

Лекция №37. Заземляющие устройства.

Поражение человека электрическим током возможно при прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, или к металлическим нетоковедущим частям оборудования и сетей, оказавшимся под напряжением при нарушении изоляции.

Различают два вида прикосновения к токоведущим частям: двухполюсное, когда человек одновременно прикасается, чаще всего руками, к двум фазам сети, и однополюсное, когда человек, стоя на земле или заземленной конструкции здания прикасается лишь к одной фазе сети. Наиболее опасны случаи двухполюсного прикосновения, так как человек оказывается включенным на линейное напряжение U_l установки. В этом случае ток, протекающий через тело человека

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_l}{R_{\text{ч}}}, \quad (1.76)$$

где $R_{\text{ч}}$ – электрическое сопротивление тела или части тела человека, Ом;

$I_{\text{ч}}$ – ток протекающий через тело человека, А.

Случаи двухполюсного прикосновения на практике встречаются редко. Наиболее частым являются однополюсные прикосновения, при которых человек попадает под фазное напряжение $U_{\text{ф}}$ и значения тока $I_{\text{ч}}$ определим по выражению

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}}, \quad (1.77)$$

Электрическое сопротивление человеческого тела в зависимости от многих факторов изменяется в широких пределах (от 500 до 100000 Ом). К таким факторам можно отнести: общее состояние здоровья человека, состояние кожного покрова и его влажность, условия окружающей среды, длительность прохождения тока и т.д. В расчетах по технике безопасности сопротивление тела человека обычно принимается равным 1000 Ом.

Тяжесть электротравмы зависит от значения тока и длительности его прохождения. Установлено, что в большинстве случаев ток 0,1 А представляет собой смертельную опасность для жизни человека.

Для жизни человека опасен как переменный, так и постоянный ток, однако наибольшую опасность представляет переменный ток промышленной частоты (50 Гц). При повышении частоты переменного тока опасность поражения уменьшается.

Для защиты людей от поражения электрическим током при прикосновении к нетоковедущим частям электрического оборудования, случайно оказавшийся под напряжением, должна применяться как минимум одна из следующих мер: заземление, зануление, защитное отключение, разделяющий трансформатор, безопасное малое напряжение, двойная изоляция.

Защитным заземлением называется преднамеренное соединение металлических частей электроустановки нормально не находящихся под напряжением, но которые могут оказаться под ним вследствие нарушения изоляции электроустановки с заземляющим устройством.

Занулением в электроустановках в сетях напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью называется преднамеренное электрическое соединение с помощью нулевого защитного проводника металлических нетоковедущих частей электрооборудования с заземленной нейтралью трансформатора или генератора.

Заземляющее устройство состоит из заземлителей и заземляющих проводников.

Заземлитель представляет собой один или несколько металлических соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в непосредственном соприкосновении с землей.

Заземляющие проводники – это металлические проводники, соединяющие заземлитель с заземленными частями электроустановки.

Сопrotивление заземляющего устройства состоит из сопротивлений заземлителя и заземляющих проводников, определяется по формуле

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3}, \quad (1.78)$$

где U_3 – напряжение относительно земли (нулевого потенциала), В;

I_3 – ток замыкания на землю, т.е. ток, проходящий через землю в месте замыкания.

Применяются заземлители искусственные и естественные. В качестве естественных заземлителей могут использоваться металлические части, находящиеся в земле: металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей или взрывчатых газов и примесей), металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, свинцовые оболочки кабелей и др.

Искусственными заземлителями являются отрезки угловой стали размером $50 \times 50 \times 4$ мм и длиной 2,5...3 м; стальные трубы диаметром 50 мм той же длины с толщиной стенки не менее 3,5 мм, отрезки круглой стали диаметром 12...14 мм длиной до 5 м и более. Заземлители (вертикальные электроды) соединяются между собой стальной полосой размером 40×4 мм.

Согласно [1] в электроустановках напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью или нейтралью, изолированной от земли, сопротивление заземляющего устройства в любое время года должно быть не более 2 Ом - при линейном напряжении сети в 660 В; 4 Ом – при 380 В и 8 Ом соответственно – 220 В.

Выполнение заземления обязательно:

1. В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках при напряжении переменного тока выше 42 В и постоянного тока выше 110 В;
2. В помещениях без повышенной опасности при напряжении переменного тока 380 В и выше и постоянного тока 440 В и выше.

Заземлению (занулению) подлежат следующие части электрооборудования: металлические корпуса трансформаторов, электродвигателей, пусковой аппаратуры, каркасы и кожухи электрических устройств, металлические трубы электропроводок, корпуса щитов, щитков, шкафов, светильников, стальные трубы и короба электропроводок на лестничных клетках, в технологических подпольях и на чердаках и т.п.

Расчет заземляющих устройств. При расчете заземляющего устройства определяются расстояние между заземлителями, их количество и место размещения, а также сечение заземляющих проводников. Этот расчет производится для ожидаемого сопротивления заземляющего устройства в соответствии с существующими требованиями ПУЭ.

Грунт, окружающий заземлители, не является однородным. Наличие в нем песка, грунтовых вод и других примесей оказывают значительное влияние на сопротивление грунта. Поэтому согласно [1] рекомендуется определять удельное сопротивление грунта путем непосредственного измерения в том месте, где будут размещаться заземлители.

При отсутствии данных измерений при расчетах применяют примерные значения удельных сопротивлений грунтов [8].

Песок	700 Ом·м
Супесок	300 Ом·м
Суглинок	100 Ом·м
Глина	40 Ом·м
Садовая земля	40 Ом·м
Чернозем	20 Ом·м
Торф	20 Ом·м

Расчетные значения коэффициентов повышения сопротивления для различных грунтов и глубины заложения заземлителей приведены в табл. 1.28.

Таблица 1.28. Расчетные коэффициенты повышения сопротивления грунта

Характер грунта	Глубина заложения, м	Расчетные коэффициенты		
		φ_1	φ_2	φ_3

Суглинок	0,8 – 3,8	2,0	1,5	1,4
Садовая земля	0 – 3	-	1,32	1,2
Известняк	0 – 2	1,8	1,2	1,1
Торф	0 – 2	1,4	1,1	1,0
Песок	0 – 2	2,4	1,56	1,2
Глина	0 – 2	2,4	1,36	1,2

Зная расчетное удельное сопротивление грунта, можно определить сопротивление одиночного заземлителя.

Сопротивление вертикального заземлителя длиной l (м), диаметром d (мм) определяется по формуле:

$$R_0 = \left(\frac{0,366\rho}{l} \right) \lg \left(\frac{4l}{d} \right), \quad (1.79)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта в месте размещения заземлителей и выражается в Ом·см.

В практических расчетах удобно пользоваться упрощенными формулами:

$R_0 = 0,00227 \cdot \rho$ - для углубленного пруткового электрода диаметром 12...14 мм, длиной 5 м;

$R_0 = 0,0034 \cdot \rho$ - для электрода из угловой стали размером 50×50×5 мм, длиной 2,5 м;

$R_0 = 0,00325 \cdot \rho$ - для электрода из трубы диаметром 50 мм, длиной 2,5 м.

Число вертикальных заземлителей определяется по формуле:

$$n = \frac{R_0}{\eta \cdot R_3}, \quad (1.80)$$

где η - коэффициент экранирования (использования) трубчатых заземлителей, зависящий от числа и взаимного расположения заземлителей (табл. 1.29).

Таблица 1.29. Коэффициенты экранирования трубчатых заземлителей

Число заземлителей	Коэффициент экранирования η при отношении расстояния между трубами к их длине (a/l)					
	трубы размещены в ряд			трубы размещены по контуру		
	3	2	1	3	2	1

5	0,87	0,8	0,68	-	-	-
10	0,83	0,7	0,55	0,78	0,67	0,59
20	0,77	0,62	0,47	0,72	0,60	0,43
30	0,75	0,60	0,40	0,71	0,59	0,42
50	0,73	0,58	0,30	0,68	0,52	0,37

Пример. Определить число электродов заземления подстанции 10/0,4 кВ. На стороне 10 кВ нейтраль изолирована, на стороне 0,4 кВ глухозаземленная. Удельное сопротивление грунта $\rho = 0,7 \cdot 10^4$ Ом·см.

Решение. Выбираем в качестве заземлителей прутковые электроды длиной 5 м диаметром $d = 12$ мм. Сопротивление одиночного пруткового электрода

$$R_0 = 0,00227 \cdot \rho = 0,00227 \cdot 0,7 \cdot 10^4 = 15,89 \text{ Ом.}$$

Принимаем размещение заземлителей в ряд с расстоянием между ними $a = 5$ м, следовательно $\eta = 0,68$, при $a/l = 1$.

Определяем количество электродов заземлителей

$$n = \frac{R_0}{\eta \cdot R_3} = \frac{15,89}{0,68 \cdot 4} = \frac{15,89}{2,72} = 5,84 \approx 6 \text{ шт.}$$