновение людей.



## Защитное заземление

*Принцип действия* - снижение напряжения прикосновения в результате уменьшения потенциала на корпусе заземленной ЭУ за счет малого сопротивления заземляющего устройства и выравнивания потенциалов на заземленных частях ЭУ и основании, на котором стоит человек, вследствие образования потенциала на основании до значения, близкого к потенциалу заземленных частей оборудования.

# Схема заземления электроустановки в трехфазной трехпроводной сети с ИН



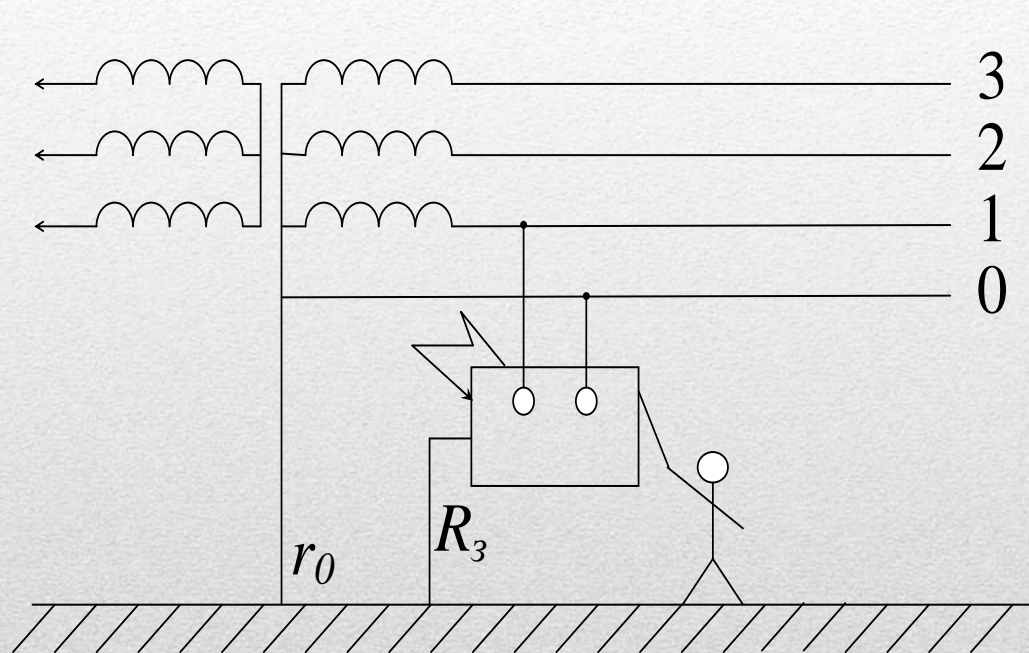
$$I_h = \frac{U_{пр}}{R_{ch}}, \text{ A};$$

$$U_{пр} = I_3 R_3, \text{ B};$$

$$I_3 = \frac{3U_{\phi}}{3R_{ch} + R} = \frac{3U_{\phi}}{3R_3 + R}, \text{ A}$$



# Схема заземления электроустановки в трехфазной четырехпроводной сети с ЗН



$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_{\text{ch}}}, \text{ A};$$

$$U_{\text{пр}} = I_3 R_3, \text{ B};$$

$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ch}} + r_0} = \frac{U_{\phi}}{R_3 + r_0}, \text{ A}$$

# Требования к заземляющим устройствам

Согласно ПУЭ сопротивление заземления  $R_z$ :

- а) в установках напряжением до 1000 В:
  - при мощности источника тока  $P \leq 100$  кВА – не более 10 Ом;
  - при мощности источника тока  $P > 100$  кВА – не более 4 Ом;



**Требования к заземляющим устройствам**  
б) в установках напряжением свыше 1000 В и токами замыкания на землю  $I_z$  свыше 500А – не более 0,5 Ом. При токах замыкания  $I_z \leq 500\text{А}$  величина  $R_z$  рассчитывается согласно методике ПУЭ.

Тогда напряжение прикосновения не превысит допустимого значения 42В при длительности воздействия более 1с.

## **Заземление электроустановок выполняют:**

- при номинальном напряжении 380В и выше переменного тока, 440В и выше постоянного тока — во всех случаях;
- при номинальном напряжении от 42В до 380В переменного тока, от 110В до 440В постоянного тока при работах в условиях с повышенной опасностью и особо опасных.



В качестве заземляющих устройств в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители (электропроводящие части строительных и производственных конструкций и коммуникаций).

## Зануление

Это преднамеренное, электрическое соединение корпусов оборудования и других металлических нетоковедущих его частей, которые могут оказаться под напряжением, с неоднократно заземлённым защитным проводником сети.



В трёхфазных четырехпроводных сетях с заземлённой нейтралью в качестве такого проводника служит заземлённая нейтраль сети.

Принцип действия основан на превращении замыкания на корпус ЭУ в однофазное короткое замыкание с целью появления большого тока, способного обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную ЭУ от питающей сети.

Заземление корпусов ЭУ через нулевой защитный проводник посредством повторного заземления снижает опасность электропоражения персонала при несрабатывании отключающего устройства зануления из-за нарушения цепи тока короткого замыкания.

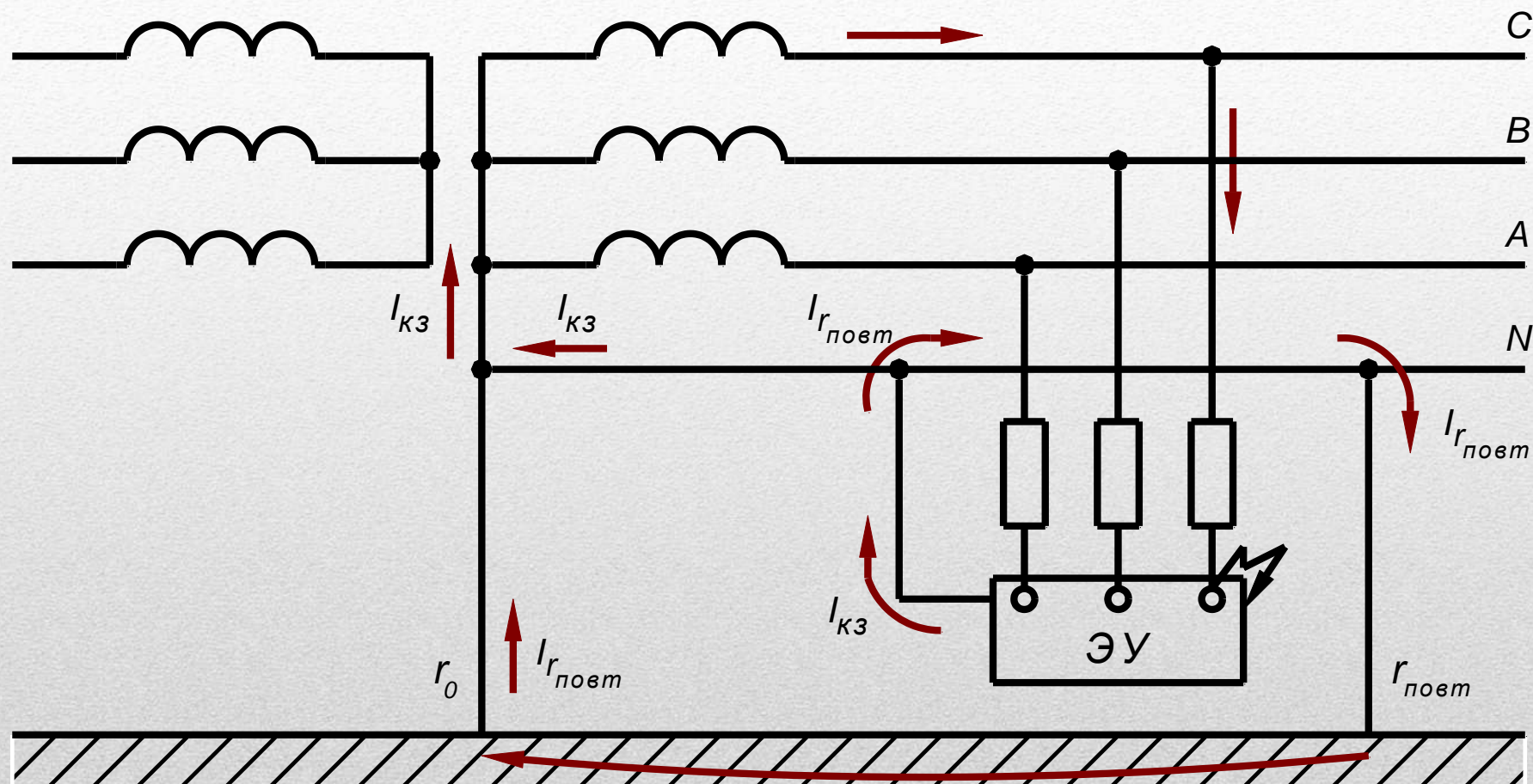
Назначение заземлителей	Сопротивление заземлителей, Ом, при номинальных напряжениях сети, В		
	660/380 В	380/220 В	220/127 В
$r_o$	2	4	8
$r_{повт}$	5	10	20



В качестве защиты при занулении могут применяться плавкие предохранители, магнитные пускатели с тепловой защитой и др.

Зануление как защитная мера применяется в 3-х фазных 4-х проводных сетях с ЗН, в двухпроводных сетях переменного тока с заземленным выводом или в сетях постоянного тока при заземленной средней точке, источника или полюса.

# Принципиальная схема зануления





$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_{\text{ch}}}, A; \quad U_{\text{пр}} = I_3 r_{\text{повт}}, B;$$

$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{r_o + R_{\text{ch}}} = \frac{U_{\phi}}{r_o + r_{\text{повт}}}, A$$

$$U_{\text{пр}} = \frac{U_{\phi}}{r_o + r_{\text{повт}}} \times r_{\text{повт}}, B$$

$$I_h = \frac{U_{\phi} \times r_{\text{повт}}}{(r_o + r_{\text{повт}}) \times R_{\text{ch}}}, A$$

## Требования для надежной работы зануления:

а) значение тока однофазного короткого замыкания на зануленный корпус электроустановки должно удовлетворять условию:

$$I_{кз} \geq k \times I_n$$

где  $I_n$  — номинальный ток перегорания плавкой вставки предохранителя или ток срабатывания автоматического выключателя, А;



$k$  — коэффициент кратности тока, принимается равным 3 при защите электроустановки плавким предохранителем (4 - во взрывоопасных помещениях); если защита осуществляется автоматическим выключателем с номинальным током до 100 А,  $k = 1,4$ . Для прочих автоматов  $k = 1,25$ ;

б) сечение и материал нулевого защитного провода выбираются исходя из условия, что его проводимость должна составлять не менее 50 % проводимости фазного провода, т.е.  $R_n < 2R_\phi$ ;

в) для обеспечения непрерывности цепи зануления запрещается вставлять в нулевой провод предохранители или выключатели. Исключения допускаются в том случае, если выключатель вместе с нулевым проводом размыкает и все фазные провода;

г) для воздушных линий повторное заземление нулевого провода должно выполняться через каждые 250 м и на концах ответвлений длиной 200 м и более.;



д) зануление должно осуществляться специальным проводником, который не может служить одновременно проводником рабочего тока (например, однофазных потребителей);

е)  
сопротивление повторных заземлений должно быть не более: 20 Ом при  $U_{л}=220$  В, 10 Ом при 380В, 5 Ом при 660 В.

## Защитное отключение

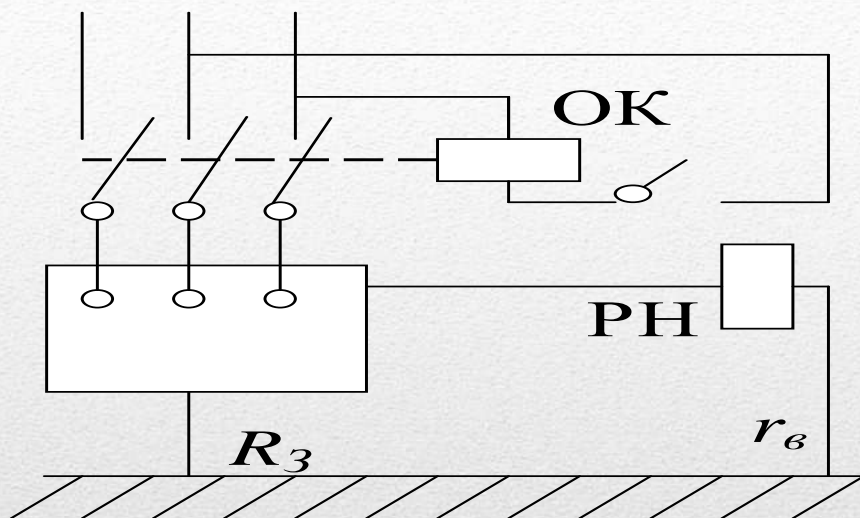
Вид быстродействующей защиты, который обеспечивает автоматическое отключение ЭУ при возникновении в ней опасности поражения электрическим током.

Поврежденная ЭУ и нарушение нормального режима работы сети приводят к изменениям электрических параметров ЭУ или сети, которые могут быть использованы как входные величины для срабатывания устройств защитного отключения (УЗО).



В зависимости от того, что является входной величиной (уставкой), на изменение которой реагирует схема отключения, применяют следующие типы УЗО: на напряжении корпуса относительно земли; на токе замыкания на землю; на токе нулевой последовательности и др.

# Принципиальная схема УЗО, реагирующего на потенциал корпуса



$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{пр.доп}} Z_p}{\alpha_1 \alpha_2 (Z_p + r_v)}, \text{ В}$$

$r_v$  — сопротивление вспомогательного заземления, Ом;

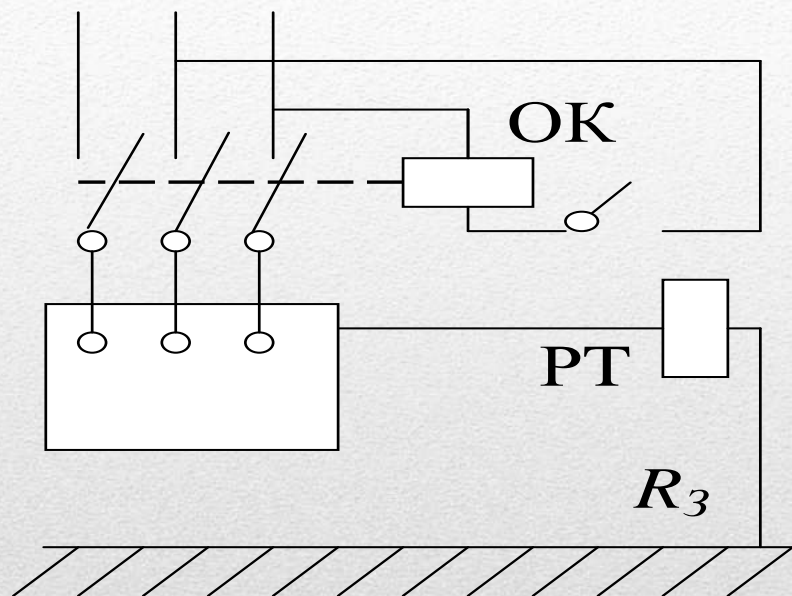
ОК — отключающая катушка автоматического выключателя;

РН — реле максимального напряжения

$Z_p$  — полное сопротивление реле, Ом.



## Принципиальная схема УЗО, реагирующего на ток замыкания на землю



$$I_y = \frac{U_{\text{пр.доп}}}{Z_p + R_3}, \text{ А}$$

$R_3$  – сопротивление заземление корпуса, Ом;

ОК – отключающая катушка автоматического выключателя;

РТ – реле тока

# Меры первой помощи пострадавшим от электрического тока

Первая доврачебная помощь при НС от поражения эл. Током состоит из двух этапов:

1. Освобождение пострадавшего от действия тока;
2. Оказание пострадавшему медицинской помощи.



## Освобождение от действия тока

Самым лучшим способ - быстрое его выключение. Однако это не всегда возможно.

Тогда необходимо перерезать или перерубить провод или кабель топором с сухой деревянной ручкой, либо оттащить пострадавшего от источника тока.

При этом необходимо соблюдать меры личной предосторожности: использовать резиновые перчатки, сапоги, галоши, резиновые коврики, подстилки из сухого дерева, деревянные сухие палки и т.п.

При оттаскивании пострадавшего от кабеля, проводов и т.п. следует брать за его одежду (если она сухая!), а не за тело, которое в это время является проводником электричества.



Меры по оказанию первой помощи пострадавшему от электрического тока зависят от состояния пострадавшего.

**Действие тока не вызвало потери сознания:**

- ☐ уложить пострадавшего на ровную поверхность,
- ☐ тепло укрыть,
- ☐ дать 20-25 капель валериановой настойки, тёплый чай или кофе и немедленно транспортировать в лечебное учреждение.

## Потеря сознание, но дыхание и пульс сохранены:

- ☐ освободить стесняющую одежду (расстегнуть ворот, пояс и т.п.),
- ☐ обеспечить приток свежего воздуха,
- ☐ уложить на твердую поверхность (важно предохранять пострадавшего от охлаждения (теплое питье, грелки)),
- ☐ дать понюхать нашатырный спирт,
- ☐ обрызгать лицо холодной водой,
- ☐ транспортировать в лечебное учреждение.



**Сердечная недостаточность, частое прерывистое дыхание, бледность кожных покровов нужно приступить к искусственному дыханию.**

**Нет признаков жизни - искусственное дыхание «изо рта в рот» и одновременно осуществлять непрямой массаж сердца.**

## *Литература к лекции*

1. [1] – с.320-405; [2] – с.132-155; [3] – с.188-215