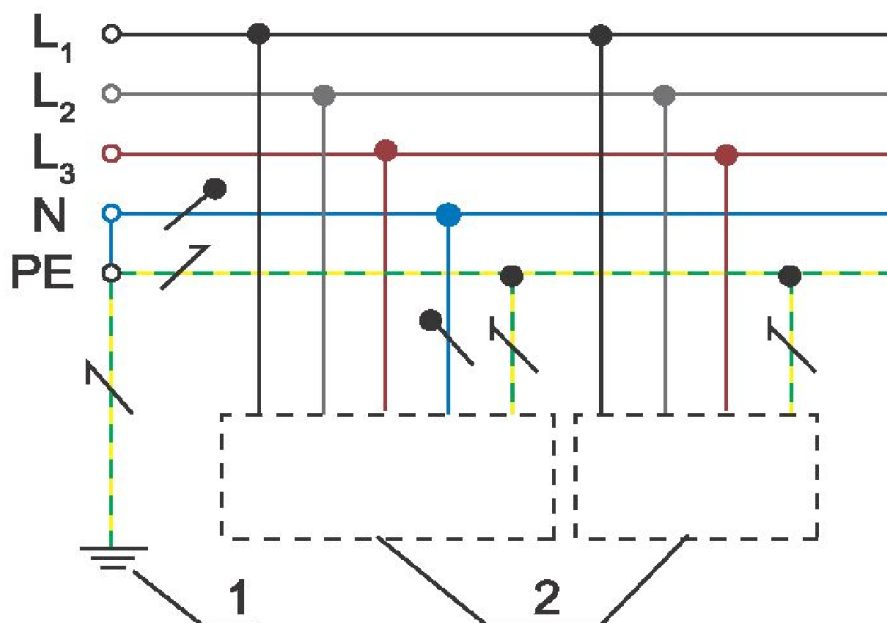




РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ

Методические указания



СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие сведения о защитном заземлении	2
2. Расчет заземления	5
3. Общие сведения о занулении	10
4. Расчет зануления	11
5. Выбор защитного устройства	14
ЛИТЕРАТУРА	16

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАЩИТНОМ ЗАЗЕМЛЕНИИ

В различных частях электрических установок возможны пробой изоляции и замыкания на металлические корпуса двигателей, пускателей, светильников, оболочек кабелей, стальных труб проводки и т.п.

Вследствие этого металлические нетокопроводящие части оборудования, находящиеся под напряжением могут оказаться под током и представлять опасность в случае прикосновения к ним людей.

Средством защиты от поражения током при переходе напряжения на нетокопроводящие части электроустановок (3) рисунок 1 является защитное заземление.

Защитное заземление – это заземление частей электроустановок с целью обеспечения электробезопасности. Защитное заземление применяют в электроустановках до 1 кВ переменного тока с изолированной нейтралью в трёхфазных трёхпроводных сетях с изолированным выводом однофазного тока, а также в электроустановках постоянного тока с изолированной средней точкой при повышенных требованиях безопасности (сырые помещения, передвижные установки, торфяные разработки, подземные работы и др.).

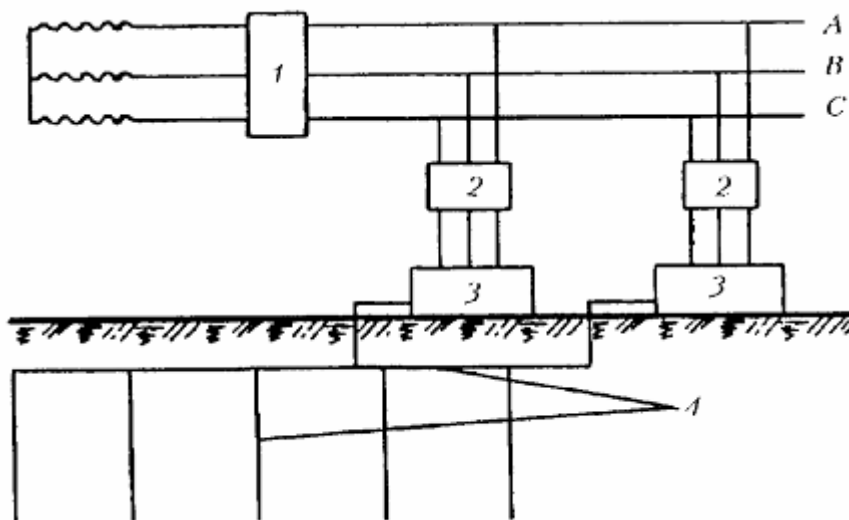


Рис. 1. Схема защитного заземления:

- А, В, С – фазы электросети;
 1 – устройство защитного отключения;
 2 – автоматические выключатели;
 3 – электрооборудование;
 4 – заземляющий проводник;
 5 - заземлитель.

В таких электроустановках применяют защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети и защитным отключением. Питание электроустановок в таких условиях рекомендуют выполнять короткими кабельными или воздушными линиями, для которых емкостные токи незначительны. В соответствии с «Правилами устройств электроустановок» [1] сопротивление заземляющего устройства (совокупность заземлителя и заземляющих проводников) должно быть:

- в установках до 1000 В с изолированной нейтралью – 4 Ом. При номинальных мощностях трансформаторов 100 кВА и менее – не более 10 Ом;
- в установках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью выполняется рабочее заземление – 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В. При удельном сопротивлении грунта ρ более 10 Ом.м указанные значения сопротивлений увеличивают в отношении $\rho/100$, но не более десятикратного [1].

Различают два вида заземляющих устройств: контурное и выносное. Контурное устройство в виде отдельных заземлителей, размещаемых по периметру (контур) площадки с заземляемым оборудованием, применяется на открытых подстанциях и других установках напряжением свыше 1000 В. Выносное заземление состоит из заземлителя 1 (рис.2) и магистрали (заземляющих проводников) 2. Заземляемое оборудование 3 находится вне поля растекания электрического тока, так как заземлитель 1 вынесен за пределы площадки с оборудованием 3.

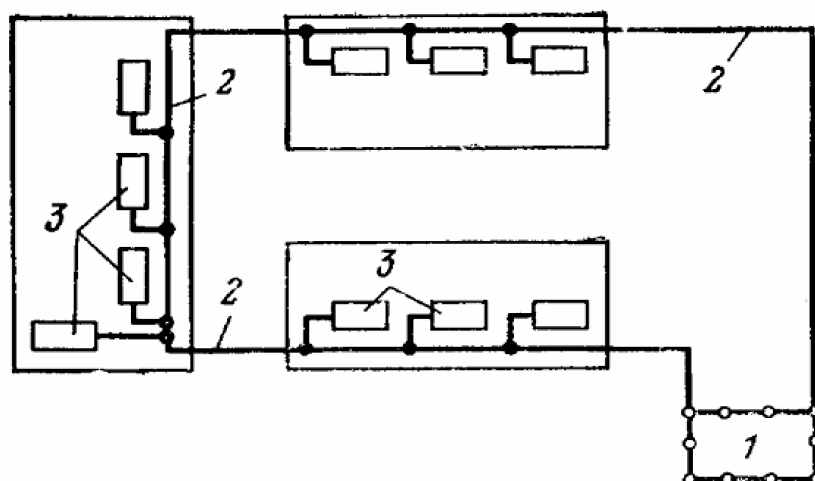


Рис. 2. Схема выносного заземления.

В качестве искусственных заземлителей применяют стальные уголки, забиваемые в землю вертикально, или стальные некондиционные трубы, толщина стенок не менее 3,5 мм и длина 2,5 – 3 м. Их забивают вертикально в землю на расстоянии 2,5 – 3 м друг от друга и более. Диаметр трубы не оказывает особого влияния на величину сопротивления растеканию; чаще всего берут трубы с наружным диаметром 6 см (рис. 3).

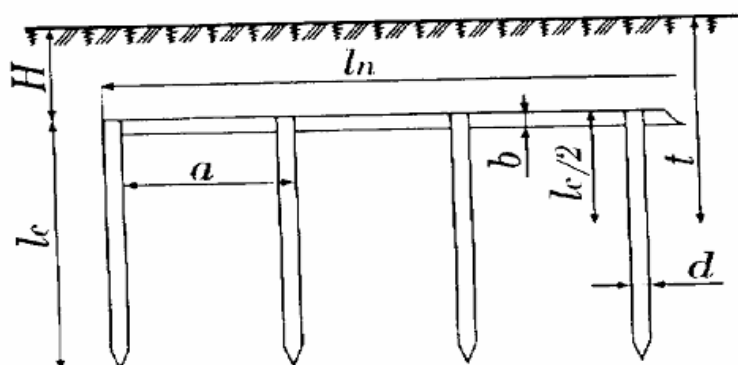


Рис. 3. Схема заземляющего устройства.

Широкое применение находят углубленные прутковые заземлители из круглой стали диаметром 12 – 14 мм, длиной до 5 м и более, ввертываемые в грунт с помощью электрифицированного ручного заглубителя. При использовании углубленных прутковых заземлителей снижают расход металла и затраты труда по устройству заземления.

Прутковые заземлители, а также отрезки стальных уголков, используемые для заземления, наиболее выгодны, так как с их помощью можно достичь более глубоких слоев земли при значительно меньшем объеме земляных работ. Глубокая же закладка необходима для создания контакта со слоями почвы, не подверженными промерзанию или высыханию.

Для связи уголков и труб между собой применяют стальные полосы

(ленты). Толщина их должна быть не менее 4 мм, а площадь поперечного сечения не менее 48 мм² для установок до 1000 В и 100 мм² – для установок выше 1000 В.

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Наименьшие размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников

Наименование и форма	В зданиях	В наружных установках	В земле
Круглые диаметром, мм	5	6	10
Прямоугольные:			
сечение, мм ²	24	48	100
толщина, мм	3	4	4
Угловая сталь, толщина полок, мм	2	2,5	4
Газопроводные трубы, толщина стенок, мм	2,5	2,5	3,5

2. РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Расчет заземления производим следующим образом:

по экспериментальным данным определяем характер грунта, в котором предполагается заложить заземляющее устройство, и удельное сопротивление грунта (табл. 2) [2].

Таблица 2

Электрическое сопротивление грунтов

Вид грунта	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	
	Пределы колебаний	При влажности 10 – 20 %
Глина	8 – 70	40
Суглинок	40 – 150	100
Песок	400 – 700	700
Супесок	150 – 400	300
Торф	10 – 30	20
Чернозем	9 – 53	20
Каменистый	500 – 800	–

Сопротивление грунта с учетом коэффициента сезонности (табл. 3,4) для вертикальных стержней, Ом·м

$$\rho_{o.c.} = \psi_B \cdot \rho_o,$$

где ψ_B – коэффициент сезонности; ρ_o – удельное сопротивление грунта; задаемся длиной вертикальных электродов (стержней) из условия: для

ручной забивки до 3 м, для виброзабивки – до 5 м;
сопротивление растеканию тока одиночного стержня, Ом, (см. рис. 3),

$$R_c = (\rho_{oc} / 2 \cdot \pi \cdot l_c) \{ \ln(2 \cdot l_c / d) + 0,5 \ln[(4 \cdot t + l_c) / (4 \cdot t - l_c)] \},$$

где l_c – длина стержня, м; d – диаметр стержня из труб или приведенный диаметр для стержней из другого проката, м; $t = H + (1/2) \cdot l_c$ – расстояние от поверхности земли до середины стержня, м; H – расстояние от поверхности земли до верха стержня (глубина заложения стержня), м;
предварительное количество заземлителей, шт.,

$$n_{пр} \cdot \eta_c = R_c / R_3,$$

где R_3 – сопротивление растеканию тока заземляющего устройства в соответствии с ПУЭ /1/; η_c – коэффициент использования вертикальных стержней; исходя из условия заложения заземляющего устройства (размеры площадки, размещение стержней по контуру или в ряд) находим длину соединительной полосы, м.:

при расположении в ряд

$$l_n = 1,05 \cdot (n-1) \cdot \alpha;$$

при расположении по контуру

$$l_n = 1,5 \cdot n \cdot \alpha,$$

где α – расстояние между стержнями;

удельное сопротивление грунта с учетом сезонности для соединительной полосы (табл. 3), Ом.м,

$$\rho_{с.п.} = \psi_{г.} \cdot \rho_0$$

Таблица 3

Коэффициент сезонности.

Климатическая зона	Значения коэффициентов сезонности при влажности		
	повышенной	нормальной	малой
Вертикальный электрод длиной до 3 м			
1	1,9	1,7	1,5
2	1,7	1,5	1,3
3	1,5	1,3	1,2
4	1,3	1,1	1,0
Вертикальный электрод длиной 4 – 5 м			
1	1,5	1,4	1,3
2	1,4	1,3	1,2
3	1,3	1,2	1,1
4	1,2	1,1	1,0
Горизонтальный электрод длиной до 50 м			
1	7,2	4,5	3,6
2	4,8	3,0	2,4
3	3,2	2,0	1,6
4	2,2	1,4	1,12

Таблица 4.

Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности ψ

Характеристики климатических зон	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	От -20 до -15	От -14 до -10	От -10 до 0	От 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	От +16 до +18	От +18 до +22	От +22 до +24	От +24 до +26
Среднегодовое количество осадков, см	~ 40	~ 50	~ 50	30-50
Продолжительность замерзания вод, дни	190-170	~ 150	~ 100	0

Сопротивление растеканию тока соединительной полосы, Ом,

$$R_{II} = (\rho_{с.н.} / 2 \cdot \pi \cdot l_n) [l_n (2 \cdot l_n^2) / (b \cdot H)],$$

где l_n – длина полосы, м; b – ширина полосы, м;

по табл.5 определим коэффициент использования (взаимного экранирования) вертикальных стержней (n_c) и по табл. 6 – коэффициент использования соединительной полосы (n_n);

Таблица 5

Коэффициенты использования вертикальных стержнем.

Число стержней	Отношение расстояния между заземлителями к их длине (α/l_c) при размещении					
	1	2	3	1	2	3
	в ряд			по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,8
10	0,59	0,74	0,81	0,55	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40				0,41	0,58	0,66
60				0,39	0,55	0,64
100				0,36	0,52	0,62

результатирующее сопротивление заземляющего устройства, Ом,

$$R_{з.у.} = (R_c \cdot R_n) / [(R_c \cdot \eta_n) + (R_n \cdot n_{np} \cdot \eta_c)] \leq R_3$$

Таблица 6

Коэффициенты использования горизонтальных полосовых заземлителей

Отношение α / l_c	Число стержневых заземлителей							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Стержни размещены в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42			
2	0,94	0,89	0,84	0,75	0,56			
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68			
Стержни размещены по контуру								
1	–	0,45	0,4	0,34	0,27	0,22	0,2	0,19
2	–	0,55	0,48	0,4	0,32	0,29	0,26	0,23
3	–	0,7	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Если это условие соблюдается, то уточним количество стержней

$n = (n_{пр} \cdot n_c) / n_c$, коэффициенты использования стержней и полосы и окончательно определим результирующее сопротивление заземляющего устройства $R_{з.у.}$

Более экономичный расчет дает метод, по которому выполняются расчеты по пп. 1–8 (см. пример задачи ниже), а затем определяют требуемое сопротивление группы стержней за вычетом сопротивления соединительной полосы по формуле:

$$R_{з.г.} = R_3 \cdot R_{II} / (R_{II} - R_3 \cdot \eta_c),$$

где $R_{з.г.}$ – требуемое сопротивление группы стержней, Ом.

Тогда количество стержней, шт.

$$n = R_c / (R_{з.г.} \cdot \eta_c).$$

Расстояние от системы заземления до здания

$$L = 0,6 \cdot R_{з.у.}$$

Задача № 1.

Произвести расчет заземляющего устройства для электроустановок напряжением 380 В. Грунт – суглинок. Стержни можно разместить по контуру цеха, имеющего в плане размеры 24 х 60 м. Глубина заложения стержней от поверхности земли $H = 0,5$ м.

Решение:

1. Примем в качестве заземлителей стержни длиной $l_c = 3$ м из стальных труб $d = 50$ мм. Соединение заземлителей произведем на сварке стальной полосой шириной $b = 40$ мм.

2. Удельное сопротивление грунта с учетом сезонных колебаний влажности для вертикальных стержней, Ом.м,

$$\rho_{о.с.} = \psi_B \cdot \rho_0 = 1,5 \cdot 100 = 150;$$

$$\psi_B = 1,5 \text{ (табл. 3)}$$

$$\rho_0 = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м (табл. 2)}$$

3. Сопротивление растеканию тока одиночного стержня, Ом,

$$\begin{aligned} R_c &= (\rho_{o.c.} / 2 \cdot \pi \cdot l_c) \cdot \{\ln(2 \cdot l_c / d) + 0,5 \ln[(4 \cdot t + l_c) / (4 \cdot t - l_c)]\} = \\ &= (150 / 2 \cdot \pi \cdot 3) \cdot \{\ln(2 \cdot 3 / 0,05) + 0,5 \ln[(4 \cdot 2 + 3) / (4 \cdot 2 - 3)]\} = \\ &= 7,96 \cdot (4,79 + 0,39) = 41,2 \end{aligned}$$

$$t = 0,5 + 3 / 2 = 0,5 + 1,5 = 2 \text{ м}$$

4. Предварительное количество заземлителей

$$\eta_{np} \eta_c = R_c / R_3 = 41,2 / 4 = 10,$$

где $R_3 = 4 \text{ Ом}$ по ПУЭ /1/.

5. Длина соединительной полосы по длине контура цеха, м,

$$l_n = 2 \cdot 24 + 2 \cdot 60 = 168,$$

$$\alpha = 168 / 10 = 16,8;$$

$$\alpha / l_c = 16,8 / 3 = 5,6$$

6. Удельное сопротивление грунта для соединительной полосы, Ом.м,

$$\rho_{c.n.} = \psi_\Gamma \cdot \rho_0 = 3 \cdot 100 = 300, \quad \psi_\Gamma = 3 \text{ (табл. 3)}$$

7. Сопротивление растеканию тока соединительной полосы, Ом,

$$\begin{aligned} R_{II} &= (\rho_{c.n.} / 2 \cdot \pi \cdot l_n) \cdot \ln[(2 \cdot l_n^2) / (b \cdot H)] = (300 / 2 \cdot \pi \cdot 168) \cdot \ln[(2 \cdot 168^2) / (0,04 \cdot 0,5)] \\ &= 0,28 \cdot 14,85 = 4,2 \end{aligned}$$

8. По табл. 5 примем $\eta_c = 0,76$, по табл. 6 $\eta_n = 0,56$.

9. Результирующее сопротивление заземляющего устройства, Ом,

$$R_{з.у.} = (R_c \cdot R_n) / [(R_c \cdot \eta_n) + (R_n \cdot n_{np} \cdot \eta_c)] = (41,2 \cdot 4,2) / [(41,2 \cdot 0,56) + (4,2 \cdot 10 \cdot 0,76)] = 3,15$$

Поскольку $R_{з.у.} < R_3$, условие соблюдается.

Уточним количество стержней, шт.:

$$n = (n_{np} \cdot \eta_c) / \eta_c = 10 / 0,76 = 13,16$$

Размещаем стержни по периметру цеха через 13 м.

10. Расстояние от системы заземления до здания

$$L = 0,6 \cdot R_{з.у.} = 0,6 \cdot 3,15 = 1,89 \approx 2 \text{ м}$$

Задача № 2.

Для условий предыдущей задачи произвести расчет заземляющего устройства экономичным методом.

Решение:

1. $l_c = 3 \text{ м}; d = 0,05 \text{ м}; b = 0,04 \text{ м}.$

2. $\rho_{o.c.} = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$

3. $R_c = 41,2 \text{ Ом}.$

4. $n_{np} \eta_c = 10 \text{ шт}.$

5. $l_{II} = 168 \text{ м}, \alpha = 16,8 \text{ м}; \alpha / l_c = 5,6$

6. $\rho_{c.n.} = 300 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$

7. $R_{II} = 4,2 \text{ Ом}$

8. $\eta_c = 0,76, \eta_n = 0,56.$

9. Требуемое сопротивление группы стержней, Ом,

$$R_{z.c.} = R_s \cdot R_n / (R_n - R_s \cdot \eta_c) = 4 \cdot 4,2 / (4,2 - 4 \cdot 0,56) = 16,8 / 1,96 = 8,57.$$

Необходимое количество стержней, шт.,

$$n = R_c / R_{z.c.} \cdot \eta_c = 41,2 / 8,57 \cdot 0,76 = 6,3$$

По конструктивным соображениям принимаем 8 стержней (по 4 вдоль каждой длинной стороны здания цеха).

3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАЩИТНОМ ЗАНУЛЕНИИ

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью или глухозаземленным выводом источника однофазного тока, а также глухозаземленной средней точкой в трехпроводных сетях постоянного тока применяют зануление. Зануление – преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (рис. 4). При аварийном замыкании одной из фаз на корпус оборудования в электроустановках с занулением происходит короткое замыкание (через корпус) между поврежденной фазой и нулевым проводом. Защита человека от поражения током осуществляется кратковременностью действия тока от момента замыкания фазы на корпус до отключения напряжения плавкими предохранителями или автоматическими отключателями. Отключающие устройства в соответствии с требованиями ПУЭ подбирают так, чтобы они срабатывали при возрастании токов короткого замыкания в 3 раза по отношению к номинальному току, если применяют плавкие предохранители, и в 4,5 раза для автоматических выключателей (во взрывоопасных помещениях соответственно 4 и 6 раз).

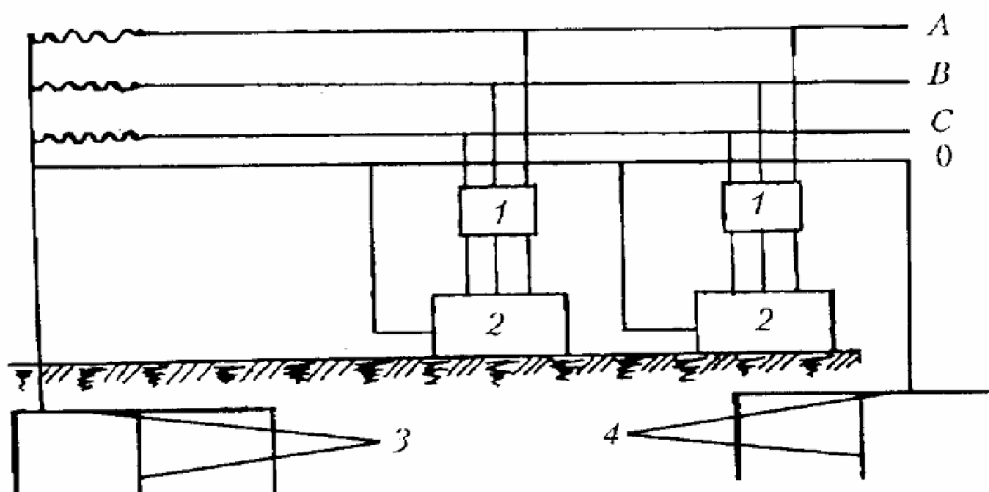


Рис. 4. Схема защитного зануления:

A, B, C – фазы электросети;

0 – нулевой провод;

1 – автоматические выключатели;

2 – электрооборудование;

3 – рабочее заземляющее устройство;

4 – повторное заземляющее устройство нулевого провода.

В соответствии с ГОСТ 12.1030-81 [3] защитное заземление или зануление электроустановок выполняют:

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока, а также 440 В и выше постоянного тока – во всех случаях;

- при номинальном напряжении от 42 до 380 В переменного тока и от 110 до 440 В постоянного тока – при работах в условиях с повышенной опасностью и особо опасных.

Во взрывоопасных помещениях заземление или зануление электроустановок обязательно независимо от напряжения сети.

4. РАСЧЕТ ЗАНУЛЕНИЯ

Расчет зануления сводится к определению отключающей способности средств защиты:

приближенное полное расчетное сопротивление трансформатора принимается по табл. 7 в зависимости от мощности трансформатора, номинального напряжения и схемы соединения обмоток;

Таблица 7

Приближенные расчетные полные сопротивления Z_t (Ом)
масляных трансформаторов

Мощность трансформатора, кВА	Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ	Схема соединения обмоток	
		Y / Y _H	D / Y _H и Y / Z _H
25	6 – 10	3,110	0,906
40	6 – 10	1,949	0,562
63	6 – 10	1,237	0,360
	20 – 35	1,136	0,407
100	6 – 10	0,799	0,226
	20 – 35	0,764	0,327
160	6 – 10	0,478	0,141
	20 – 35	0,312	0,203
250	6 – 10	0,305	0,090
	20 – 35	0,195	0,130
400	6 – 10	0,191	0,056
	20 – 35	0,129	–
630	6 – 10	0,121	0,042
	20 – 35	0,081	–
1000	6 – 10	0,077	0,027
	20 – 35	0,054	0,032
1600	6 – 10	0,051	0,017
	20 – 35		0,020

Примечание. Данные трансформаторы относятся к трансформаторам с обмотками низшего напряжения 400 /230 В. При низшем напряжении 230 /127 В значения сопротивлений, приведенных в таблице, необходимо уменьшить в 3 раза.

Допустимые значения тока короткого замыкания, А,

$$J_{к.з.}^Д \geq 3 \cdot J_H^{ПВ} ;$$

- активное сопротивление фазного провода, Ом,

$$R_\phi = 1,2 \frac{\rho_\phi \cdot I_\phi}{S_\phi} ,$$

где ρ_ϕ – удельное сопротивление материала фазного провода (для меди 0,018, для алюминия 0,028 Ом·мм²/м)

I_ϕ – длина фазного провода, м;

S_ϕ – сечение фазного провода, мм²;

- активное сопротивление нулевого защитного провода, Ом,

$$R_H = 1,2 \frac{\rho_n \cdot l_n}{S_n},$$

где ρ – удельное сопротивление нулевого защитного провода (для меди 0,018, для алюминия 0,028 Ом·мм²/м); l_H – длина нулевого защитного провода, м; S_n – сечение нулевого проводника, мм²

- ток короткого замыкания, А,

$$J_{к.з.} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_t}{3} + (R_\phi + R_n)^2} \geq J_{к.з.}^Д$$

если это условие соблюдается, то отключающая способность средств защиты от тока короткого замыкания обеспечена.

Таблица 8

Предельно допустимое $U_{пр}$ в зависимости от времени воздействия на человека в аварийном режиме /4/

Род тока	Нормир. величина	Предельно допустимые значения, не более при продолжительности воздействия тока t, с											
		0,01 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	св 1,0
Переменный 50 Гц	$U_{пр}, В$	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	$I, мА$	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

Задача № 3.

Электропитание швейного полуавтомата производится с помощью четырехпроводной линии длиной $l = 200$ м от трансформатора 6 / 0,4 кВ мощностью 100 кВА со схемой соединения обмоток Y / Y_H. Линия выполнена медными фазными проводами сечением $S_\phi = 25$ мм². Плотность тока в нулевом защитном проводнике 1 А / мм². Двигатель серии 4АС номинальной мощностью 12кВт, коэффициент мощности $\cos f = 0,85$, КПД=82,5. Двигатель защищен автоматом с комбинированным расцепителем, с номинальным током вставки $J_n^{нс} = 60$ А. Проверить отключающую способность зануления при нулевом защитном проводнике сечением 16 мм² [1].

Решение:

1. Приближенное полное расчетное сопротивление трансформатора принимаем по табл.7 в зависимости от мощности трансформатора, номинального напряжения и схемы соединения обмоток, Ом,

$$Z_t = 0,799$$

2. Допустимые значения тока короткого замыкания, А,

$$J_{к.з.}^D \geq 3 \cdot 60 = 180$$

3. Активное сопротивление фазного провода, Ом,

$$R_H = \frac{1,2 \cdot 0,018 \cdot 200}{16} = 0,27$$

4. Активное сопротивление нулевого защитного провода, Ом,

$$R_H = \frac{1,2 \cdot 0,018 \cdot 200}{16} = 0,27$$

5. Ток короткого замыкания, А,

$$J_{к.з.} = \frac{220}{\frac{0,799}{3} + (0,17 + 0,27)} = \frac{220}{0,266 + 0,44} = 311,6 > 180$$

Вывод: отключающая способность средств защиты от тока короткого замыкания обеспечена.

5. ВЫБОР ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА

Пример расчета.

Проверяем второе условие выбора защитного устройства: время срабатывания устройства должно быть меньше времени, указанного ГОСТ для соответствующего напряжения прикосновения (табл. 8): $t_{ср} < t_{гост}$, где $t_{гост}$ – время срабатывания защиты в соответствии с требованиями ГОСТ 12. 1. 038 – 82 [4];

$t_{ср}$ – время срабатывания выбранного защитного устройства.

1. Рассчитываем напряжение прикосновения:

$$U_{пр.} = I_{к} \cdot R_H = 311,6 \cdot 0,27 = 84,13 В$$

и по табл. 8 находим $t_{гост} = 0,7 с$.

2. Определяем коэффициент тока короткого замыкания:

$$K_p = \frac{I_{к}}{I_{нр}} = \frac{311,6}{60} = 5,19$$

3. Выбираем по I_H плавкий предохранитель типа ПН2 – 100 с номинальным реальным $I_{нр} = 60 А$ током расцепителя (табл. 9).

4. Определяем время срабатывания плавкой вставки при $K_p = 5$ (табл. 9)
 $t_{ср} = 0,4 с$.

Следовательно, условие $t_{ср} < t_{гост}$ тоже выполняется.

Таблица 9

Защитные характеристики плавких предохранителей

№ аппарата	Тип предохранителя	I_n , А	Номинальные токи плавких вставок I_{np} , А	$K_p = I_k / I_{np}$								
				3	4	5	6	7	8	10	20	30
				Время сгорания плавкой вставки t, с								
1	ПН2-100	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	70	16	3	1	0,4	0,2	0,1	0,022	0,018
				10	1,6	0,4	0,16	0,1	0,06	0,04	0,011	0,0085
2	ПН2-250	250	80; 100; 125; 160; 200; 50	360	50	8	3	1	0,9	0,3	0,055	0,025
				30	4,1	0,6	0,3	0,15	0,12	0,08	0,02	0,012
3	ПН2-400	400	200; 250; 315; 355; 400	180	22	8	4	1,2	0,7	0,3	0,07	0,021
				60	6	2,5	1	0,4	0,2	0,15	0,04	0,015
4	ПН2-600	630	315; 400; 500; 630	60	20	2	1,1	0,7	0,45	0,2	0,032	–
				20	6	1,05	0,4	0,3	0,2	0,1	0,025	–
5	ПП57-3797	400	315; 400	9	0,5	0,04	0,009	0,004	0,003	0,002	0,001	0,00075
6	ПП57-3997	630	500; 630	9	0,5	0,04	0,009	0,004	0,003	0,002	0,001	0,00075
7	ППТ-10	10	10	60	12	5,5	2,3	1,5	1,1	0,7	0,3	0,2
8	ППТ-10	6,3	6,3	240	40	12	5	2,5	1,8	0,9	0,3	0,2
9	ПП57М-3737	25	25	150	30	10	4	2	0,8	0,2	0,008	–
				7	0,13	0,015	–	–	–	–	–	–
10	ПП57М-3737	40	40	50	15	4	1,5	0,8	0,31	0,1	0,004	–
				1,1	0,02	–	–	–	–	–	–	–
11	ПП57М-3737	63	63	120	30	10	4	2,1	0,9	0,25	0,01	–
				0,1	0,009	–	–	–	–	–	–	–
12	ПП57М-3737	100	100	60	13	4	1,1	0,6	0,21	0,065	–	–
				0,3	0,01	–	–	–	–	–	–	–
13	ПП57М-3737	100	100	60	20	5,5	2	2	0,5	0,11	0,005	–
				0,3	0,01	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 9

№ аппарата	Тип предохранителей	I_n , А	Номинальные токи плавких вставок I_{np} , А	$K_p = I_k / I_{np}$								
				3	4	5	6	7	8	10	20	30
				Время сгорания плавкой вставки t, с								
14	ПРС-2	20	10; 16; 20	0,8	0,7	0,68	0,58	0,45	0,4	0,25	0,1	–
15	ПНБ-5	100	40; 63; 100	0,5	0,1	0,04	0,03	0,02	0,015	0,01	–	–
16	ПФС-4	4	4	10	1,8	1	0,8	0,6	0,4	0,1	0,1	–
17	ПФС-6	6	6	10	1,2	1	0,7	0,4	0,1	0,07	–	–

На основании проделанных расчетов можно сделать вывод: выбранный плавкий предохранитель полностью удовлетворяет требованиям, предъявленным к защитным устройствам. Произойдет надежное избирательное автоматическое отключение поврежденной установки за допустимое время.

Если в результате расчета оказывается, что при замыкании фазы на корпусе электроустановки не обеспечивается ее надежное отключение от сети, то следует внести изменения в схему или конструкцию элементов системы зануления и повторить расчет.

Изменения вносятся в следующем приоритетном порядке:

- применяется автоматический выключатель с электромагнитным расцепителем;
- увеличивается сечение фазных проводов;
- изменяется материал проводников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок: X: изд. Индустрия, 2009, - 410 с.
2. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. М.: Энергоиздат, 1984.
3. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
4. ГОСТ 12.1.038 – 82. ССБТ. Предельно-допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
5. Долин П.А. Электробезопасность, теория и практика. М., 2006, - 321с.