

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

**БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ОРГАНИЗАЦИЯХ
НЕПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЫ**

Раздел «Электробезопасность»

Практикум для слушателей специальности переподготовки
1-59 01 06 «Охрана труда в отраслях непроизводственной сферы»

Витебск
2016

УДК 65.012.8(075)

Безопасность труда в организациях непромышленной сферы. Раздел «Электробезопасность»: практикум для слушателей специальности переподготовки 1-59 01 06 «Охрана труда в отраслях непромышленной сферы» (заочная форма обучения).

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2016.

Составители : начальник ООТ Ушаков В.В.,
к.т.н., доц. Гречаников А.В.

Практикум составлен с учетом тематики практических занятий по дисциплине «Безопасность труда в организациях непромышленной сферы» в соответствии с типовым учебным планом переподготовки, утвержденным 11.11.2013 № 25-13/564, учебным планом переподготовки УО «ВГТУ» № 11/з-2014уч. В практикуме изложена методика выполнения четырех практических занятий по курсу «Безопасность труда в организациях непромышленной сферы» раздел «Электробезопасность», приводятся необходимые теоретические сведения, описания установок и приборов, методики расчетов.

Одобрено кафедрой «Охрана труда и химия» УО «ВГТУ».

«18» октября 2016 г., протокол № 3 .

Рецензент : доц. Потоцкий В. Н.

Редактор : доц. Савенок В. Е.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ». Протокол № 8 от 26 октября 2016 г.

Ответственный за выпуск : Сяборова В.А.

Учреждение образования

«Витебский государственный технологический университет»

Подписано к печати 09.11.16. Формат 60x90 1/16. Уч.-изд. лист. 1,4.

Печать ризографическая. Тираж 40 экз. Заказ № 357.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/172 от 12.02.2014.

210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА	4
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАНУЛЕНИЯ	9
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПРОВОДНИКОВ ТОКА В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ	13
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ	17
ЛИТЕРАТУРА	22

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Поражение человека электрическим током возможно не только при случайном прикосновении к токоведущим частям, но и при прикосновении к металлическим конструктивным частям электрооборудования (корпуса, кожуха, конструкции, оболочки и тому подобное), на которых появилось напряжение относительно земли в результате повреждения изоляции.

Одной из защитных мер от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям является защитное заземление.

Защитным заземлением называется преднамеренное соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Заземлителем называется один или несколько металлических электродов (например, стальных стержней, труб, полос и др.), находящихся в соприкосновении с землей.

Заземляющее устройство – это совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Сопротивление заземляющего устройства определяется как отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя на землю.

Защитное действие заземления (рисунок 1.1) состоит в том, что человек, случайно прикоснувшийся к токоведущим частям, находящимся под напряжением, включается в электрическую цепь параллельно заземлению, поэтому резко уменьшается ток, проходящий через тело человека.

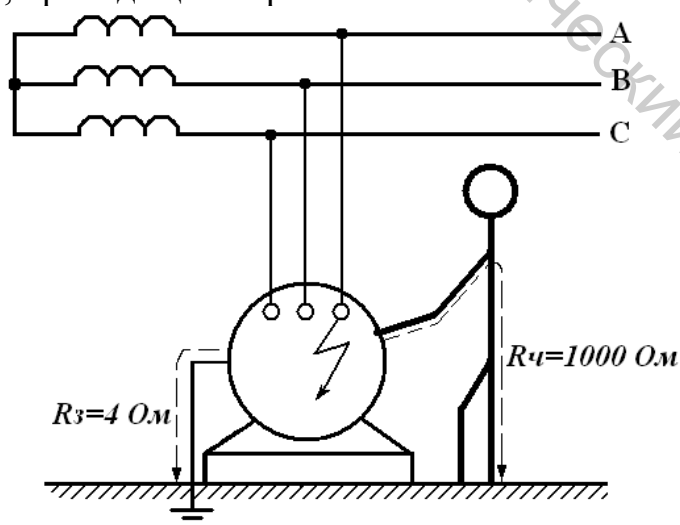


Рисунок 1.1 – Схема защитного заземления: R_z – сопротивление защитного заземления; $R_{ч}$ – сопротивление человека

В качестве защитной меры от воздействия напряжения прикосновения в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных электроустановках при сетях с изолированной нейтралью все металлические нетоковедущие части электрооборудования при номинальном переменном напряжении более 42 В и постоянном 110 В, а также конструкции механического и технологического оборудования были присоединены к заземляющему устройству. При напряжении 380 В и более переменного тока и 440 В и более постоянного тока защитное заземление требуется во всех электроустановках. Заземление электроустановок не требуется при переменных напряжениях 42 В и менее и постоянных 110 В и менее во всех случаях, за исключением взрывоопасных установок. Во взрывоопасных зонах заземлению подлежит электрооборудование всех напряжений.

Заземлению подлежат корпуса электрических машин и аппаратов, трансформаторов, светильников, ручные приводы выключателей и разъединителей, каркасы распределительных щитов и пультов управления, металлические конструкции распределительных устройств и кабельных линий, кабельные муфты и оболочки, металлические трубы и оболочки электропроводок, металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников, вторичные обмотки измерительных трансформаторов.

Заземлению не подлежат: арматура подвесных и штыри опорных изоляторов, кронштейны и осветительная арматура при установках их на деревянных опорах и конструкциях (если это не требуется по условиям молниезащиты); электрооборудование, установленное на металлических заземленных конструкциях, если в местах контакта с ними металлических нетоковедущих частей электрооборудования обеспечен надежный электрический контакт. Не подлежат заземлению также корпуса электроизмерительных приборов, реле и тому подобное, установленных на щитах и в шкафах и на стенах камер распределительных устройств; корпуса электроприемников с двойной изоляцией (некоторые бытовые электроприемники, ручной инструмент); рельсовые пути, выходящие за территорию электростанций, подстанций, предприятия (во избежание выноса опасных электрических потенциалов).

Для заземляющего устройства рекомендуется (в качестве заземлителя) в первую очередь использовать *естественные заземлители*, то есть проложенные в земле стальные трубы водопроводов и артезианских скважин, погруженные в землю каркасы зданий и сооружений. Запрещается использовать в качестве заземлителей металлические трубы горючих жидкостей и газов.

Искусственные заземлители (электроды, погружаемые в грунт) могут быть выполнены из стальных стержней длиной 5 м круглого сечения или угловой стали, а также из прямоугольных стержней, погруженных в грунт на глубину 2 – 3 м.

Определяющим фактором при расчете защитного заземления является сопротивление заземления растеканию тока в земле, которое зависит от удель-

ного сопротивления грунта ρ , размеров, формы, числа и взаимного расположения заземлителей.

Расчет сопротивления системы заземления, для которой будут применены стальные трубы с наружным диаметром 0,06 м, вертикально закопанные в землю и соединенные между собой стальной полосой.

Схема заземления представлена на рисунке 1.2.

Сначала определяется сопротивление одиночного заземлителя (трубы) по формуле

$$R_{TP} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\ln \frac{2l}{D} + 0,5 \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (1.1)$$

где R_{TP} – сопротивление одиночного заземлителя (трубы), Ом; ρ – удельное электрическое сопротивление грунта, Ом · м; l – длина трубы, м; D – наружный диаметр трубы, м; t – глубина заложения трубы, м; t_0 – глубина промерзания грунта, м.

Глубина заложения трубы определяется по формуле

$$t = t_0 + \frac{l}{2}. \quad (1.2)$$

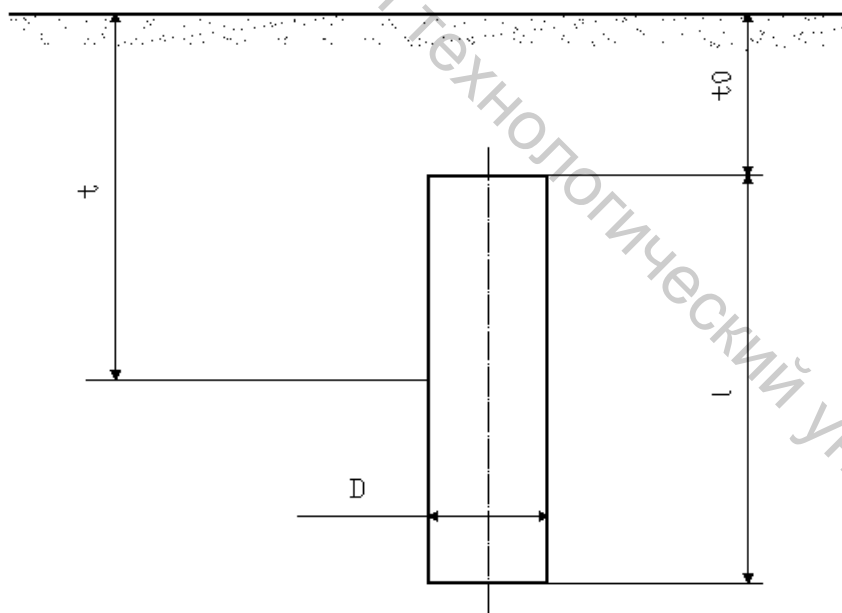


Рисунок 1.2 – Схема заземления

Сопротивление заземляющего устройства в электроустановках с напряжением до 1000 В не должно превышать 10 Ом, поэтому, в большинстве случаев необходимо использовать несколько заземлителей соединенных между собой стальной полосой.

Число труб в системе заземления определяется по формуле

$$n = \frac{R_{TP}}{R_3 \cdot \eta_{Э.ТР}}, \quad (1.3)$$

где R_{TP} – сопротивление одиночного заземлителя (трубы), Ом; R_3 – нормируемое значение сопротивление заземления, Ом; $\eta_{Э.ТР}$ – коэффициент экранирования труб (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Коэффициент экранирования трубчатых заземлителей $\eta_{Э.ТР}$ без учёта влияния соединяющей их полосы

Число заземлителей	$\eta_{Э.ТР}$, при отношении расстояния между трубами к их длине ($L:l$)					
	3	2	1	3	2	1
	Трубы расположены в ряд			Трубы расположены по контуру здания		
2	0,93	0,9	0,83	–	–	–
5	0,87	0,8	0,68	–	–	–
10	0,83	0,7	0,55	0,78	0,67	0,50
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	0,38	0,68	0,52	0,37

Полученное значение n следует округлить до ближайшего целого числа. Сопротивление соединительной полосы определяется по формуле

$$R_{II} = 0,366 \frac{\rho}{l_{II}} \cdot \lg \frac{2l_{II}^2}{b \cdot h}, \quad (1.4)$$

где R_{II} – сопротивление соединительной полосы, Ом; l_{II} – длина соединительной полосы, м; a – расстояние между заземлителями, м; b – ширина полосы, м; h – глубина заложения полосы, м.

Длина соединительной полосы определяется по формуле

$$l_{II} = 1,5 \cdot a \cdot n, \quad (1.5)$$

где $a = 1,5 \cdot l$ – расстояние между заземлителями, м; n – количество заземлителей.

Ширина соединительной полосы b выбирается из следующего ряда значений: 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07.

Глубина заложения полосы выбирается либо $h = t_0$ либо $h = t$.

Общее сопротивление системы заземления определяется по формуле

$$R_3^{ОБЩ} = \frac{1}{\frac{\eta_{Э.П}}{R_{П}} + \frac{\eta_{Э.ТР} \cdot n}{R_{ТР}}}, \quad (1.6)$$

где $R_3^{ОБЩ}$ – общее сопротивление системы заземления, Ом; $\eta_{Э.П}$ – коэффициент экранирования полосы (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Коэффициент экранирования полосы связи трубчатых заземлителей $\eta_{Э.П}$

Число заземлителей	$\eta_{Э.П}$, при отношении расстояния между трубами к их длине ($L:l$)					
	3	2	1	3	2	1
	Трубы расположены в ряд			Трубы расположены по контуру здания		
2	0,95	0,91	0,81	0,75	0,58	0,50
5	0,90	0,85	0,72	0,71	0,50	0,41
10	0,79	0,70	0,59	0,55	0,39	0,33
20	0,65	0,55	0,40	0,44	0,32	0,27
30	0,57	0,45	0,30	0,40	0,30	0,23
50	0,49	0,35	0,21	0,37	0,27	0,21

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАНУЛЕНИЯ

Для предотвращения поражения человека электрическим током применяют различные защитные меры: *защитное заземление, зануление, электрическое разделение сетей, применение малых напряжений, изоляция, защитное отключение, выравнивание потенциалов, оградительные устройства, электрозащитные средства и блокировки, предупредительная сигнализация, знаки безопасности.*

Занулением называется присоединение к неоднократно заземленному нулевому проводу корпусов и других нетоковедущих металлических частей оборудования, которые вследствие повреждения изоляции могут оказаться под напряжением.

На рисунке 2.1 представлена принципиальная схема зануления.

Задача зануления – устранение опасности поражения людей током при пробое напряжения на корпус и переходе напряжения на корпус. Решается эта задача автоматическим отключением поврежденной установки от сети.

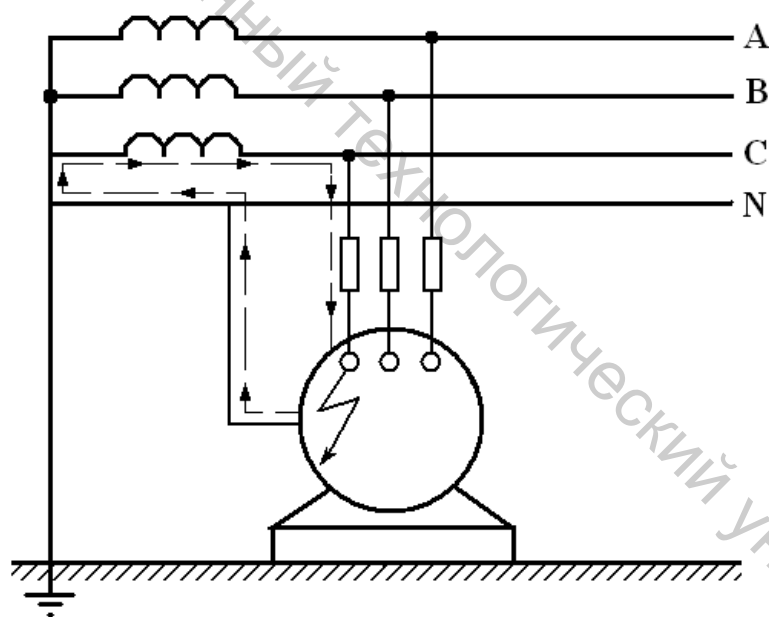


Рисунок 2.1 – Защитное зануление

Принцип действия зануления – превращение пробоя на корпус в однофазное короткое замыкание (то есть замыкание между фазным и нулевым проводом) с целью создания большого тока, способного обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети.

В качестве средств защиты используются плавкие предохранители или автоматические выключатели, устанавливаемые в сети потребителей энергии. Скорость отключения поврежденной установки от питающей сети составляет 5 – 7с при защите установки плавкими предохранителями и 1 – 2 с при защите автоматами.

Область применения – трехфазные четырехпроводные сети напряжением до 1000В с глухозаземленной нейтралью. Обычно это сети напряжением 380/220 и 220/127 В.

Назначение нулевого провода – создание тока замыкания цепи с малым сопротивлением, чтобы этот ток был достаточным для быстрого срабатывания защиты.

В нулевом проводе, используемом для заземления, не должно быть плавких предохранителей и однополюсных выключателей, так как в случае разрыва нейтрального провода, присоединенные к нему корпуса электрооборудования окажутся незаземленными, а в случае замыкания на корпус не произойдет короткого замыкания и оборудование не отключится защитой.

Величину тока однофазного короткого замыкания на землю можно определить по формуле

$$I_3 = \frac{U\phi}{R_0 + R\phi}, \quad (2.1)$$

где I_3 – величина тока однофазного короткого замыкания, А; $U\phi$ – фазное напряжение, В; R_0 – сопротивление нулевого провода, Ом; $R\phi$ – сопротивление фазного провода, Ом.

Согласно ПУЭ, в электроустановках напряжением до 1000 В с глухим заземлением нейтрали для обеспечения автоматического отключения аварийного участка сети зануляющие проводники выбирают с таким расчетом, чтобы при однофазном замыкании в любой точке сети возникал ток силой, превышающий в 3 раза номинальную силу тока ближайшей плавкой вставки и в 1,5 раза силу тока отключения максимального расцепителя соответствующего автоматического выключателя.

Для срабатывания защиты кабельных линий и внутренних электросетей, имеющих относительно небольшую протяженность и, следовательно, малое сопротивление, достаточно, чтобы нулевой провод сети имел проводимость не менее 50 % проводимости фазных проводов. В этом случае выбранный по допустимой силе тока нагрузки предохранитель обеспечивает условие быстрого отключения однофазного замыкания на корпус.

На данном практическом занятии используется экспериментальный стенд, схема которого показана на рисунке 2.2.

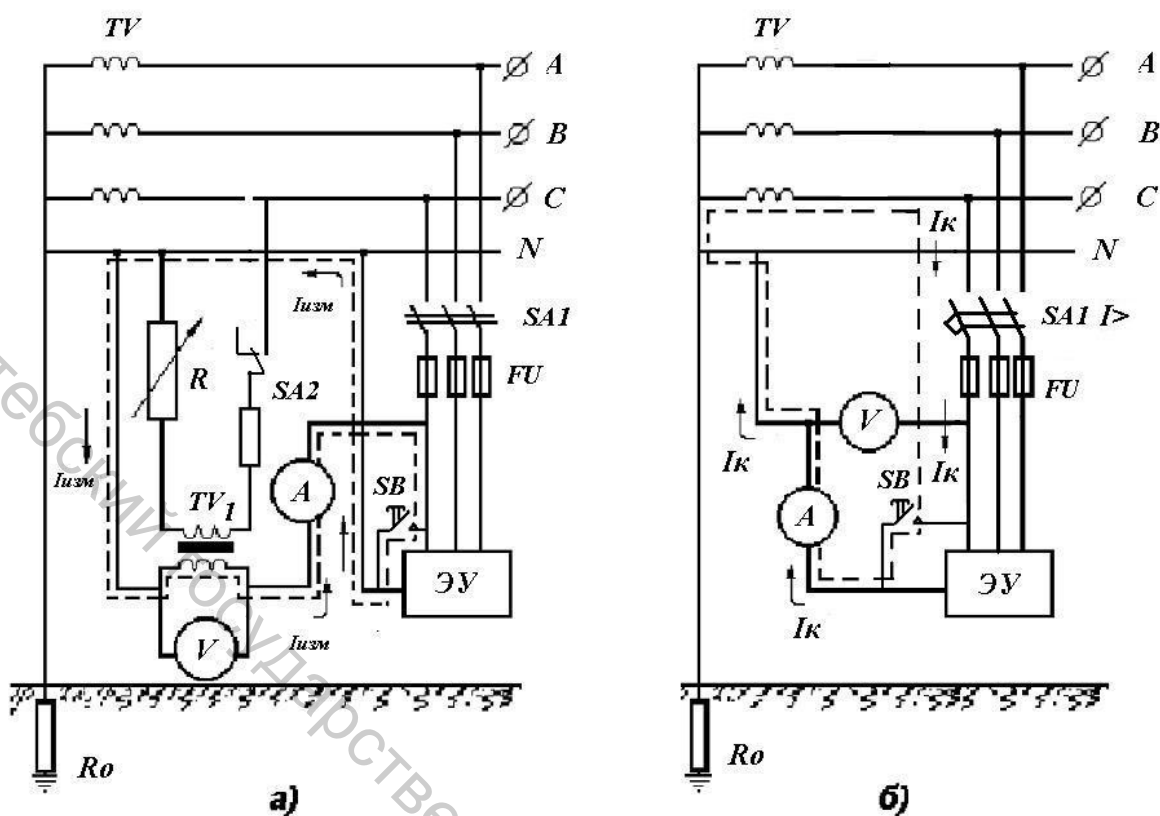


Рисунок 2.2 – Схема экспериментального стенда (пунктирными линиями показано направление токов короткого замыкания): а) измерение сопротивления петли фаза-ноль: TV – трансформатор, питающий сеть; A – амперметр; V – вольтметр; $TV1$ – понижающий трансформатор; R – реостат; $SA1$ – рубильник; $SA2$ – тумблер; SB – кнопка короткого замыкания фазы на корпус зануленного электрооборудования; $ЭУ$ – электроустановка; FU – предохранитель; б) определение эффективности защиты линии автоматом при пробое фазы на зануленный корпус электроустановки: TV – трансформатор, питающий сеть; A – амперметр; V – вольтметр; $SA1$ – автомат АП50–3МГ; SB – кнопка короткого замыкания фазы на корпус электроустановки; $ЭУ$ – электроустановка; FU – предохранитель

Для измерения используется понижающий трансформатор напряжением 12 В, реостат, амперметр, вольтметр и проводники. При проведении измерения испытуемая электрическая установка отключена от сети.

Один вывод вторичной обмотки понижающего трансформатора присоединяется к нулевому проводу как можно ближе к силовому трансформатору, чтобы учесть сопротивление нулевого провода на всем участке, где проходит испытательный ток, другой – к одному из фазных проводов, идущих к электроприемнику, после рубильника, который отключен.

Фазный провод и корпус электроприемника соединяются надежной перемычкой, имитирующей замыкание на корпус. После включения рубильника P_1 реостатом в цепи устанавливается некоторый ток, достаточный для отсчета по-

казаний вольтметра $U_{ИЗМ}$ и амперметра $I_{ИЗМ}$. Частное от деления этих показаний есть сопротивление петли фаза-ноль $R_{\phi-0}$. Однако, поскольку при этом измерении не учитывается сопротивление силового трансформатора R_T , необходимо к $R_{ИЗМ}$ прибавить R_T . Тогда сопротивление петли фаза-ноль будет равно

$$R_{\phi-0} = \frac{U_{ИЗМ}}{I_{ИЗМ}} + R_T = R_{ИЗМ} + R_T. \quad (2.2)$$

Соответствующий этому измерению ток однофазного короткого замыкания I_K определяют по формуле

$$I_K = A_1 \cdot A_2 \cdot \frac{U_{\phi}}{R_{ИЗМ} + R_T} = 0,85 \cdot \frac{U_{\phi}}{R_{\phi-0}}, \quad (2.3)$$

где I_K – ток однофазного короткого замыкания, А; $A_1 = 0,95$ – коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжения сети в эксплуатационном режиме; $A_2 = 0,9$ – коэффициент, учитывающий погрешности приборов и наличие переходного сопротивления в месте замыкания фазы на корпус.

Значение R_T для трансформаторов мощностью $P \leq 1000$ кВА колеблется в пределах от 0,05 до 1,5 Ом, а у трансформаторов выше 1000 кВА R_T имеет небольшое значение и им можно пренебречь ($R_T \approx 0,052$ Ом).

Следует отметить, что при измерении не учитывается сопротивление фазного провода на участке А–В. В результаты измерения входит сопротивление вспомогательных проводников, соединяющих вторичную обмотку пониженного трансформатора с сетью. Для экспериментальной проверки срабатывания автомата при коротком замыкании фазы на корпус электрической установки используются вольтметр, амперметр, автоматический выключатель типа АП50–ЗМГ. Для обеспечения надежного отключения необходимо, чтобы ток короткого замыкания превышал ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя или номинальный ток плавкой вставки предохранителя

$$I_k(\text{расч}) \gg k \cdot I_n(\text{сраб}), \quad (2.4)$$

где $I_k(\text{расч})$ – расчётный ток плавкой вставки или расчётный ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя, А; $I_n(\text{сраб})$ – номинальный ток плавкой вставки или номинальный ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя, А; k – коэффициент надежности, принимаемый равным: 1,4 для автоматов до 100 А; 1,25 – для прочих автоматов; 3 – при защите плавкими вставками или автоматами, имеющими расцепители с обратозависимой от тока характеристикой; 4 – при защите предохранителями; 6 – при защите автоматами во взрывоопасных установках.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПРОВОДНИКОВ ТОКА В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ

Наземная электрическая изоляция различных токоведущих проводов является основой электробезопасности. Надежная и качественная электроизоляция может обеспечить практически 100 % электробезопасность.

Повреждение или отсутствие изоляции проводов и токоведущих частей электроустановок является одной из основных причин аварий и несчастных случаев.

Материал изоляции должен соответствовать условиям окружающей среды и особенностям эксплуатации электрооборудования, то есть должен быть устойчив к действию агрессивных веществ, влаги, нагреву и механическим воздействиям.

На практике электрическая изоляция может быть разрушена от механических повреждений, действия химически активной среды, повышенной температуры, неправильной эксплуатации электроустановок. При этом может появиться напряжение на корпусах, которые обычно не находятся под напряжением.

Сопротивление изоляции в сетях с напряжением до 1000 В должно быть не менее 0,5 МОм.

Сопротивление изоляции $R_{из}$ электрических машин зависит от их мощности и рассчитывается по формуле

$$R_{из} = \frac{U}{1000 + \frac{N}{100}}, \quad (3.1)$$

где $R_{из}$ – сопротивление изоляции, МОм; U – напряжение тока, В; N – мощность машины, кВт.

Сопротивление изоляции – величина непостоянная, зависящая от приложенного напряжения (рисунок 3.1).

Новые и прошедшие ремонт электроустановки (электрооборудование) могут быть приняты в эксплуатацию только после проверки сопротивления изоляции с удовлетворительным результатом. Кроме того, исправность изоляции проверяют периодически во время эксплуатации электрооборудования не реже одного раза в год в сырых и не реже двух раз в год в особо сырых помещениях.

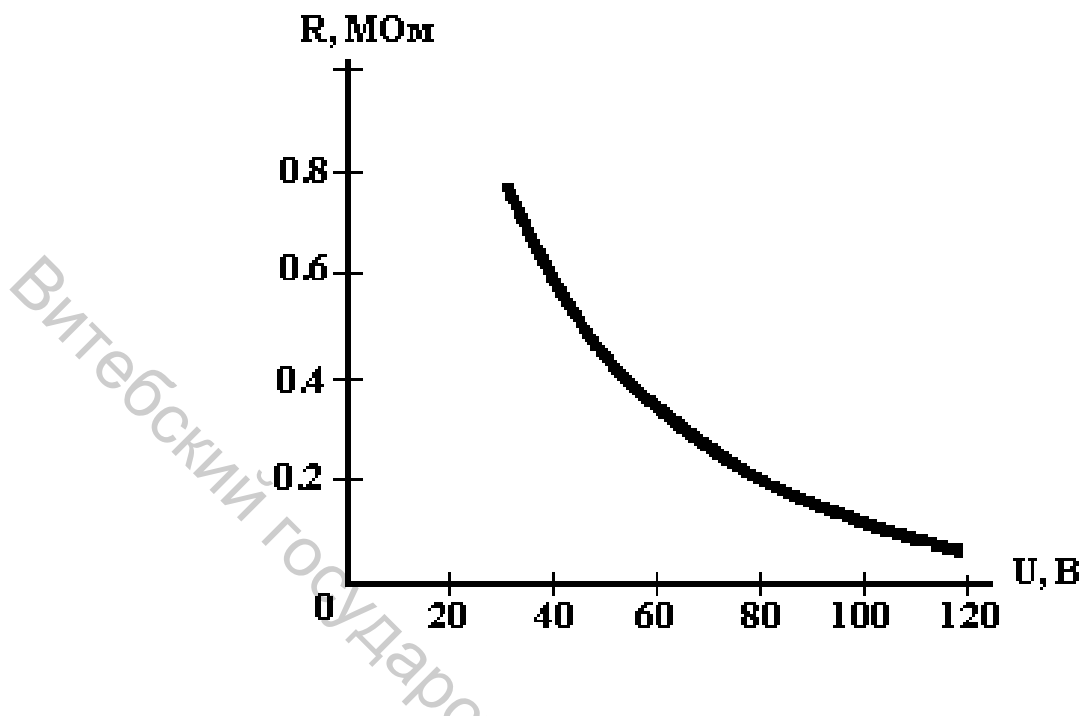


Рисунок 3.1 – Зависимость сопротивления изоляции $R_{ИЗ}$ от приложенного напряжения U

В сетях напряжением до 1000 В наиболее распространенный вид периодического контроля изоляции – измерение ее сопротивления мегомметром. Сопротивление изоляции измеряют у каждой фазы по отношению к земле и между фазами. Изоляция считается удовлетворительной, если ее сопротивление на участке сети между двумя предохранителями составляет не менее 0,5 МОм.

Помимо периодического существует и постоянный (непрерывный) контроль изоляции. Он проводится, как правило, под рабочим напряжением в течение всего периода работы электроустановки и включает в себя измерение сопротивления изоляции сети относительно земли и автоматическую сигнализацию (световую или звуковую) при снижении сопротивления.

Измерение сопротивления изоляции специально подобранных проводников может быть произведено с помощью мегомметра М 1101.

Измерительным устройством мегомметра является специальный двухрамочный магнитоэлектрический логометр M (рисунок 3.2), измеряющий отношение двух токов: тока I_2 , протекающего в одной рамке прибора, к току I_1 , протекающему в другой рамке.

Ток подводится к подвижным рамкам, скрепленным под углом 90° , через особые безмоментные подводы. Измеряемое сопротивление присоединяется к зажимам «Л» (линия) и «З» (земля).

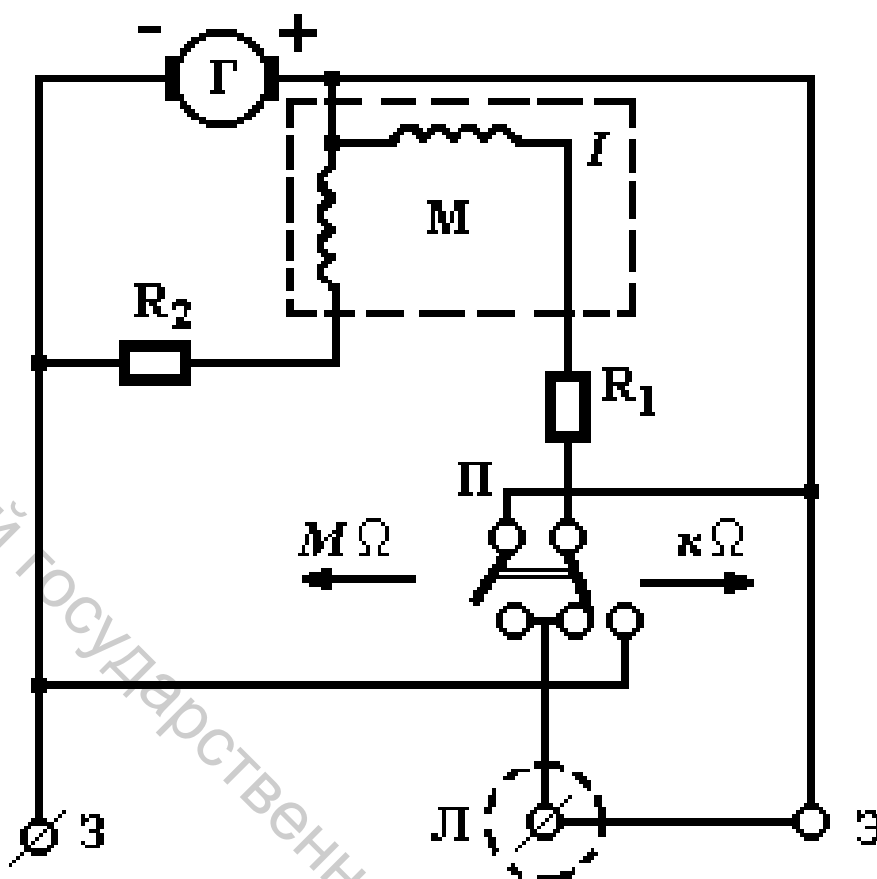


Рисунок 3.2 – Принципиальная электрическая схема мегомметра М 1101:
М – магнитоэлектрический логометр, *Г* – генератор; *П* – переключатель;
*R*₁ – добавочное сопротивление в цепи рабочей рамки логометра; *R*₂ – сопротивление в цепи противодействующей рамки логометра; *Л, З, Э* – пружинные зажимы прибора («линия», «земля», «экран»)

Рабочая (большая) рамка логометра включена последовательно с измеряемым сопротивлением и добавочным сопротивлением *R*₁ к зажимам генератора *Г*. К этим же зажимам присоединена через сопротивление *R*₂ противодействующая (малая) рамка. Ток *I*₁ в противодействующей рамке не зависит от измеряемого сопротивления, тогда как ток *I*₂, главным образом, определяется измеряемым сопротивлением. Отклонение стрелки, определяемое отношением токов в рамках, будет зависеть только от величины измеряемого сопротивления. При измерении напряжения генератора их соотношение останется прежним. Поэтому шкала прибора градуирована непосредственно в Ом.

Шкала мегомметра имеет два ряда отметок: верхняя шкала соответствует пределу измерения от 0 до 1000 МОм, нижняя – пределу от 0 до 1000 кОм.

Генератор мегомметра рассчитан на работу при скорости вращения рукоятки 120 об/мин, вращение рукоятки передаётся якорю генератора через зубчатую передачу, доводящую скорость вращения якоря до 1920 об/мин.

При вращении якоря в обмотке генератора индуцируется переменный ток, который при помощи коллектора выпрямляется и подаётся в схему. Генератор снабжен специальным центробежным регулятором.

Чтобы исключить влияние поверхностных токов утечки, выведен третий зажим «Э» (экран). С той же целью логометр и переключатель, а также «Л» экранированы от токов утечки. Экранировка показана на схеме пунктиром.

При помощи переключателя Π измеряемое сопротивление может подключаться к рабочей рамке последовательно или параллельно. При этом резко уменьшается предел измерения. На крышке прибора эти два положения переключателя отмечены надписями $M\Omega$ и $\kappa\Omega$.

Измерение сопротивления изоляции можно производить от токов утечки без экранирования и с экранированием.

Экранированием обычно пользуются при измерении сопротивления, например, изоляции кабеля и изоляции приборов с электрическим экраном.

Для проверки исправности прибора, вращают ручку генератора при разомкнутых зажимах и следят за тем, чтобы стрелка установилась на отметку ∞ шкалы мегомов, если переключатель находится в положении $M\Omega$, или на отметку 0 той же шкалы мегомов, если переключатель находится в положении $\kappa\Omega$. В противном случае прибор неисправен.

В зависимости от величины измеряемого сопротивления ставится переключатель на $\kappa\Omega$ или $M\Omega$. К зажимам «Л» и «З» присоединяется измеряемое сопротивление.

Вращается ручка генератора со скоростью 120 об/мин. Отсчёт производится по соответствующей шкале. Мегометр может применяться только для измерения изоляции цепей, **не находящихся под напряжением**. Перед измерением необходимо убедиться в отсутствии напряжения в испытываемых электрических цепях.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Поражения электрическим током возникают при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми есть некоторая разность потенциалов (напряжение). Анализ опасности такого прикосновения сводится к определению значения цепи тела человека, зависящей от схемы его включения в сеть, схемы сети, режима работы, качества изоляции токоведущих частей и условий эксплуатации электроустановки.

Основные схемы включения:

- однофазное (однополюсное), когда человек имеет электрическую связь с землей и касается одной фазы электроустановки;
- двухфазное (двухполюсное), когда человек касается двух изолированных фаз (полюсов) электроустановки;
- прикосновение к нетоковедущим частям электроустановки, оказавшихся под напряжением в результате повреждения изоляции (равноценно однофазному включению);
- включение между двумя точками земли в поле растекания тока, находящимися под разными потенциалами (включение под напряжением шага).

В промышленности в основном применяются трехфазные сети трехпроводные с изолированной нейтралью и четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью. Нейтраль или нейтральная точка обмотки источника или потребителя энергии – это точка, напряжение которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаково по абсолютному значению. Сети с изолированной нейтралью целесообразно применять в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень изоляции проводов, а емкость сети относительно земли незначительна. К ним относятся малоразветвленные сети, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором персонала. Сеть с заземленной нейтралью следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (из-за высокой влажности, агрессивной среды и пр.), когда нельзя быстро найти или устранить повреждение изоляции, либо когда емкостные токи сети из-за значительной ее разветвленности достигают больших значений, опасных для человека.

Наибольшее число электротравм связано с однофазным включением, при котором на протекающий через человека ток влияют режим нейтрали сети, качество изоляции проводов сети, ее протяженности и ряд других параметров.

Однофазное прикосновение (рисунок 4.1) происходит во много раз чаще, чем двухфазное, но оно менее опасно, поскольку напряжение, под которым оказывается человек, не превышает фазного, то есть меньше линейного в 1,73 раза и, кроме того, ток, протекающий через человека, возвращается к источнику

(электросети) через изоляцию проводов, которая в исправном состоянии обладает большим сопротивлением.

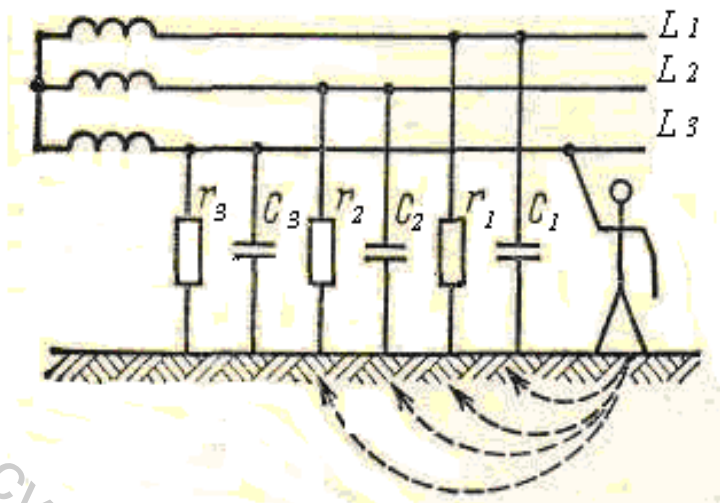


Рисунок 4.1 – Однофазное (однополюсное) прикосновение к токоведущим частям в системе IT: r_1, r_2, r_3 – сопротивление изоляции проводов электросети; C_1, C_2, C_3 – ёмкость проводов электросети

Сила тока, протекающего через человека, для этого случая определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + R_{II} + \frac{R_{ИЗ}}{3}}, \quad (4.1)$$

где I_h – сила тока, протекающего через человека, А; R_h – сопротивление тела человека, Ом; R_{II} – переходное сопротивление (сопротивление пола, на котором стоит человек и обуви), Ом; $R_{ИЗ}$ – сопротивление изоляции фазного провода относительно земли (активная и ёмкостная составляющие), Ом.

В четырёхпроводной электрической сети переменного тока с глухозаземлённой нейтралью (система TN) ток, проходящий через человека (рисунок 4.2), возвращается к источнику (электросети) не через изоляцию проводов, как в предыдущем случае, а через сопротивление заземления нейтрали (R_0) источника тока. Сила тока, проходящего через тело человека, определяется при этом по формуле

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + R_{II} + R_0}, \quad (4.2)$$

где I_h – сила тока, протекающего через человека, А; R_h – сопротивление тела человека, Ом; R_{II} – переходное сопротивление (сопротивление пола, на котором стоит человек и обуви), Ом; R_0 – сопротивление нулевого провода Ом.

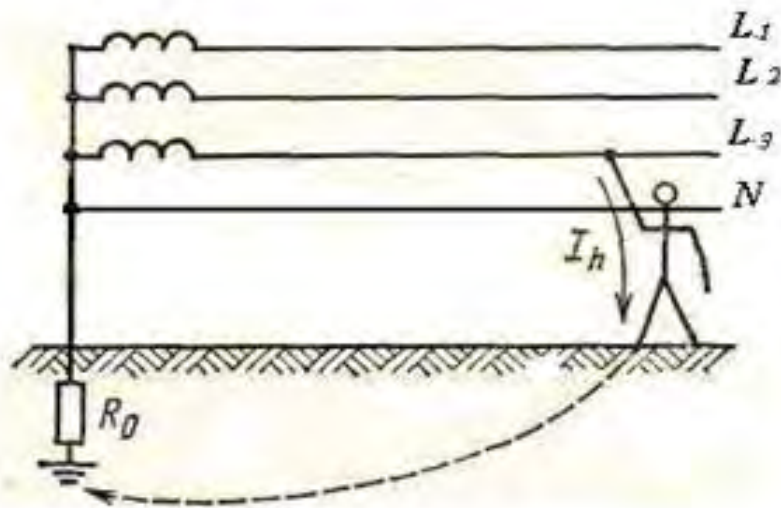


Рисунок 4.2 – Однофазное (однополюсное) прикосновение к токоведущим частям в системе TN

При прочих равных условиях прикосновение человека к одному фазному проводу электросети с изолированной нейтралью менее опасно, чем в электросети с заземлённой нейтралью.

Рассмотренные выше схемы включения человека в электрическую цепь трёхфазного переменного тока справедливы для нормальных (безаварийных) условий работы электрических сетей.

При двухфазном прикосновении (рисунок 4.3) ток, проходящий через человека, практически не зависит от режима работы нейтрали.

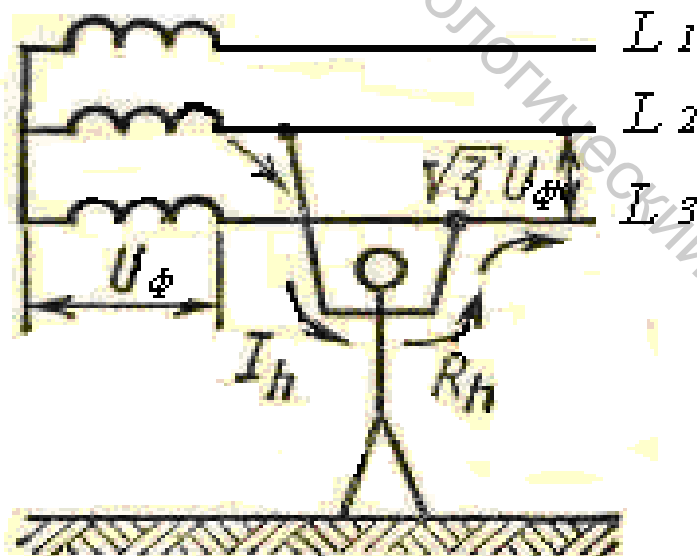


Рисунок 4.3 – Двухфазное прикосновение к токоведущим частям: U_ϕ – фазное напряжение; I_h – сила тока, протекающего через человека; R_h – сопротивление человека; L_1, L_2, L_3 – фазные проводники

Сила тока (I_h , А), протекающего через человека, определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_{Л}}{R_h} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}}{R_h}, \quad (4.3)$$

где I_h – сила тока, протекающего через человека, А; $U_{Л}$ – линейное напряжение, В; U_{ϕ} – фазное напряжение, В; R_h – сопротивление тела человека, Ом.

Опасность прикосновения не уменьшится и в том случае, если человек будет надёжно изолирован от земли.

Шаговое напряжение – это электрическое напряжение, равное разности потенциалов между двумя точками поверхности земли (токопроводящего пола), отстоящими друг от друга на расстоянии шага человека (рисунок 4.4).

Величина шагового напряжения определяется по формулам

$$U_{ш} = U_1 + U_2, \quad (4.4)$$

$$U_i = \frac{I_{\text{э}} \cdot \rho}{2\pi \cdot x_i}. \quad (4.5)$$

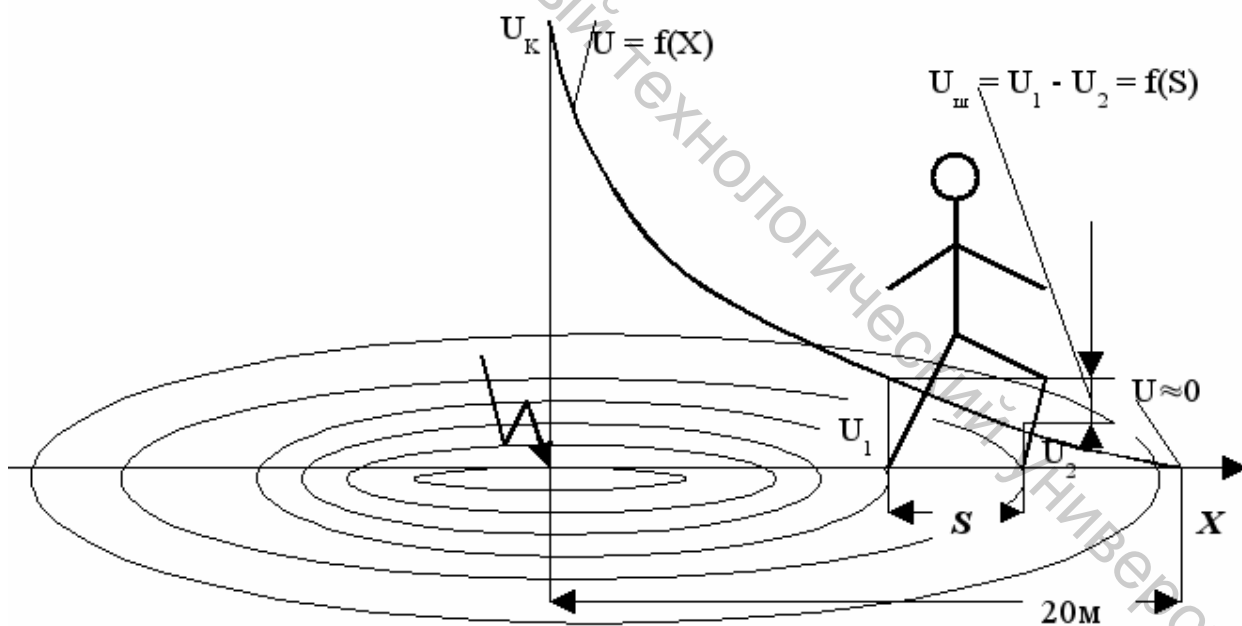


Рисунок 4.4 – Шаговое напряжение

Опасное шаговое напряжение может возникнуть вблизи заземлителей электроустановок при аварийном коротком замыкании на землю или вблизи упавшего на землю провода линии электропередачи.

Напряжение прикосновения – разность потенциалов между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек (рисунок 4.5).

Потенциалы на поверхности грунта при замыкании тока на корпус любого потребителя распределяются по гиперболической кривой.

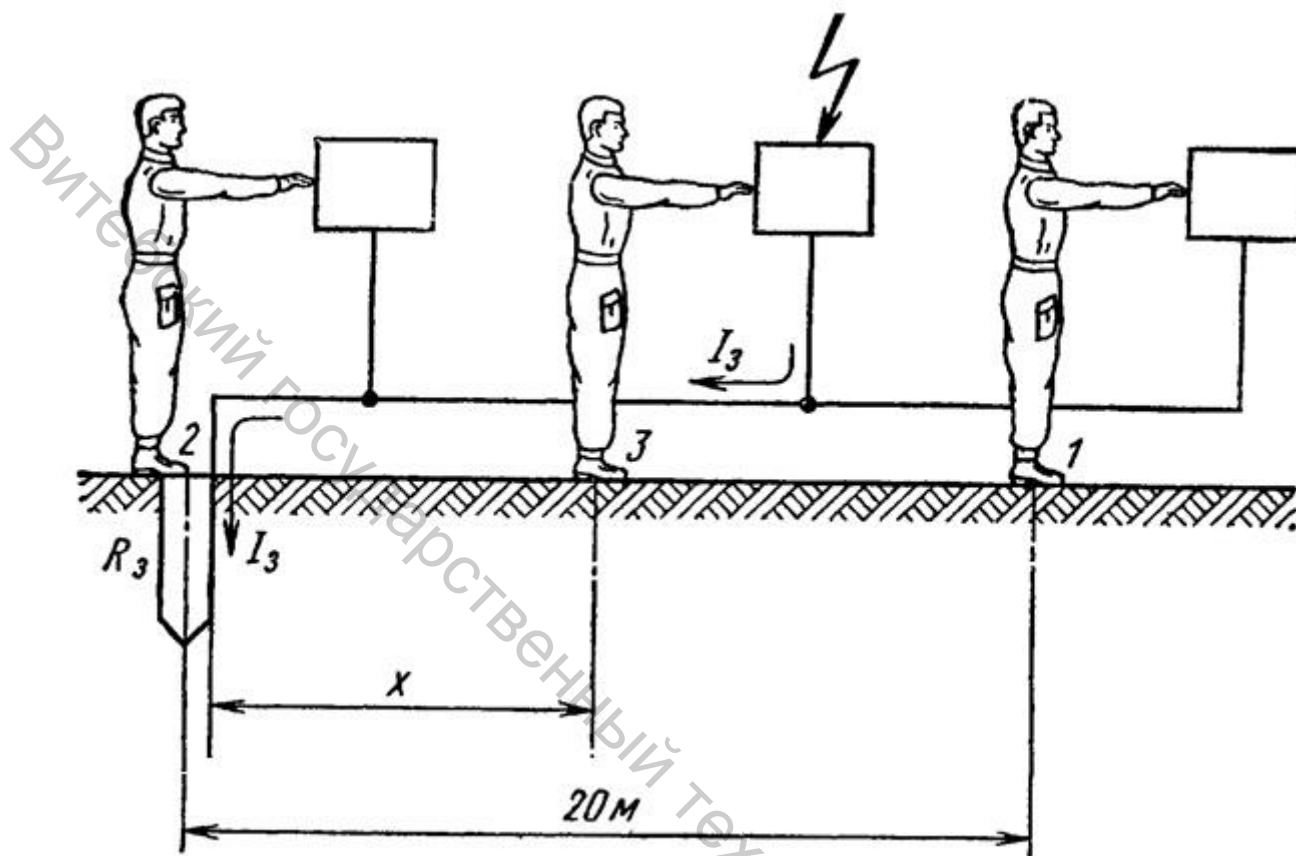


Рисунок 4.5 – Напряжение прикосновения

Напряжение прикосновения равно разности потенциалов корпуса электрооборудования и точек почвы, на которых находятся ноги человека.

Величина напряжения прикосновения рассчитывается по формуле

$$U_{\text{пр}} = U_3 - U_{\text{осн}} \quad (4.6)$$

Чем дальше электрооборудование находится от заземлителя, тем под большее напряжение прикосновения человек попадает, и наоборот, чем ближе к заземлителю, тем меньше напряжение прикосновения U . За пределами зоны растекания тока напряжение прикосновения равно напряжению на корпусе оборудования относительно земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Межотраслевые общие правила по охране труда, утвержденные постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 03.06.2003 № 70 (в редакции постановления Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 30.09.2011 № 96).
2. Правила устройства электроустановок, утвержденные Министерством энергетики и электрификации СССР в 1986 г., 6-е издание.
3. Межотраслевые правила по охране труда при работе в электроустановках, утвержденные постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, Министерства энергетики Республики Беларусь от 30.12.2008 № 205/59.
4. ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление».
5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей : технический кодекс установившейся практики ТКП 181–2009, утвержденный и введенный в действие постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 20.05.2009 № 16.
6. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок : технический кодекс установившейся практики ТКП 427–2012, утвержденный приказом Министерства энергетики Республики Беларусь от 28 ноября 2012 г. № 228.
7. Охрана труда : учебник / А. А. Челноков, И. Н. Жмыхов, В. Н. Цап ; под общ. ред. А. А. Челнокова. – Минск : Высш. школа, 2011. – 671 с.
8. Охрана труда: практикум для студентов всех специальностей дневной и заочной форм обучения / С. Г. Ковчур и др. – 2-е изд, перераб. и доп., Витебск, УО «ВГТУ», 2010. – 176 с.
9. Технический кодекс установившейся практики. ТКП 339-2011. Правила устройства электроустановок. Введен 01.12.2001. – Мн.: Из-во «Энергия», 2011. – 360 с.