

РАСЧЕТ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ, ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Основные понятия и определения

В зависимости от вида электроустановки, номинального напряжения, режима нейтрали, условий среды помещения и доступности электрооборудования применяют определенный комплекс необходимых защитных мер, обеспечивающих достаточную безопасность. Применение защитных мер регламентируется Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [23].

Различают электроустановки напряжениям до 1000 В и выше 1000 В; с изолированной и заземленной нейтралью. В электроустановках применяют следующие технические защитные меры: 1) защитное заземление, 2) зануление, 3) выравнивание потенциалов, 4) защитное отключение, 5) малое напряжение и др.

Наиболее распространенными техническими средствами для защиты людей при появлении напряжения на нетоковедущих частях оборудования из-за повреждения изоляции являются защитное заземление и зануление.

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Безопасность обеспечивается заземлением корпуса системой заземлителей, имеющих малое сопротивление. Защитное заземление применяют в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением свыше 1000 В как с изолированной, так и с заземленной нейтралью [27].

По расположению заземлителей относительно заземленных корпусов заземления делят на выносные и контурные. В первом случае заземлители располагаются на некотором удалении от заземляемого оборудования, во втором - по контуру вокруг заземленного оборудования на небольшом (несколько метров) расстоянии друг от друга. В качестве искусственных заземлителей используют вертикально расположенные стержни из уголкового стали или стальных труб. Заземлители соединяют стальной полосой, которую приваривают к каждому заземлителю. Заземлители с заземляемым оборудованием соединяют металлическими проводниками.

Сопротивления заземления, согласно ПУЭ, нормируются в зависимости от напряжения электроустановки. В электроустановках напряжением до 1000 В сопротивление заземления должно быть не выше 4 Ом. Если же суммарная мощность источников (трансформаторов, генераторов), подключенных к сети, не превышает 100 кВА, сопротивление должно быть не больше 10 Ом. В электроустановках напряжением выше 1000 В с малым током замыкания (менее 500 А) допускается сопротивление заземления не более 10 Ом, а с большим (более 500 А) - не выше 0,5 Ом.

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей,

которые могут оказаться под напряжением. Цель зануления — обеспечить быстрое отключение установки от сети при замыкании фазы (или фаз) на ее корпус, а также снизить напряжение на корпусе в аварийный период. Это достигается превращением замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание с созданием в этой цепи тока, достаточного для срабатывания защиты. Зануление применяется в трехфазных четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью.

Согласно ПУЭ ток однофазного короткого замыкания должен превышать не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки или ток срабатывания автоматического выключателя с обратной зависимой от тока характеристикой. При защите сети автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель, коэффициент кратности тока выключателей с номинальным током до 100 А следует принимать равной 1,4, а для прочих - 1,25. Полная проводимость нулевого провода во всех случаях должна быть не менее 50 % проводимости фазного провода. Если эти требования по каким-либо причинам не удовлетворяются, отключение при замыкании на корпус должно обеспечиваться специальными защитами, например, защитным отключением.

РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Цель расчета заземления - определить число и длину вертикальных элементов (стержней), длину горизонтальных элементов (соединительных полос) и разместить заземлители на плане электроустановки исходя из значений допустимых сопротивления и максимального потенциала заземлителя [27].

Расчет проводится в следующем порядке:

1. Определяют норму сопротивления заземления R_n (по ПУЭ) в зависимости от напряжения, режима работы нейтрали, мощности и других данных электроустановки.

2. Определяют расчетное удельное сопротивление грунта с учетом климатического коэффициента $\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{табл}} \cdot \psi$ где $\rho_{\text{табл}}$ - удельное сопротивление грунта по табл. 7.1; ψ - климатический коэффициент по табл. 7.2.

Таблица 7.1

Значения удельных сопротивлений грунтов при влажности 10...12 % к массе грунта

Грунт	Удельное сопротивление, Ом·м	Грунт	Удельное сопротивление, Ом·м
Глина	40	Супесок	300
Суглинок	100	Песок	700
Чернозем	200	Скалистый	2000

Таблица 7.2

Значения климатических коэффициентов и признаки зон

Тип заземлителя	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Вертикальные стержни длиной $l_c = 2...3$ м при глубине заложения $H_0 = 0,5...0,8$ м	1,8...2,0	1,6...1,8	1,4...1,6	1,2...1,4
Горизонтальные полосовые заземлители при глубине заложения $H_0 = 0,8$ м	4,5...7,0	3,5...4,5	2,0 - 3,5	1,5 - 2,0
Признаки климатических зон				
Средняя температура января, °С	-20...-15	-14...-10	-10...0	0...5
Средняя температура июля, °С	16...18	18...22	22...24	24...28

3. Определяют сопротивление одиночного вертикального заземлителя R_c с учетом удельного сопротивления грунта:

$$R_c = \frac{\rho_{расч}}{2\pi \cdot l_c} * \left(\frac{2l_c}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l_c}{4H-l_c} \right), \quad (7.1)$$

где d - диаметр стержня, м; $H = H_0 + l_c/2$; l_c , H_0 - см. табл. 34.

4. Учитывая норму сопротивления заземления R_n , определяют число вертикальных заземлителей без учета взаимного экранирования:

$$n = \frac{R_c}{R_n} \quad (7.2)$$

5. Разместив заземлители на плане и задавшись отношением η расстояния между одиночными заземлителями S к их длине l_c , определяют с учетом коэффициента использования вертикальных стержней (табл. 7.3) окончательно их число $n_1 = n/\eta_c$ и сопротивление заземлителей - без учета соединительной полосы $R_{cc} = R_c/(n_1\eta_c)$.

Таблица 7.3

Коэффициенты использования η_c вертикальных заземлителей

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число заземлителей n							
	2	4	6	10	20	40	60	100
<i>Заземлители располагаются в ряд</i>								
1	0,85	0,73	0,65	0,59	0,48	-	-	-
2	0,91	0,83	0,77	0,74	0,67	-	-	-
<i>Заземлители располагаются по контуру</i>								
1	-	0,69	0,61	0,55	0,47	0,41	0,39	0,36
2	-	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,55	0,52
3	-	0,85	0,80	0,76	0,71	0,66	0,64	0,62

1. Определяют сопротивление соединительной полосы:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{расч}}{2\pi l_{\Pi}} \left(\ln \frac{2l_{\Pi}^2}{bH_1} \right), \quad (7.3)$$

где $l_{\Pi} = 1,05(n_1 - 1)S$ - длина соединительной полосы; b , H_1 - ширина и глубина заложения полосы.

С учетом коэффициента использования полосы η_{Π} (табл. 7.4) уточняют

$$R_{\Pi}^{\prime} = \frac{R_{\Pi}}{\eta_{\Pi}}$$

2. Определяют общее сопротивление заземляющего устройства и соединявшей полосы:

$$R = \frac{R_{cc} * R_{\Pi}^{\prime}}{R_{cc} + R_{\Pi}^{\prime}} \quad (7.4)$$

и проверяют, соответствует ли оно нормативному значению R_n .

Таблица 7.4

Коэффициенты использования η_{Π} горизонтальной полосы, соединяющей вертикальные заземлители

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число вертикальных заземлителей n							
	2	4	6	10	20	40	60	100
<i>Вертикальные заземлители располагаются в ряд</i>								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,89	0,84	0,75	0,56	-	-	-
<i>Вертикальные заземлители располагаются по контуру</i>								
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Задание на практическую работу по теме «Расчет резинометаллических виброизоляторов»

Спроектировать защитное заземление оборудования лаборатории (ЛАБ) или понижающей подстанции (ПП) 6/0,4 кВ, от которой питается лаборатория. Заземляющее устройство заглублено: $H_0 = 0,5...0,8$ м. Для вертикальных заземлителей длиной $l_c = 2,0...3,5$ м использовать стальные трубы диаметром не менее 25 мм или уголок с полкой не менее 25 мм. Для соединительной полосы использовать стальную шину сечением 40×4 мм. Варианты остальных исходных данных приведены в табл. 7.5.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой расчета
2. Выбрать и записать в отчет исходные данные варианта (см. табл. 7.5)
3. Рассчитать параметры защитного заземления.
4. Построить схему расположения заземлителей.
5. Подписать отчет и сдать преподавателю.

Варианты заданий
к практической работе по теме
«Расчет защитного заземления»

Таблица 7.5

№ вар.	Объект защиты	Параметры трансформатора		Климатическая зона	Грунт	Расположение вертикальных заземлителей
		Мощность, кВА	Соединение обмоток			
1	ЛАБ	40	Δ/Δ_n	I	Суглинок	В ряд
2	ЛАБ	100	Δ/Δ_n	III	Чернозем	Вряд
3	ПП	630	Y/Δ_n	I	Супесок	По контуру
4	ЛАБ	250	Δ/Δ_n	IV	Песок	Вряд
5	ПП	400	Y/Δ_n	III	Суглинок	По контуру
6	ЛАБ	63	Y/Δ_n	II	Глина	Вряд
7	ПП	100	Δ/Δ_n	IV	Чернозем	По контуру
8	ЛАБ	63	Y/Δ_n	I	Песок	Вряд
9	ПП	160	Y/Δ_n	II	Супесок	По контуру
10	ЛАБ	400	Δ/Δ_n	III	Глина	Вряд
11	ПП	1000	Y/Δ_n	II	Суглинок	По контуру
12	ЛАБ	300	Δ/Δ_n	IV	Супесок	Вряд
13	ПП	630	Y/Δ_n	III	Песок	По контуру
14	ЛАБ	160	Δ/Δ_n	I	Суглинок	В ряд
15	ПП	630	Y/Δ_n	IV	Супесок	По контуру
16	ПП	40	Δ/Δ_n	III	Чернозем	По контуру
17	ЛАБ	250	Y/Δ_n	II	Глина	В ряд
18	ПП	160	Y/Δ_n	I	Песок	По контуру
19	ЛАБ	63	Δ/Δ_n	IV	Чернозем	В ряд
20	ПП	400	Y/Δ_n	II	Глина	По контуру
21	ЛАБ	100	Δ/Δ_n	III	Суглинок	В ряд
22	ПП	400	Y/Δ_n	II	Супесок	По контуру
23	ЛАБ	160	Δ/Δ_n	I	Глина	В ряд
24	ПП	630	Y/Δ_n	IV	Песок	По контуру
25	ЛАБ	400	Δ/Δ_n	II	Суглинок	В ряд
26	ПП	1000	Y/Δ_n	IV	Суглинок	По контуру
27	ПП	300	Y/Δ_n	II	Супесок	По контуру
28	ЛАБ	630	Δ/Δ_n	III	Чернозем	В ряд
29	ПП	160	Y/Δ_n	II	Глина	По контуру
30	ЛАБ	630	Δ/Δ_n	I	Глина	В ряд