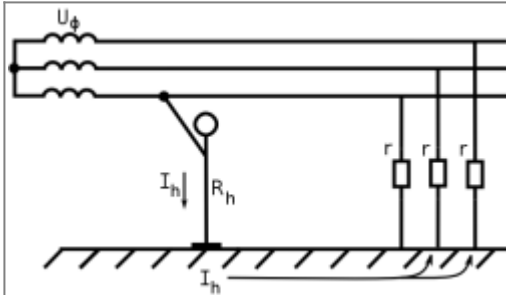


# Основы электробезопасности

## Теория

### Однофазное прикосновение человека к электрической сети

Случай трёхпроводной трёхфазной сети с изолированной нейтралью (см. рисунок).



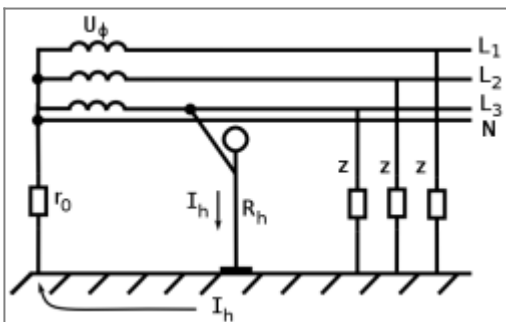
Прикосновение человека к проводу трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью. Случай нормального режима короткой воздушной сети с малой ёмкостью проводов относительно земли.

Здесь  $U_\phi$  - фазное напряжение сети, В;  $R_h$  - сопротивление тела человека, Ом;  $r$  - активное сопротивление изоляции проводов, Ом.

В данном частном случае, когда ёмкостное сопротивление велико, а активное симметрично для всех фаз, сила тока проходящего через человека  $I_h$  определится по следующей формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{r}{3}}, [\text{A}].$$

Случай четырёхпроводной трёхфазной сети с заземлённой нейтралью (см. рисунок).



Прикосновение человека к фазному проводу четырёхпроводной сети с заземлённой нейтралью. Нормальный режим работы сети.

Здесь  $z$  - модуль комплексного сопротивления (полное сопротивление) проводов относительно земли, Ом;  $r_0$  - сопротивление заземления нейтральной точки трансформатора, Ом. Согласно ПУЭ  $r_0$  не должно превышать 4 - 10 Ом.

В данном случае, сила тока проходящего через человека  $I_h$  определяется наличием заземления нейтральной точки трансформатора с малым сопротивлением  $r_0$  и может быть вычислена по следующей формуле:

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + r_0}, [\text{A}].$$

При расчётах электробезопасности, если не оговорено отдельно, сопротивление человека  $R_h$  принимается равным 1000 Ом, которое приблизительно соответствует сопротивлению внутренних органов человека.

## Одиночный стержневой заземлитель

**Заземлитель** — проводящая часть или совокупность соединённых между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с грунтом ([ПУЭ 1.7.15](#)).

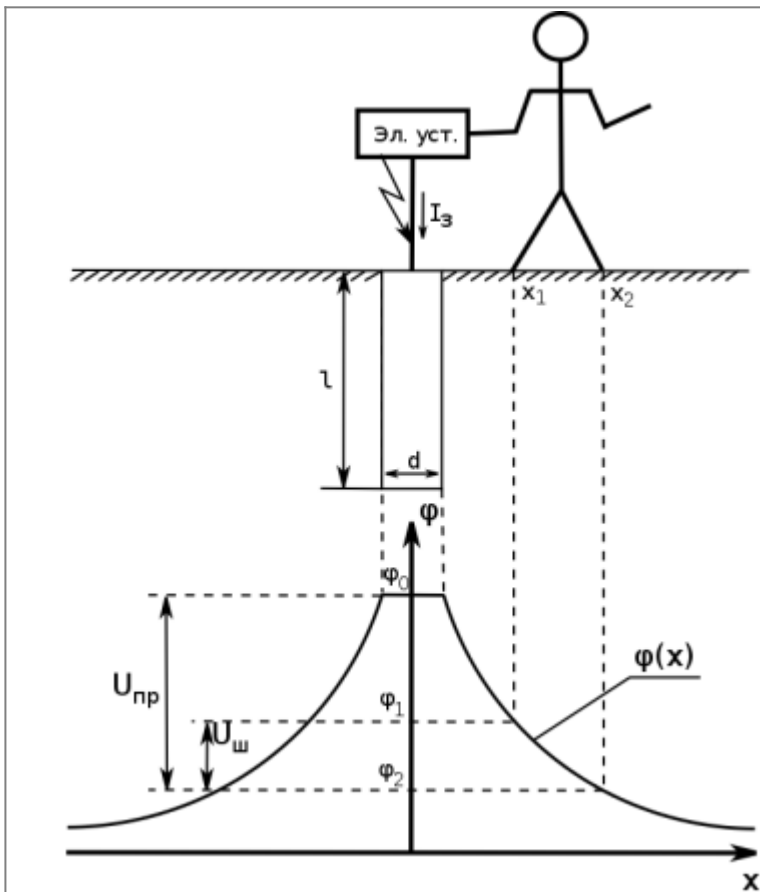
**Сопротивление заземления** — отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю ([ПУЭ 1.7.26](#)).

Сопротивление заземления  $r_z$  — основной показатель заземляющего устройства, определяющий его способность выполнять свои функции и определяющий его качество в целом. В общем случае, сопротивление заземления зависит от формы, площади электрического контакта заземлителя с грунтом и удельного электрического сопротивления грунта.

Стекание тока в землю сопровождается возникновением на заземлителе, в земле вокруг, а следовательно, и на поверхности грунта поля растекания тока  $\varphi(x)$ .

При этом величина потенциала на поверхности грунта зависит от формы и размеров заземлителя, расстояния до заземлителя, величины стекающего тока, удельного сопротивления грунта.

Схема растекания тока от одиночного стержневого заземлителя с глубиной заложения  $l$ , м, и диаметром  $d$ , мм представлена на рисунке:



Растекание тока от одиночного стержневого заземлителя.

Здесь,  $U_{ш}$ ,  $U_{пр}$  - напряжения шага и прикосновения, соответственно.

#### Сопротивление одиночного стержневого заземлителя:

$$r = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}, [\text{Ом}].$$

Здесь  $\rho$  - удельное сопротивление грунта,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;  $l$  - глубина заложения стержневого заземлителя,  $\text{м}$ ;  $d$  - диаметр заземлителя,  $\text{м}$ .

#### Потенциал на поверхности земли от одиночного стержневого заземлителя:

$$\varphi(x) = \frac{I_з \rho}{2\pi l} \ln \left[ \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x} \right], [\text{В}].$$

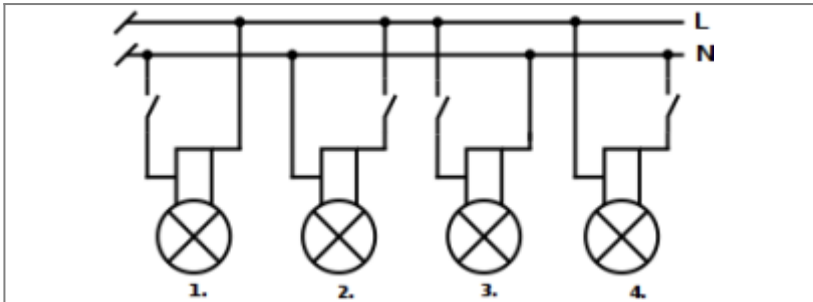
Здесь  $I_з$  - ток, стекающий в землю при коротком замыкании фазного проводника на корпус оборудования,  $\text{А}$ ;  $x$  - расстояние до интересующей точки,  $\text{м}$ .

Подробнее см. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках.

## Задачи

### Задача №1

Какая схема включения осветительной лампы к электрической сети является наименее опасной, наиболее опасной? Почему?



Схемы включения осветительной лампы к электрической сети.

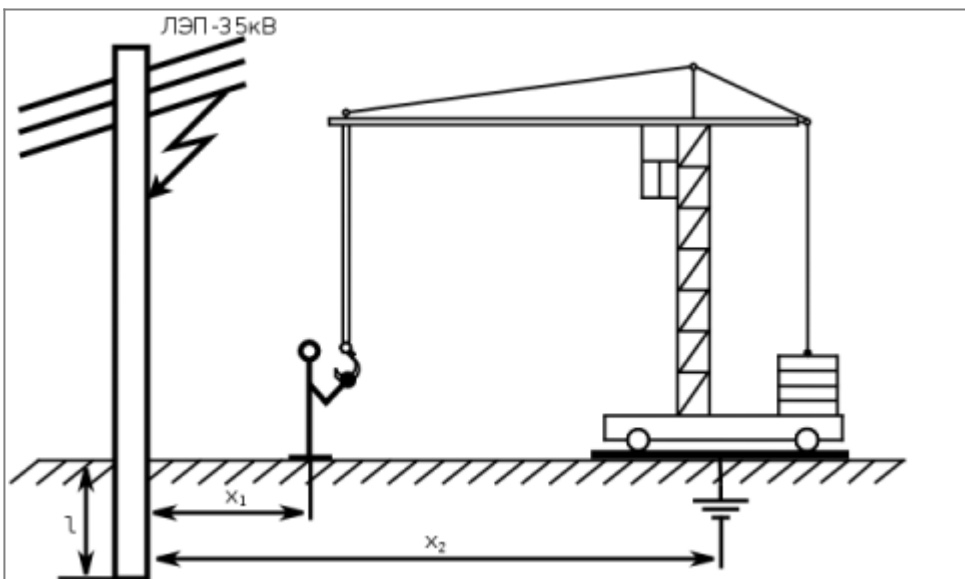
## Задача №2

На строительной площадке, монтажник выполняя задание по установке башенного крана вблизи линий электропередач (ЛЭП), коснулся рукой крюка и был смертельно поражен электрическим током. Работа велась в дождливую ветреную погоду без оформления наряда - допуска. Кран был заземлен и стоял без электрической проводки. В это время на рядом расположенной опоре ЛЭП - 35 кВ от ветровой нагрузки и плохого состояния изоляционной подвески произошло замыкание фазного проводника на металлическую опору.

Определите напряжение прикосновения  $U_{пр}$  и ток, прошедший через человека  $I_h$ , если известны следующие данные:

- Ток, стекающий в землю при замыкании фазного проводника на металлическую опору  $I = 27,6 \text{ A}$ .
- Глубина заложения опоры в землю  $l = 2 \text{ м}$ .
- Удельное сопротивление грунта  $\rho = 210 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .
- Расстояние от опоры до рабочего  $x_1 = 4 \text{ м}$ .
- Расстояние от опоры до заземлителя крана  $x_2 = 12 \text{ м}$ .
- Сопротивление тела человека  $R_h = 800 \text{ Ом}$ .

Схема происшествия представлена на рисунке:



Поражение электрическим током рабочего при монтаже башенного крана.

### Задача №3

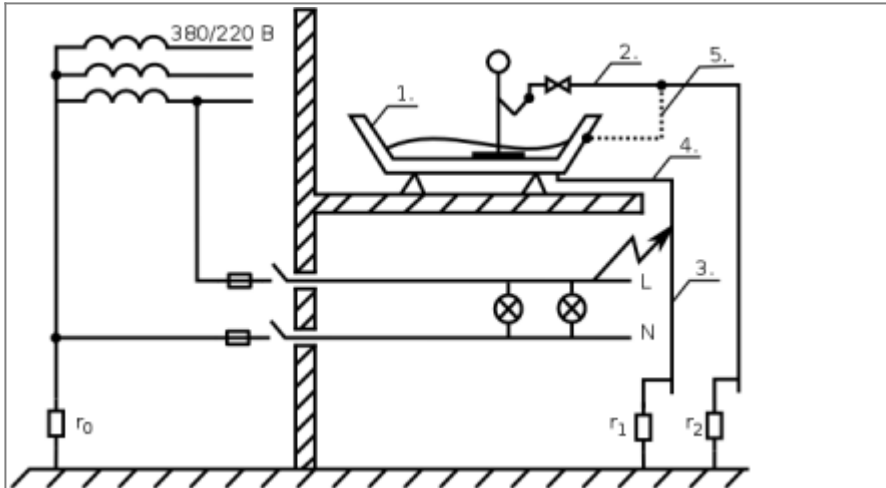
В ванной комнате жилого дома произошло смертельное поражение человека электрическим током. Пострадавший (см. рис.), стоя в ванной (1) с небольшим количеством воды, взялся рукой за водопроводную трубу (2) и был поражён током. Электрическое напряжение возникло на сливном стояке (3) в результате повреждения изоляции фазного проводника L и контакта его со стояком в другом жилом помещении. Ванная и сливная труба (4) не имели контакта с водопроводной трубой (2), что и обусловило наличие напряжения между ванной (1) и трубой (2), которое воздействовало на пострадавшего.

Напряжение возникло из-за отсутствия металлического патрубка (5), соединяющего ванну с водопроводной трубой (2), а также неудовлетворительной эксплуатации электропроводки и отсутствия контроля за состоянием изоляции в проводниках L и N в жилых помещениях, высокого сопротивления заземления сливного стояка.

Определите ток  $I_h$ , прошедший через человека, если известны следующие данные:

- Фазное напряжение электрической сети  $U_\Phi = 220 \text{ В}$ .
- Сопротивление заземлённой нейтрали трансформатора  $r_0 = 8 \text{ Ом}$ .
- Сопротивление заземления сливного стояка  $r_1 = 200 \text{ Ом}$ .
- Сопротивление заземления водопроводной трубы  $r_2 = 4 \text{ Ом}$ .
- сопротивление тела человека  $r_h = 1000 \text{ Ом}$ .

Схема происшествия представлена на рисунке:



Поражение человека электрическим током при пользовании ванной.

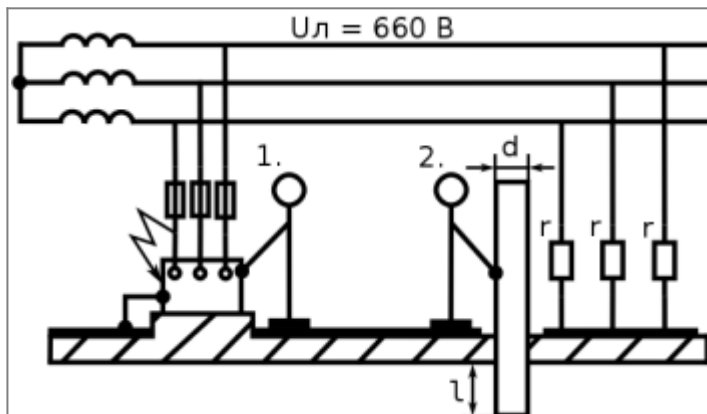
### Задача №4

Корпус электродвигателя воздушного вентилятора, установленного на бетонное основание, соединён заземляющим проводником с металлическим листом, на котором стояли двое рабочих. При этом один из них касался корпуса электродвигателя, а другой - стальной трубы, вертикально забитой в землю и не имеющей связи с металлическим листом. В это время произошло замыкание обмотки работающего двигателя на его корпусе (см. рис.).

Определите токи  $I_{h,1}$ ,  $I_{h,2}$  прошедшие через работников, если известны следующие данные:

- Короткая трёхфазная сеть с изолированной нейтралью. Линейное напряжение которой  $U_{\text{л}} = 660 \text{ В}$ .
- Сопротивление изоляции проводников относительно земли одинаковы  $r = 1800 \text{ Ом}$ .
- Сопротивление человека  $r_h = 1000 \text{ Ом}$ .
- Удельное сопротивление грунта  $\rho = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .
- Заглубление трубы в землю  $l = 2 \text{ м}$ .
- Диаметр трубы  $d = 0,05 \text{ м}$ .

Схема происшествия представлена на рисунке:



Поражение человека током при его соприкосновении со стальной трубой при замыкании на корпус двигателя.

From:

<https://jurik-phys.net/> - Jurik-Phys.Net

Permanent link:

<https://jurik-phys.net/lifesafety:seminars:electro?rev=1449416722>

Last update: 2015/12/06 18:45

