

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ**  
**Ордена Трудового Красного Знамени**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Московский технический университет связи и информатики»**

**Кафедра экологии, безопасности жизнедеятельности и электропитания**

**ОТЧЁТ ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ**

По дисциплине:

«Безопасность жизнедеятельности»

По теме:

«Защитное заземление»

Выполнил:

Проверил: д. пед. н., к. техн. н., проф. Яблочников С. Л.

Москва 2023

## Задача №1

### РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ

#### С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

##### (аварийный режим)

В данной задаче необходимо: начертить схему трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью и подключенным оборудованием.

Требуется:

1. Определить напряжение на корпусе оборудования при замыкании фазы на корпус:

а) при занулении оборудования (подключении корпусов к нулевому проводу);

б) с повторным заземлением нулевого провода.

2. Определить ток короткого замыкания и проверить, удовлетворяет ли он условию ПУЭ для перегордки плавкой вставки предохранителя:

$$I_{к.з.} \geq 3 \times I_n,$$

где  $I_n$  - ток плавкой вставки (проверить для следующих значений тока  $I_n = 20, 30, 50, 100$  А).

3. Определить потенциал корпусов при замыкании фазы на корпус и обрыве нулевого провода (до и после места обрыва).

4. Определить ток, проходящий через тело человека, касающегося оборудования при замыкании фазы на корпус:

а) без повторного заземления нулевого провода;

б) с повторным заземлением нулевого провода.

5. Определить напряжение прикосновения на корпус установки при замыкании одной из фаз на землю (дать схему).

6. Рассчитать заземляющее устройство, состоящее из  $n$  индивидуальных заземлителей, так чтобы  $R_z$  не превышало 4 Ом.

7. Сформулировать выводы.

Исходные данные к задаче 1

$$R_{\Pi} = 4 \text{ Ом}$$

$$Z_{\Pi} = 0,8 \text{ Ом}$$

$$Z_{Н} = 0,5 \text{ Ом}$$

$$R_{3М} = 100 \text{ Ом}$$

$$\ell = 4,0 \text{ м}$$

$$d = 0,03 \text{ м}$$

$$t = 2,0 \text{ м}$$

$$\eta_s = 0,65$$

вид грунта - Торф

$$\rho = 25 \text{ Ом}\times\text{м}$$

$$U_{\phi} = 220\text{В.}$$

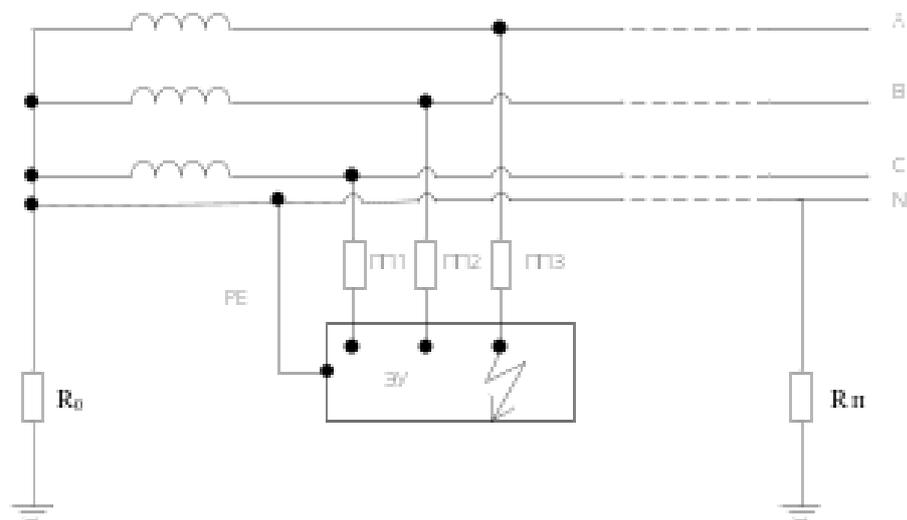


Рис. 1. Схема зануления.

А, В, С, – фазные провода, N – нулевой рабочий проводник, PE – нулевой защитный проводник,

ПП1, ПП2, ПП3 – плавкие предохранители, ЭУ – электроустановка.

$R_0$  – сопротивление заземления нейтрали,  $R_{II}$  – сопротивление повторного заземления.

Решение:

1. Определим ток короткого замыкания

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\Pi}}, \text{ А}$$

$$I_{к.з.} = \frac{220}{0,8} = 275 \text{ А}$$

Условие ПУЭ (Правила устройства электроустановок) для перегорания плавкой вставки предохранителя:

$$I_{к.з.} \geq 3 I_H$$

где  $I_H$  – ток плавкой вставки (номинальное значение тока, при котором происходит срабатывание элемента защиты), проверить для  $I_H = 20; 30; 50; 100$  А.

$I_{H1} = 20$  А;  $I_{к.з.} \geq 3 \cdot 20$  А;  $I_{к.з.} \geq 60$  А;  $275$  А  $> 60$  А,  $I_{к.з.} > 3 I_{H1}$ ;  
защитное устройство сработает.

$I_{H2} = 30$  А;  $I_{к.з.} \geq 3 \cdot 30$  А;  $I_{к.з.} \geq 90$  А;  $275$  А  $> 90$  А,  $I_{к.з.} > 3 I_{H2}$ ;  
защитное устройство сработает.

$I_{H3} = 50$  А;  $I_{к.з.} \geq 3 \cdot 50$  А;  $I_{к.з.} \geq 150$  А;  $275$  А  $> 150$  А,  $I_{к.з.} > 3 I_{H3}$ ;  
защитное устройство сработает.

$I_{H4} = 100$  А;  $I_{к.з.} \geq 3 \cdot 100$  А;  $I_{к.з.} \geq 300$  А;  $275$  А  $< 300$  А,  $I_{к.з.} < 3 I_{H4}$ ;  
защитное устройство не сработает.

2. Определим напряжение корпуса относительно земли:

а) без повторного заземления

$$U_3 = I_{к.з.} \times Z_n, \text{ В}$$

$$U_3 = 275 \times 0,8 = 343,75 \text{ В}$$

б) с повторным заземлением нулевого провода

$$U_{3.п.} = \frac{U_3}{R_{п.} + R_0} \times R_{п.} \text{ В}$$

$$R_0 = 4 \text{ Ом.}$$

$$U_{3.п.} = \frac{343,75}{4+4} \times 4 = 187,5 \text{ В}$$

3. При обрыве нулевого провода и замыкании фазы на корпус напряжения корпусов относительно земли:

А. без повторного заземления нулевого провода для

а) корпусов, подключенных к нулевому проводу за местом обрыва,

$$U_1 = U_\phi, U_1 = 220 \text{ В.}$$

б) корпусов, подключенных к нулевому проводу перед местом обрыва,

$$U_2 = 0.$$

Б. с повторным заземлением нулевого провода для:

в) корпусов, подключенных к нулевому проводу за местом обрыва,

$$U_1^i = U_\phi \times \frac{R_{п.}}{R_0 + R_{п.}} \text{ В}$$

$$U_1^i = 220 \times \frac{4}{4+4} = 110 \text{ В}$$

г) корпусов, подключенных к нулевому проводу перед местом обрыва,

$$U_2^i = U_\phi \times \frac{R_{II}}{R_0 + R_{II}} \text{ В}$$

$$U_2^i = 220 \times \frac{4}{4+4} = 110 \text{ В}$$

4. Ток через тело человека в указанных случаях будет определяться следующим образом:

$$\text{а) } I_1 = \frac{U_\phi}{R_h} \text{ А}$$

$$\text{б) } I_2 = 0 \text{ А}$$

$$\text{в) } I_1^i = \frac{U_2^i}{R_h} \text{ А}$$

$$\text{г) } I_2^i = \frac{U_2^i}{R_h} \text{ А}$$

где  $R_h$  – сопротивление тела человека (обычно принимают  $R_h = 1000$  Ом).

$$\text{а) } I_1 = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А}$$

$$\text{б) } I_2 = 0 \text{ А}$$

$$\text{в) } I_1^i = \frac{110}{1000} = 0,11 \text{ А}$$

$$\text{г) } I_2^i = \frac{110}{1000} = 0,11 \text{ А}$$

5. Напряжение прикосновения на корпусе зануленного оборудования при случайном замыкании фазы на землю (без повторного заземления нулевого провода)

$$U_{IP} = \frac{U_\phi \times R_0}{R_{3M} + R_0} \text{ В}$$

где  $R_0$  – сопротивление заземления нейтрали,  $R_0 = 4$  Ом;

$R_{3M}$  – сопротивление в месте замыкания на землю фазного провода.

$$U_{IP} = \frac{220 \times 4}{100+4} = 8,46 \text{ В}$$

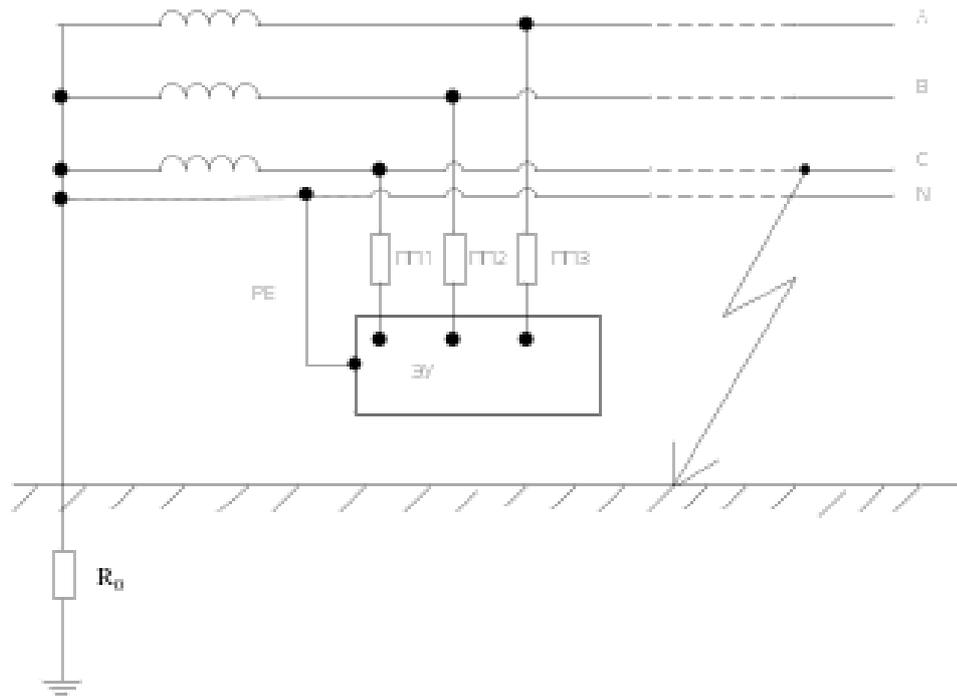


Рис. 2. Схема замыкания фазы С на землю.

A, B, C, – фазные провода, N – нулевой рабочий проводник, PE – нулевой защитный проводник,

ПП1, ПП2, ПП3 – плавкие предохранители, ЭУ – электроустановка.

$R_0$  – сопротивление заземления нейтрали.

6. Сопротивление одиночного заземлителя, забитого в землю на глубину  $t$

$$R_{00} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left( l g \frac{l}{d} + \frac{1}{2} l g \frac{4t+l}{4t-l} \right) \text{ Ом},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта,  $\text{Ом} \times \text{м}$  (сопротивление образца грунта объемом  $1 \text{ м}^3$ );

$l$  – длина трубы, м;

$d$  – диаметр трубы, м;

$t$  – расстояние от поверхности земли до середины трубы, м.

$$R_{00} = 0,366 \frac{25}{4} \left( l g \frac{4}{0,03} + \frac{1}{2} l g \frac{4 \times 2 + 4}{4 \times 2 - 4} \right) = 2,573 \text{ Ом}$$

Необходимое число заземлителей при коэффициенте экранирования  $\eta_s$ ,

$$n = \frac{R_{00}}{\eta_s \times R_3}$$

где  $R_3$  – требуемое сопротивление заземляющего устройства.  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ .

$$n = \frac{2,573}{0,65 \times 4} = 0,989$$

## 7. Выводы.

1. Так же как не всякое заземление обеспечивает безопасность, не всякое зануление пригодно для обеспечения безопасности. Зануление должно быть выполнено так, чтобы ток короткого замыкания в аварийном участке достигал значения, достаточного для расплавления плавкой вставки ближайшего предохранителя или отключения автомата. Для этого сопротивление цепи короткого замыкания должно быть достаточно малым.

Если отключения не произойдет, то ток замыкания будет длительно протекать по цепи и по отношению к земле возникнет напряжение не только на поврежденном корпусе, но и на всех зануленных корпусах (так как они электрически связаны). Это напряжение равно по величине произведению тока замыкания на сопротивление нулевого провода сети или зануляющего проводника и может оказаться значительным по величине и, следовательно, опасным особенно в местах, где отсутствует выравнивание потенциалов. Чтобы предупредить подобную опасность, необходимо точно выполнять требования ПУЭ к устройству зануления.

Для надежного отключения аварийного участка необходимо, чтобы ток в короткозамкнутой цепи значительно превосходил номинальный ток плавкой вставки, т. е.  $I_{к.з.} \geq 3 I_n$ . Расчеты тока короткого замыкания показали, что  $I_{к.з.} = 275 \text{ А}$ . Следовательно номинальный ток плавкой вставки  $I_n$  должен быть  $\leq 20 \text{ А}$ .

2. Повторное заземление нулевого провода снижает напряжение на корпусе в момент короткого замыкания, особенно при обрыве нулевого провода.  $U_3 = 343,75 \text{ В}$ ,  $U_{3П} = 187,5 \text{ В}$ .

3. При обрыве нулевого провода и замыкании на корпус

	корпусов, подключенных к нулевому проводу за местом обрыва		корпусов, подключенных к нулевому проводу перед местом обрыва	
	без повторного заземления нулевого провода	с повторным заземлением нулевого провода	без повторного заземления нулевого провода	с повторным заземлением нулевого провода
напряжения корпусов относительно земли	220 В	110 В	0 В	110 В

ток, проходящий через тело человека, касающегося оборудования	0,22 А	0,11 А	0 А	0,11 А
---	--------	--------	-----	--------

Обрыв нулевого провода при повторном его заземлении не обеспечивает надежной защиты от поражения электрическим током. Но при отсутствии повторного заземления обрыв нулевого провода представляет еще большую опасность.

4. Напряжение на корпусе зануленного оборудования при случайном замыкании фазы на землю (без повторного заземления нулевого провода)  
 $U_{\text{ПР}} = 8,46 \text{ В}$ .

5. Для того, чтобы  $R_3$  не превышало 4 Ом, заземляющее устройство должно состоять из 1 индивидуального заземлителя.

## Задача №2

В СВЧ передатчике имеется выходной контур, содержащий катушку с переменной индуктивностью. Радиус катушки равен  $r$ , число витков  $W$ , сила тока в катушке и его частота равны  $I$  и  $f$  соответственно. В течение рабочего дня суммарное время регулировок с помощью ручки управления не превышает  $T$  часов.

Определить минимальную толщину экрана и длину трубки, при помощи которой выводят ручку управления из экранирующей камеры (диаметр ручки управления  $D$ ), обеспечивающих допустимую мощность облучения.

При этом  $R$  - расстояние от катушки до рабочего места.

Исходные данные к задаче 2

$$W = 12$$

$$I = 350 \text{ А}$$

$$f = 3 \times 10^8 \text{ Гц}$$

$$T = 4 \text{ ч}$$

$$D = 1 \times 10^{-2} \text{ м}$$

$$R = 3 \text{ м}$$

$$r = 2,5 \times 10^{-1} \text{ м}$$

$$\mu = 1$$

$$\mu_a = 1,2 \times 10^{-6} \text{ Гн/м}$$

$$\gamma = 5,7 \times 10^7 \frac{1}{\text{Ом} \times \text{м}}$$

$$\varepsilon = 3,0$$

Решение.

Напряженность магнитной составляющей поля катушки  $H$  на расстоянии  $R$  от нее (без экрана)

$$H = \frac{W \times I \times r^2}{4 R^3} \times \beta_m \text{ А/м}$$

где  $\beta_m$  - коэффициент, определяемый соотношением  $R/r$  (при  $R/r > 10$  значение  $\beta_m = 1$ ).

$$3/2,5 \times 10^{-1} > 10$$

$$12 > 10$$

$$H = \frac{12 \times 350 \times (2,5 \times 10^{-1})^2}{4 \times 3^3} \times 1 = 2,43 \text{ А/м}$$

где  $\beta_m$  - коэффициент, определяемый соотношением  $R/r$  (при  $R/r > 10$  значение  $\beta_m = 1$ ).

Так как  $R$  удовлетворяет условиям  $R \gg \lambda$ ,  $R \gg r^2/\lambda$  ( $\lambda$  - длина волны, м), то имеет место волновая зона, оценку эффективности поля в которой производят по плотности потока энергии (ППЭ) излучения:

$$\sigma = 377 \times \frac{H^2}{2} \text{ Вт/м}^2$$

$$\sigma = 377 \times \frac{2,43^2}{2} = 1113,073 \text{ Вт/м}^2$$

Допустимая величина ППЭ:

$$\sigma_{\text{дон}} = \frac{N}{T} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ Вт/м}^2$$

где  $N = 2 \text{ Вт} \times \text{ч/м}^2$ ,  $T$  - время облучения, ч.

Требуемое ослабление электромагнитного поля:

$$L = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{дон}}}$$

$$L = \frac{1113,073}{0,5} = 2226,146$$

Зная характеристики металла, можно рассчитать толщину экрана  $\delta$ , обеспечивающую заданное ослабление электромагнитного поля  $L$ :

$$\delta = \frac{\ln L}{2 \sqrt{\frac{\omega \times \mu_a \times \gamma}{2}}}$$

где  $\omega$  - угловая частота,  $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ Гц} = 18,84 \times 10^8 \text{ Гц}$ ;

$$\delta = \frac{\ln 2226,146}{2 \sqrt{\frac{18,84 \times 10^8 \times 1,2 \times 10^{-6} \times 5,7 \times 10^7}{2}}} = \frac{\ln 2226,146}{2 \sqrt{6,44328 \times 10^{10}}} = 1,51831 \times 10^{-5}$$

$\mu_a$  - абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м;  $\gamma$  - электрическая проводимость, 1/ (Ом×м).

Ослабление энергии в трубке-волноводе на 1 м длины определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{32}{D\sqrt{\varepsilon}}$$

$$\alpha = \frac{32}{1 \times 10^{-2} \sqrt{3}} = 1847,52$$

где  $D$  - диаметр, м;  $\varepsilon$  - относительная диэлектрическая постоянная стержня.

Требуемая длина трубки –  $\ell$ :

$$l = \frac{10 \lg L}{\alpha}$$

$$l = \frac{10 \lg 2226,146}{1847,52} = 0,0181192$$

$$l = 20 \text{ мм}$$

Вывод: минимальная толщина стального экрана равна  $1,51831 \times 10^{-5}$  м и длина трубки из текстолита 20 мм, необходимые для вывода ручки управления из экранирующей камеры и обеспечивающих допустимую мощность облучения.