

Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

Цель работы: исследовать степень опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях напряжением до 1 кВ; ознакомиться с факторами, влияющими на опасность поражения человека электрическим током; исследовать эффективность защитного заземления и зануления.

Приборы и оборудование: лабораторный стенд «Электробезопасность».

1. Общие положения

Электрические установки, с которыми приходится иметь дело практически всем работающим на производстве, представляют потенциальную опасность. Опасность эксплуатации электроустановок состоит в том, что токоведущие проводники (или корпуса машин, оказавшиеся под напряжением в результате повреждения изоляции) не подают сигналов опасности, на которые реагирует человек. Реакция человека на электрический ток возникает лишь после его прохождения через ткани.

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействия. **Термическое действие тока** проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца и других органов, находящихся на пути тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства. **Электролитическое действие тока** проявляется в разложении органических жидкостей, в том числе и крови, что сопровождается значительными нарушениями их физико-химического состава. **Механическое действие тока** выражается в разрыве, расслоении и других повреждениях различных тканей организма, в том числе мышечной ткани, стенок кровеносных сосудов, сосудов легочной ткани и др. **Биологическое действие тока** проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и связанных с его жизненными функциями.

Электрический ток, проходя через организм, раздражает живые ткани, вызывая в них ответную реакцию – возбуждение, являющееся одним из основных физиологических процессов. Например, если электрический ток проходит непосредственно через мышечную ткань, то возбуждение, обусловленное раздражающим действием тока, проявляется в виде непроизвольного сокращения мышц. Это так называемое прямое, или непосредственное, раздражающее действие тока на ткани, по которым он проходит.

Однако действие тока может быть не только прямым, но и рефлекторным, то есть осуществляться через центральную нервную систему. Ток может вызывать возбуждение и тех тканей, которые не находятся у него на пути. Проходя

через тело человека, он вызывает раздражение рецепторов – особых клеток, имеющих в большом количестве во всех тканях организма и обладающих высокой чувствительностью к воздействию факторов внешней и внутренней среды. Центральная нервная система перерабатывает нервный импульс и передает его к рабочим органам: мышцам, железам, сосудам, которые могут находиться вне зоны прохождения тока.

Различают два вида поражения электрическим током: **электрические травмы**, результатом которых являются внешние поражения тела – ожоги, электрические знаки, электрометаллизация кожи, механические повреждения, электроофтальмия, и **электрический удар**, связанный с поражением всего организма.

Электрический ожог возможен при прохождении через тело человека токов более 1 А. В тканях, по которым проходит ток, выделяется некоторое количество теплоты, пропорциональное приложенному напряжению и протекающему току. При нагреве тканей до температуры 60–70°C происходит свертывание белков и возникает ожог. Такие ожоги проникают глубоко в ткани и могут привести к частичной или полной инвалидности. Возможны также ожоги электрической дугой, возникающей в электроустановках напряжением 35 кВ и выше между токоведущими частями электроустановки и телом человека при приближении на опасное расстояние, а также электрической дугой, возникающей в электроустановках до 1000 В между токоведущими частями и человеком, попадающим в зону действия этой дуги.

Электрические знаки возникают в местах контакта с токоведущими частями. Они представляют собой затвердевшую в виде мозоли кожу серого или желтовато-белого цвета. Края электрического знака резко очерчены белой или серой каймой. Электрические знаки безболезненны, но при глубоких поражениях больших участков тканей могут привести к нарушению функций пораженного органа.

Электрометаллизация кожи – проникновение под поверхность кожи частиц металла вследствие разбрызгивания и испарения под действием тока (например, при возникновении электрической дуги) или электролиза в местах соприкосновения с токоведущими частями электрооборудования. Со временем поврежденный участок кожи восстанавливается и болезненные явления исчезают.

Электроофтальмия – поражение глаз в результате воздействия ультрафиолетового излучения электрической дуги или ожогов.

Электрический удар наблюдается при воздействии малых токов и небольших напряжений до 1000 В. Ток действует на нервную систему и на мышцы, при этом может возникнуть паралич пораженных органов.

Экспериментальные исследования показали, что человек начинает ощущать раздражающее действие переменного тока промышленной частоты силой 0,6–1,6 мА и постоянного тока 5–7 мА. Эти токи не представляют серьезной опасности для деятельности организма человека, и так как при такой силе тока возможно самостоятельное освобождение человека от контакта с токоведущими

ми частями, то допустимо его длительное протекание через тело человека.

В тех случаях, когда раздражающее действие тока становится настолько сильным, что человек не в состоянии освободиться от контакта, возникает опасность длительного протекания тока через тело человека. Длительное воздействие таких токов может привести к затруднению и нарушению дыхания. Для переменного тока промышленной частоты сила неотпускающего тока находится в пределах 6–20 мА и более. Постоянный ток не вызывает неотпускающего эффекта, а приводит к сильным болевым ощущениям, они возникают при прохождении тока 15–80 мА и более.

При протекании тока в несколько сотых долей ампера возникает опасность нарушения работы сердца. Может возникнуть фибрилляция сердца, то есть беспорядочные, некоординированные сокращения волокон сердечной мышцы, при этом сердце не в состоянии гнать кровь по сосудам, происходит остановка кровообращения. Фибрилляция длится, как правило, несколько минут, после чего происходит энергетическое истощение сердечной мышцы и следует полная остановка сердца. Как показывают экспериментальные исследования, пороговые фибрилляционные токи зависят от массы организма, длительности протекания тока и его пути. Верхний предел фибрилляционного тока – 5 А. Ток больше 5 А как переменный, так и постоянный вызывает немедленную остановку сердца, минуя состояние фибрилляции.

Кроме величины протекающего через тело человека тока в исходе поражения большое значение имеет его путь. Поражение будет более тяжелым, если на пути тока оказываются сердце, легкие, головной и спинной мозг.

В практике обслуживания электроустановок ток, протекающий через тело человека, попавшего под напряжение, идет чаще всего по пути «рука – рука» или «рука – нога». Возможных путей тока в теле человека (петли тока) достаточно много, причем наибольшую опасность представляют петли, проходящие через область сердца. При протекании тока по пути «нога – нога» через сердце проходит 0,4% общего тока, по пути «рука – рука» 3,3%, «левая рука – ноги» 3,7%, «правая рука – ноги» 6,7%, «голова – ноги» 6,8%, «голова – руки» 7%.

Сила неотпускающего тока по пути «рука – рука» приблизительно в два раза меньше, чем по пути «рука – нога».

Ток, протекающий через тело человека, попавшего под напряжение, зависит в первую очередь, от величины приложенного напряжения и длительности его воздействия. С увеличением напряжения и длительности его воздействия сопротивление тела человека уменьшается, что приводит к увеличению протекающего тока.

Основным сопротивлением в цепи тока через тело человека является верхний роговой слой кожи, толщина которого составляет 0,05–0,2 мм. Сопротивление внутренних тканей не превышает 800–1000 Ом.

Зависимость сопротивления тела человека от величины приложенного напряжения и величина протекающего тока приведены в табл. 10.1.

Зависимость сопротивления тела человека от величины приложенного напряжения и величины протекающего тока

Показатели	Зависимость величин					
Приложенное напряжение, В	6,0	18	75	80	100	175
Сопротивление тела человека, кОм	6,0	3,0	1,15	1,065	1,0	0,7
Ток, проходящий через человека, мА	1,0	6,0	65	75	100	250

Сопротивление тела человека изменяется в широких пределах в зависимости от состояния кожи (сухая, влажная, чистая, поврежденная и т. п.), плотности и площади контакта, времени воздействия тока и др.

Реальное сопротивление тела человека может быть от 1000 до 100 000 Ом. Для расчетов по электробезопасности принимают величину, равную 1000 Ом.

На опасность поражения электрическим током влияют индивидуальные особенности людей. Ток, вызывающий лишь слабые ощущения у одного человека, может быть неотпускающим для другого в зависимости от состояния нервной системы, массы тела, физического развития, пола и всего организма в целом. Установлено, что для женщин пороговые значения тока приблизительно в 1,5 раза ниже. У одного и того же человека пороговые значения тока изменяются в зависимости от состояния организма, нервной системы, утомления и т. п.

Опасность поражения электрическим током зависит также от частоты тока, переменный ток частотой 50 Гц является самым неблагоприятным. Установлено, что сила фибрилляционного тока при 400 Гц примерно в 3,5 раза больше, чем при частоте 50 Гц, поэтому повышение частоты тока применяют как одну из мер повышения электробезопасности.

Статистика электротравматизма показывает, что до 85% смертельных поражений людей электрическим током приходится в результате прикосновения пострадавшего непосредственно к токоведущим частям, находящимся под напряжением. При этом в сетях с номинальным напряжением до 1 кВ величина тока, протекающего через человека, а следовательно, и опасность поражения зависит от условий включения человека в электрическую цепь и характеристики сети (режима нейтрали).

Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются:

- на электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

Заземленной нейтралью называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Изолированной нейтралью называется нейтраль генератора или транс-

форматора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты и подобные устройства, имеющие большое сопротивление.

В электрических сетях напряжением до 1 кВ используются следующие системы.

1. **Система TN** – система, в которой нейтраль источника питания глухозаземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников.

Подразделяется на следующие подсистемы:

подсистема TN-C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рис. 10.1);

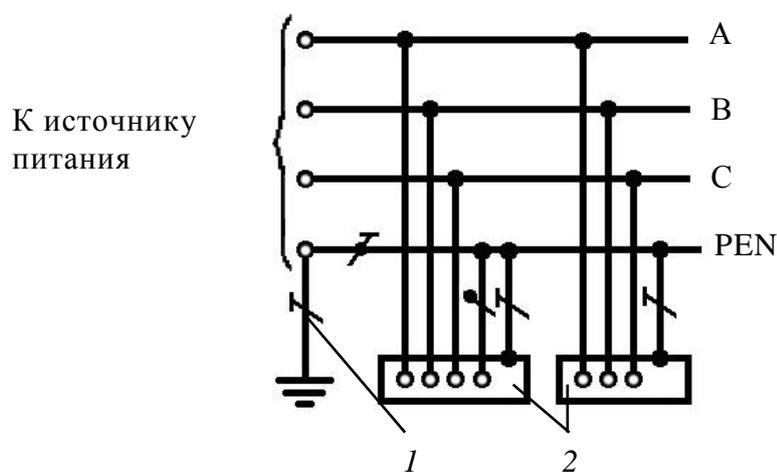


Рис. 10.1. Подсистема TN-C переменного тока:
1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;
2 – открытые проводящие части

подсистема TN-S – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рис. 10.2);

подсистема TN-C-S – система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рис. 10.3).

2. **Система IT** – система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (рис. 10.4).

3. **Система TT** – система, в которой нейтраль источника питания глухозаземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (рис. 10.5).

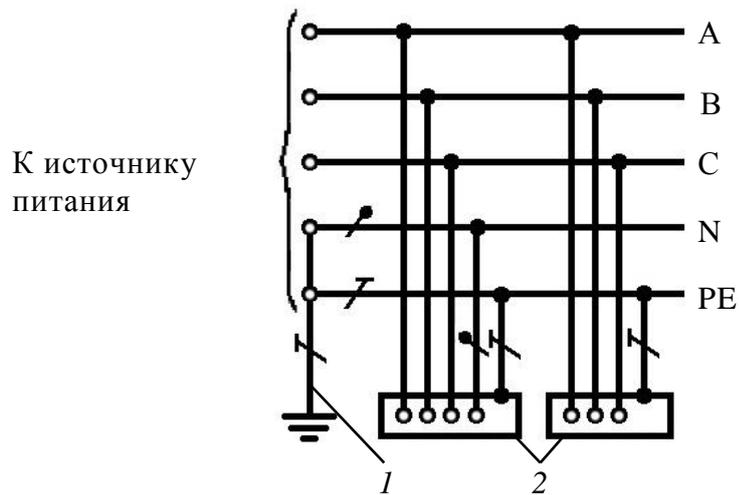


Рис. 10.2. Подсистема TN-S переменного тока:
 1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока;
 2 – открытые проводящие части

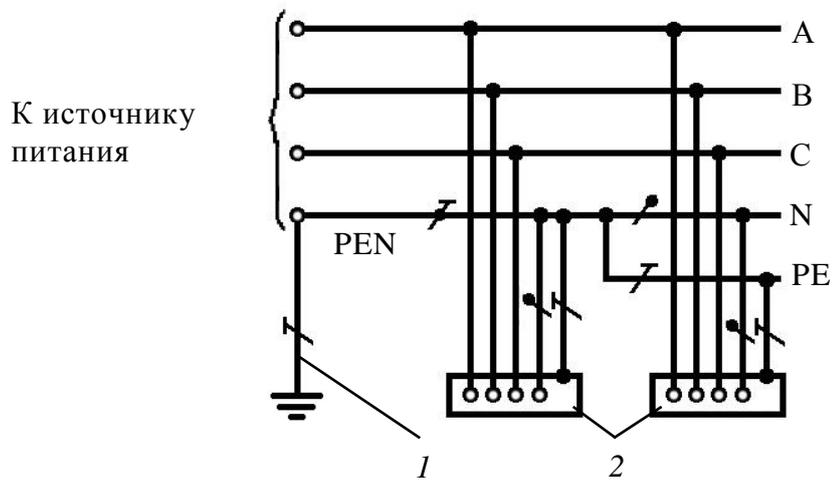


Рис. 10.3. Подсистема TN-C-S переменного тока:
 1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока;
 2 – открытые проводящие части

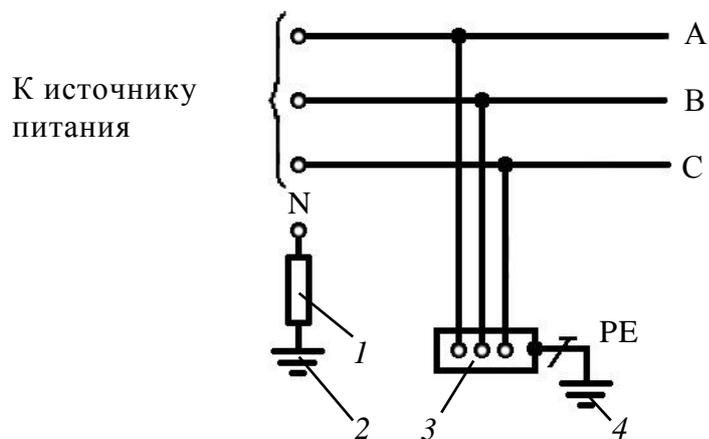


Рис. 10.4. Система IT переменного тока:
 1 – сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеется);
 2 – заземлитель; 3 – открытые проводящие части;
 4 – заземляющее устройство электроустановки

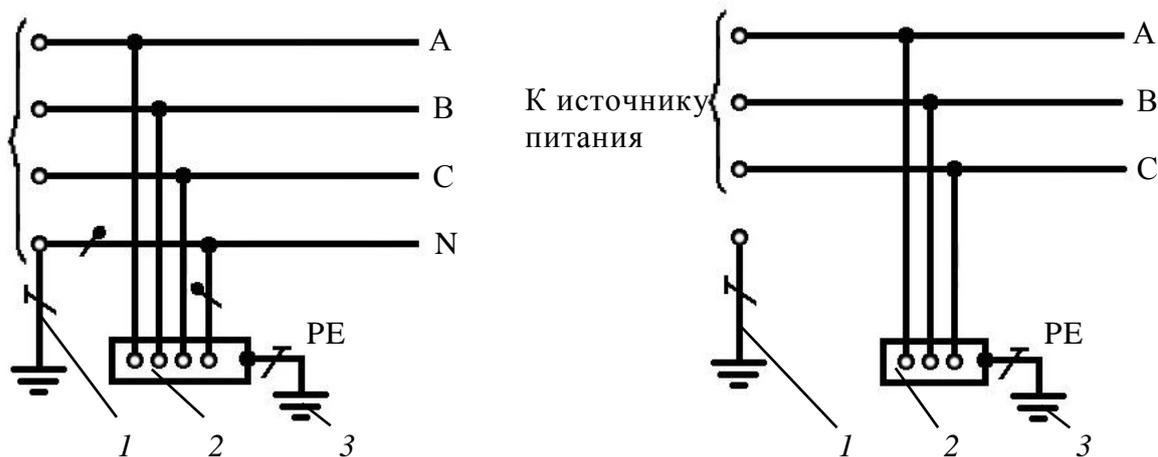


Рис. 10.5. Система ТТ переменного тока:

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 – открытые проводящие части; 3 – заземлитель открытых проводящих частей электроустановки

В названиях систем (подсистем) приняты следующие обозначения:

первая буква – состояние нейтрали источника питания относительно земли:

T – заземленная нейтраль; I – изолированная нейтраль;

вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли: T – открытые проводящие части заземлены независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети; N – открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания;

последующие (после N) буквы – совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников: S – нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены; C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (PEN-проводник);

N – $\overset{\curvearrowright}{/}$ – нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

PE – $\overline{/}$ – защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

PEN – $\overline{\curvearrowright}/$ – совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

Электроустановки напряжением до 1 кВ жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок должны, как правило, получать питание от источника с глухозаземленной нейтралью с применением системы TN. Для защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

Питание электроустановок напряжением до 1 кВ переменного тока от источника с изолированной нейтралью с применением системы IT следует выполнять, как правило, при недопустимости перерыва питания во время первого замыкания на землю или на открытые проводящие части, связанные с системой уравнивания потенциалов. В таких электроустановках для защиты при косвен-

ном прикосновении при первом замыкании на землю должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или применены УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА. При двойном замыкании на землю должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

Питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система TT), допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе TN не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением устройства защитного отключения (УЗО). О том, как работает УЗО подробно описано в лабораторной работе № 9.

Поражение электрическим током может произойти в следующих случаях: при однофазном прикосновении не изолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановки, находящимся под напряжением (прикосновение к одной из фаз, находящейся под напряжением); при приближении человека, не изолированного от земли, на опасное расстояние к токоведущим, не защищенным изоляцией частям электроустановок, находящихся под напряжением; при прикосновении человека, не изолированного от земли, к корпусам электрических машин, трансформаторов, светильников и другим металлическим нетокковедущим частям оборудования, которые могут оказаться под напряжением при замыкании одной из фаз на корпус; при освобождении другого человека, находящегося под напряжением; при контакте с двумя точками в поле растекания тока, имеющими разные потенциалы (включение под напряжение шага); при двухфазном прикосновении (одновременное прикосновение к двум неизолированным частям электроустановки, находящимся под напряжением разных фаз).

Поражение человека при случайном прикосновении к токоведущим частям электрической сети зависит от схемы прикосновения человека, напряжения сети, схемы самой сети, режима нейтрали сети, качества изоляции токоведущих частей от земли, емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Наибольшую опасность представляет двухфазное прикосновение.

При двухфазном (двухполюсном) прикосновении (рис. 10.6), независимо от вида сетей, человек попадает под полное линейное (рабочее) напряжение сети и величина тока, проходящего через тело человека, зависит только от напряжения сети и сопротивления тела человека:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{чел}}}, \quad (10.1)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети, В; $R_{\text{чел}}$ – условное сопротивление тела человека, 1000 Ом.

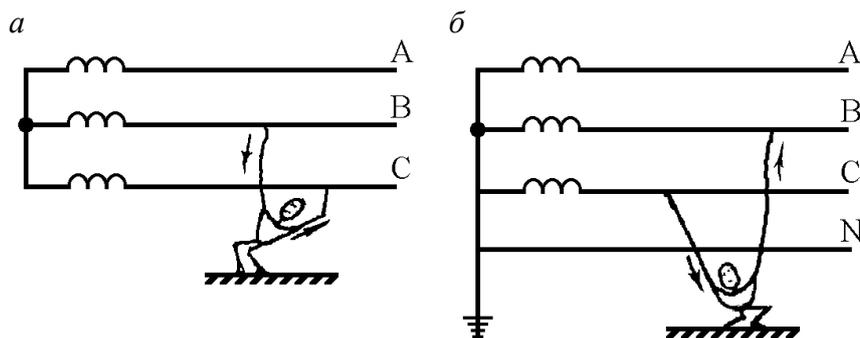


Рис. 10.6. Схема двухфазного включения человека в электрическую сеть:
a – сеть с изолированной нейтралью; *б* – сеть с глухозаземленной нейтралью

При однофазном включении в сеть с изолированной нейтралью (рис. 10.7, *a*) величина тока, проходящего через человека, определяется по формуле

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot (R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + (R_{\text{из}}/3))}, \quad (10.2)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение, В; $R_{\text{чел}}$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом; $R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом; $R_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции фаз, Ом.

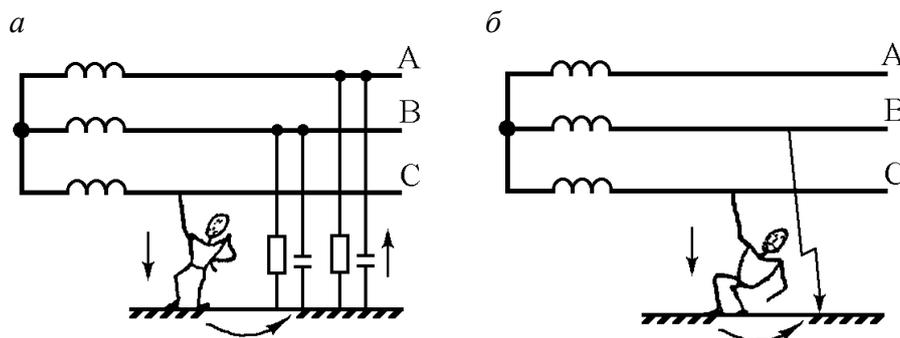


Рис. 10.7. Схема однофазного включения в сеть с изолированной нейтралью:
a – при хорошей изоляции; *б* – при аварийном режиме

Условия безопасности в этом случае находятся в прямой зависимости от сопротивления изоляции фаз относительно земли: чем лучше изоляция, тем меньше ток, протекающий через человека.

Однако в аварийном режиме, когда одна из фаз замыкает на землю или корпус оборудования (рис. 10.7, *б*) или сопротивление изоляции мало, человек может оказаться под полным линейным напряжением:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}}}, \quad (10.3)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение, В; $R_{\text{чел}}$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом; $R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом.

При однофазном включении в сеть с заземленной нейтралью (рис. 10.8) человек попадает под фазное напряжение независимо от величины сопротивления изоляции фаз.

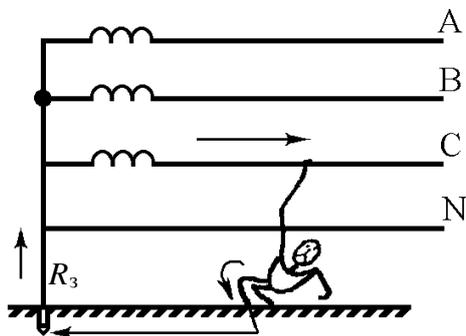


Рис. 10.8. Схема однофазного включения в сеть с заземленной нейтралью

Величина тока, проходящего через человека, в этом случае определяется по формуле

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_{\text{з}}}, \quad (10.4)$$

где $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, В; $R_{\text{чел}}$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви, Ом; $R_{\text{п}}$ – сопротивление пола, Ом; $R_{\text{з}}$ – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

Условия электробезопасности зависят и от параметров окружающей среды (влажность, температура, наличие токопроводящей пыли, материал пола и др.).

Тяжесть поражения током зависит от плотности и площади контакта человека с частями, находящимися под напряжением. Наличие заземленных металлических конструкций и полов приводит к тому, что человек практически постоянно связан с одним полюсом (землей) электроустановки. В этом случае любое прикосновение человека к токоведущим частям сразу приводит к двухполюсному включению его в электрическую цепь. Токоведущая пыль и влага создают дополнительные условия для электрического контакта, как с токоведущими частями, так и с землей.

В процессе эксплуатации электроустановок может возникнуть замыкание на корпус установки. Под **замыканием на корпус** понимают случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки. Замыкание на корпус может быть результатом случайного касания токоведущей части корпуса машины, повреждения изоляции, падения провода, находящегося под напряжением, на нетоковедущие металлические части и т. п.

Если корпус электроустановки имеет связь с землей через специальное заземляющее устройство или фундамент, то в этом случае в сети с изолированной нейтралью в точке замыкания на землю протекает ток, обусловленный сопротивлением изоляции других исправных фаз. На земле (полу) возникает поле растекания тока.

На поверхности земли точки с одинаковым потенциалом будут иметь вид концентрических окружностей с центром в месте замыкания на землю. Потенциал точек, находящихся на расстоянии 20 м и более от места замыкания принимается равным нулю. Наибольший потенциал будет в точке замыкания на землю. Характер изменения потенциала в поле растекания тока имеет гиперболическую зависимость (рис. 10.9).

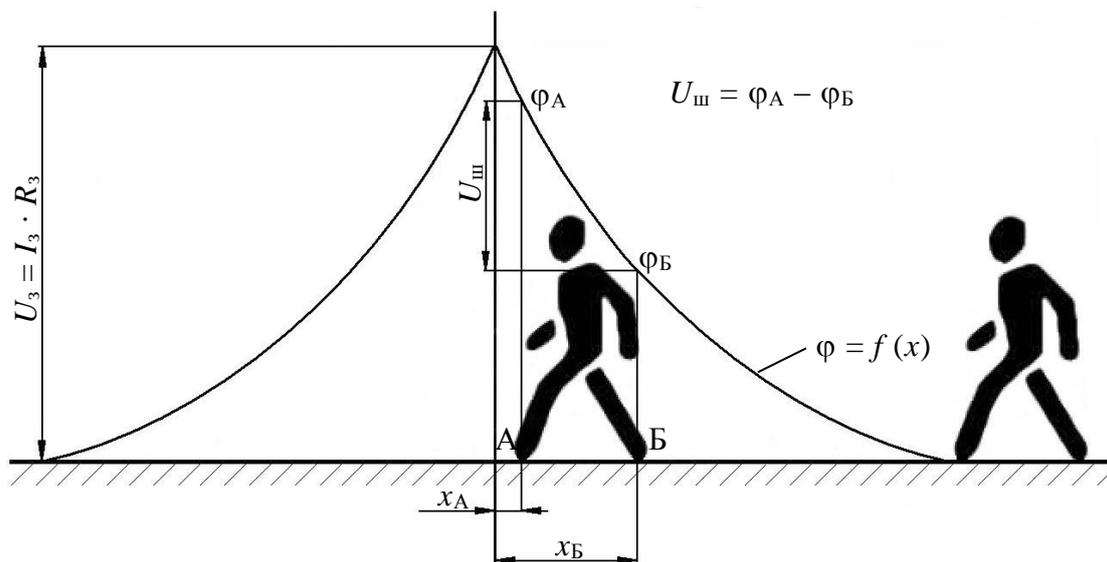


Рис. 10.9. Характер изменения потенциала в поле растекания тока: φ_A – потенциал в точке А; φ_B – потенциал в точке Б; $U_{ш}$ – шаговое напряжение

Напряжение на корпусе оборудования U_k относительно точки с нулевым потенциалом будет равно напряжению на заземлителе U_3 :

$$U_k = U_3 = I_3 \cdot R_3, \quad (10.5)$$

где I_3 – ток замыкания на землю, А; R_3 – сопротивление заземляющего устройства, Ом.

Человек, находящийся в зоне растекания тока и касающийся при этом корпуса оборудования, оказывается под напряжением прикосновения, величина которого зависит от разности потенциалов точки, на которой стоят ноги человека и точки замыкания на землю. С увеличением расстояния до точки замыкания сети на землю напряжение прикосновения увеличивается.

Находясь в зоне растекания тока замыкания на землю, человек оказывается под напряжением шага. **Напряжением шага** называется разность потенциалов двух точек в поле растекания тока, находящихся на расстоянии 0,8 м друг от друга (расстояние шага). Величина напряжения шага и напряжения прикосновения зависит от формы потенциальной кривой, расстояния до места замыкания, сопротивления обуви. Наибольшая величина напряжения шага будет вблизи заземлителя, особенно если человек одной ногой стоит над заземлителем (точка с максимальным потенциалом равным U_3), а второй – на расстоянии шага от заземлителя. Напряжение шага будет равно нулю, если обе ноги человека находятся на эквипотенциальной линии (на точках с одинаковым потенциалом). В элек-

трических сетях напряжением до 1 кВ на расстоянии более 5 м напряжение шага практически не ощущается.

Для предотвращения поражений человека электрическим током при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся в результате аварии под напряжением, применяют различные меры защиты: защитное заземление, зануление, защитное отключение, выравнивание потенциалов и др.

В сетях с напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью (системы IT) применяется защитное заземление (рис. 10.10). **Защитное заземление** – преднамеренное электрическое соединение металлических токопроводящих нетоковедущих частей оборудования (корпусов) с землей через естественные или искусственные заземлители.

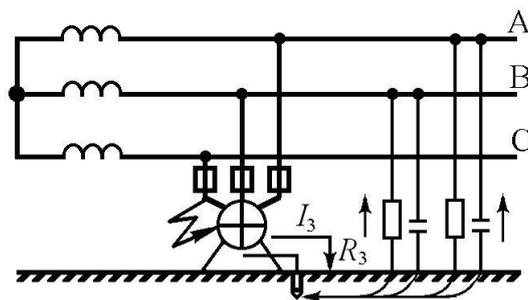


Рис. 10.10. Схема защитного заземления оборудования

Ток замыкания на землю в таких сетях не превышает 10 А.

В соответствии с ТКП 339-2011 сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом. Напряжение, под которое может попасть человек в результате замыкания на корпус, определяется по формуле

$$U = I_3 \cdot R_3, \quad (10.6)$$

где I_3 – ток замыкания на землю, А; R_3 – сопротивление заземляющего устройства, Ом.

В сетях с заземленной нейтралью заземление как средство защиты не применяется.

В этих сетях напряжение замкнувшей фазы распределяется между сопротивлениями заземления нейтрали и заземления оборудования. Отсюда напряжение на заземленном оборудовании относительно земли зависит только от отношения этих сопротивлений:

$$U = \frac{U_\phi \cdot R_3}{R_0 + R_3}, \quad (10.7)$$

где R_3 – сопротивление заземления оборудования, Ом; R_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

Если $R_3 = R_0$, то $U = 0,5 \cdot U_\phi$, В.

Следовательно, защитное заземление оборудования в сети с заземленной нейтралью безопасность не обеспечивает.

Для защиты от поражения электрическим током в сетях с заземленной нейтралью (системы TN) применяется зануление (рис. 10.11).

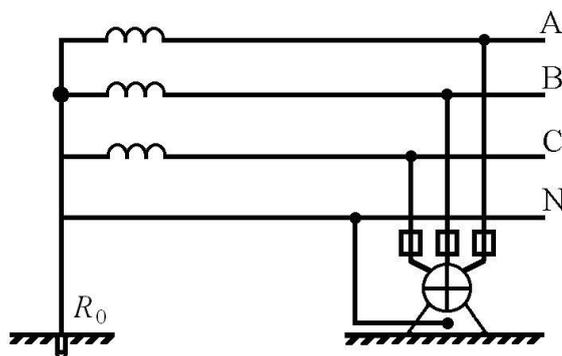


Рис. 10.11. Схема зануления оборудования

Занулением называется преднамеренное соединение металлических частей, корпусов оборудования, аппаратов, приборов, нормально не находящихся под напряжением, с нулевым проводом.

Основная задача зануления состоит в том, чтобы превратить замыкание фазы на корпус в однофазное короткое замыкание и вызвать тем самым отключение поврежденного оборудования от сети. В течение всего времени, пока не сгорел предохранитель или не сработал автомат защиты, замыкание на один зануленный корпус вызывает на всем зануленном оборудовании напряжение U (относительно земли), опасное для человека, которое определяется по формуле

$$U = I_3 \cdot R_n = \frac{U_\phi}{R_n + R_\phi} \cdot R_n = \frac{U_\phi}{1 + (R_\phi / R_n)}, \quad (10.8)$$

где I_3 – ток короткого замыкания, А; R_n – сопротивление нулевого провода, Ом; R_ϕ – сопротивление фазного провода, Ом.

При отношении $\frac{R_\phi}{R_n} = 0,5$ $U = \frac{220}{1 + 0,5} = 146$ В.

Безопасность может быть достигнута лишь при весьма кратковременном действии тока, т. е. при быстром срабатывании защиты.

В системе TN время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение, В	120	230	400	более 400
Время отключения, с	0,8	0,4	0,2	0,1

2. Экспериментальная часть

2.1. Описание лабораторного стенда «Электробезопасность»

Лицевая панель стенда представляет собой отдельные фрагменты электрических схем, исследуемых в процессе выполнения лабораторной работы.

Лицевая панель разделена на функциональные блоки (рис. 10.12):

1 – блок включения питания от сети, устройство защитного отключения (УЗО) с автоматическим выключателем, с возможностью выбора типа заземления нейтрали сети (глухозаземленная или изолированная нейтраль), с регуляторами параметров;

2 – блок по исследованию сопротивления человека на переменном токе;

3 – блок по исследованию поражения электрическим током при работе с инструментом с рабочей и двойной изоляцией, при наличии и отсутствии заземляющего провода, с применением УЗО и без него;

4 – блок по исследованию тока, проходящего через тело человека при различных вариантах соприкосновения с токоведущими проводниками и заземленным оборудованием.

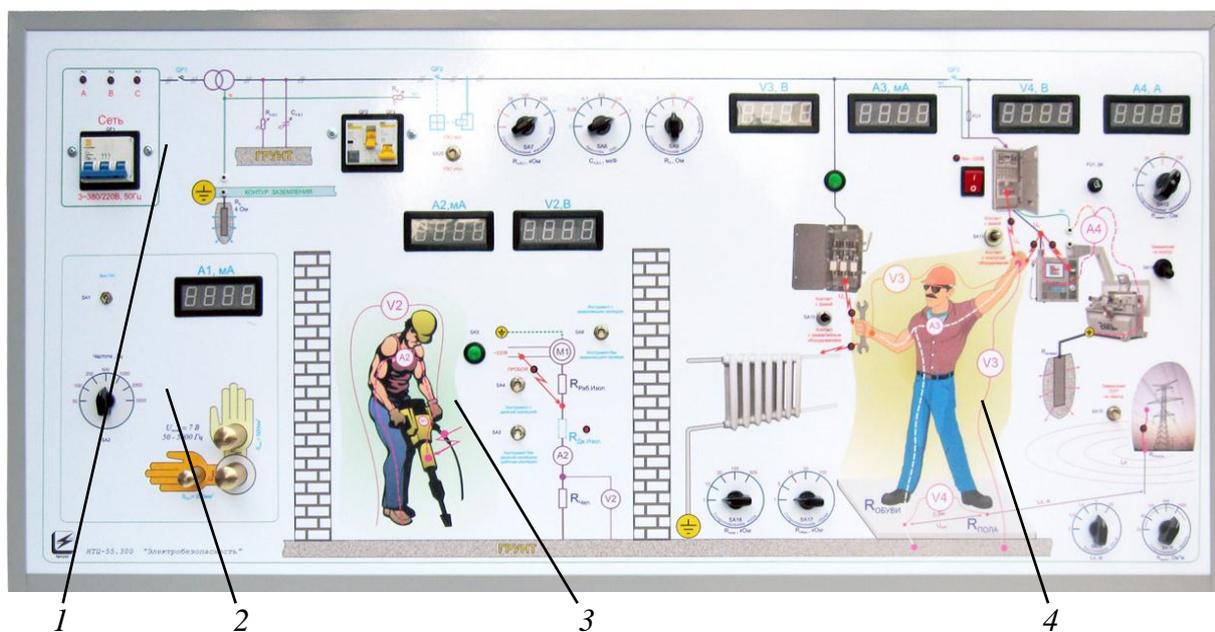


Рис. 10.12. Лицевая панель стенда «Электробезопасность»:

- 1 – блок включения питания; 2 – блок по исследованию сопротивления человека;
3 – блок по исследованию поражения электрическим током при работе с инструментом;
4 – блок по исследованию тока, проходящего через тело человека при различных вариантах соприкосновения с токоведущими проводниками и заземленным оборудованием

Включение электрических схем производится переключателем, расположенным в данной цепи. Все переключатели, не относящиеся к исследуемой цепи должны находиться в положении «выключено», а в гнездах не участвующих блоков, должны отсутствовать перемычки.

Блок включения питания от сети 1 (рис. 10.12), УЗО с автоматическим выключателем, с возможностью выбора типа заземления нейтрали сети, с регуля-

торами параметров предназначен для включения питания стенда и подачи питания в распределенную сеть предприятия. УЗО – «QF2», автомат включения в цепи замыкания на корпус – «QF3».

Пара гнезд позволяет определять схему включения нейтрали: глухозаземленная или изолированная нейтраль. Галетный переключатель «SA9» позволяет изменять сопротивление нулевого провода. Сопротивление изоляции ЛЭП и емкость ЛЭП относительно земли определяется галетными переключателями «SA6» и «SA7» (для схемы с изолированной нейтралью).

Блок по исследованию сопротивления человека 2 (рис. 10.12) на переменном токе состоит из генератора низкой частоты ГНЧ и служит для исследования зависимости сопротивления тела человека от частоты тока и площади контакта (250 или 500 мм²).

Включение питания ГНЧ осуществляется выключателем «SA1». Переключателем «SA2» производится ступенчатое изменение частоты импульсов 50 Гц/100 Гц/200 Гц/500 Гц/1000 Гц/2000 Гц/5000 Гц. Площадь контакта изменяется соприкосновением с нужной парой электродов, выделенных символическим рисунком ладони с указанием площади контакта. Напряжение соприкосновения составляет приблизительно 7 В. Ток через тело человека отображается на индикаторе «A1» в миллиамперах.

Блок по исследованию поражения электрическим током при работе с инструментом 3 (рис. 10.12) с рабочей и двойной изоляцией, при наличии и отсутствии заземляющего провода, с применением УЗО и без него служит для проведения исследований величины тока, протекающего через тело человека при поражении электрическим током при пробое изоляции. Блок позволяет выбирать тип изоляции инструмента: рабочая или двойная; схему подключения инструмента: с заземляющим проводом или без заземляющего провода; схему защиты: УЗО включено или отключено.

Включение питания схемы осуществляется выключателем с подсветкой «SA3». Режим пробоя включается выключателем «SA4» «ПРОБОЙ». Выбор типа изоляции инструмента производится переключателем «SA5». Выбор схемы подключения инструмента – переключателем «SA6». Режим работы УЗО определяется положением выключателя «SA20».

Величина напряжения соприкосновения и тока через тело человека отображается на индикаторах «A2» (в миллиамперах) и «V2» (в вольтах).

Блок по исследованию тока, проходящего через тело человека при различных вариантах соприкосновения с токоведущими проводниками и заземленным оборудованием 4 (рис. 10.12) служит для исследования величины тока, протекающего через тело человека при соприкосновении с токоведущими проводниками. В блоке предусмотрено изменение варианта соприкосновения с токоведущими проводниками: попадание на межфазное напряжение – «SA10», «SA11» вверх («Контакт с фазой»); контакт с фазой и заземленным корпусом – «SA10» вниз («Контакт с заземленным оборудованием»), «SA11» вверх («Контакт с фазой»); контакт с фазой без других соприкосновений – «SA11» вверх («Контакт с фазой»).

Сопротивление пола и обуви изменяется галетными переключателями «SA16» и «SA17». Напряжение соприкосновения отображается на индикаторе «V3», а ток через тело человека – «A3».

Включение схемы производится клавишными выключателями, изображенными рядом с рисунками силовых щитов. Их включенное состояние индицируется свечением дублирующих светодиодов.

Также в блоке предусмотрено исследование тока замыкания при пробое на заземленный корпус оборудования и величины напряжения соприкосновения с корпусом этого оборудования при пробое и тока через тело человека при этом. С помощью пары гнезд можно определять схему заземления: с дополнительным подключением к контуру заземления или без него. Галетный переключатель «SA12» позволяет изменять сопротивление заземления. Ток замыкания отображает индикатор «A4» (в амперах).

2.2. Подготовка лабораторного стенда к работе

1. Вилку кабеля питания включить в розетку электросети 380 В, 50 Гц (справа от стенда).

2. Проверить исходные положения тумблеров и автоматов на панели стенда:

«SA1» – вниз («Выкл»);

«SA3» – «Откл»;

все клавишные выключатели – «Выкл»;

«SA4» – вниз («Выкл»);

«QF2» – вниз («Выкл»);

«QF3» – вниз («Выкл»);

«SA7» – «∞»;

«SA8» – «0»;

«SA10» и «SA11» – среднее положение;

«SA14» – вниз («Выкл»);

«SA15» – вниз («Выкл»).

3. Включить автомат «Сеть» – «QF1». Через несколько секунд на индикаторах высветятся нулевые показания – изделие подготовлено к выполнению лабораторных работ.

Уточнить у преподавателя, какие исследования необходимо провести!

2.3. Исследование сопротивления человека на переменном токе

Установить галетным переключателем «SA2» частоту ГНЧ «50Гц». Включить тумблер «SA1» – «Вкл. ГНЧ» (вверх). Для исследования при площади контакта 250 мм² плотно приложить левую или правую руку к двум нижним электродам (разного диаметра) соединенным символическим рисунком ладони желто-оранжевого цвета (рис. 10.13а). Не меняя положения ладони изменять частоту галетным переключателем «SA2» и зафиксировать показания тока на инди-

катере «A1, мА» для каждого значения частоты (от 50 Гц до 5000 Гц). Данные занести в таблицу 10.3.

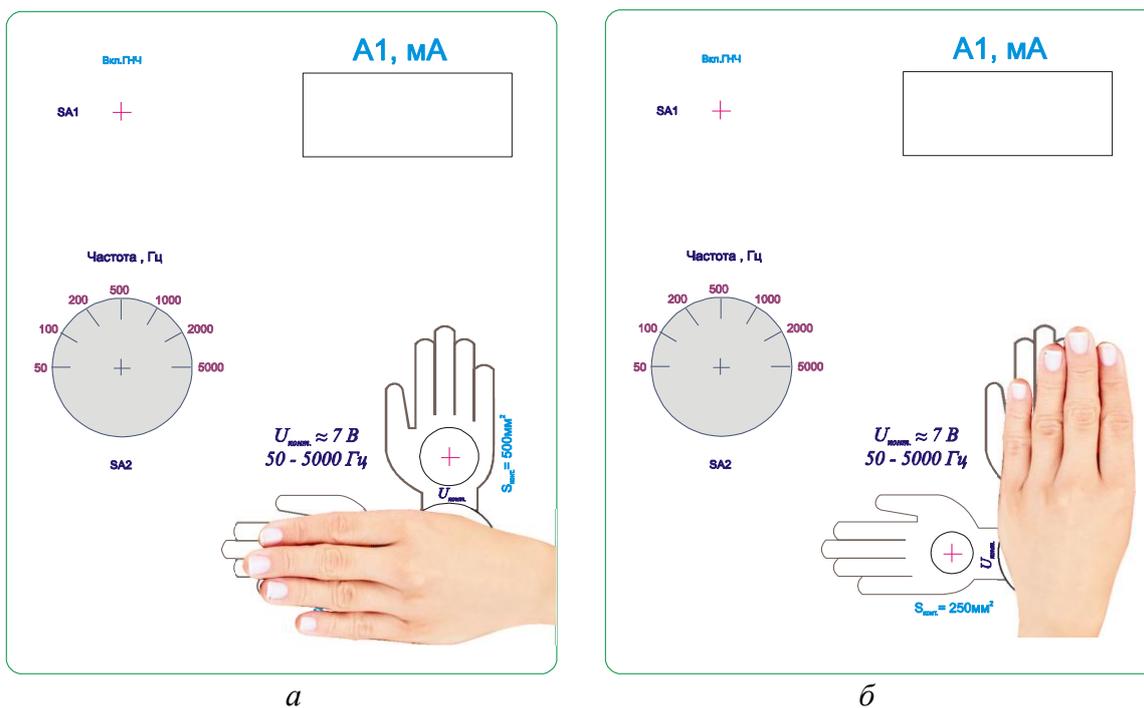


Рис. 10.13. Исследование сопротивления человека на переменном токе:
 а – при площади контакта 250 мм²; б – при площади контакта 500 мм²

Таблица 10.3

Результаты исследований сопротивления человека на переменном токе

Площадь контакта, мм ²	Частота тока, Гц	Ток, проходящий через человека, мА	Сопротивление человека, Ом
250	50		
	100		
	200		
	500		
	1000		
	2000		
	5000		
500	50		
	100		
	200		
	500		
	1000		
	2000		
	5000		

Повторить измерения, изменив площадь контакта на 500 мм², для чего левую или правую ладонь разместить вертикально, замыкая ею два электрода размещенных вертикально друг над другом, соединенных символическим рисунком ладони бледно-желто-лимонного цвета (рис. 10.13б). Данные занести в

таблицу 10.3. По окончании измерений выключить тумблер «SA1» – «Вкл. ГНЧ» (вниз).

По результатам измерений произвести расчеты сопротивления тела человека для каждого опыта и построить зависимости сопротивления тела от частоты тока.

Сопротивление тела человека $R_{ч}$, Ом, определяется по формуле

$$R_{ч} = \frac{U_{к}}{I_{ч}}, \quad (10.9)$$

где $U_{к}$ – напряжение соприкосновения (контакта), В, в расчетах принять равным 7 В; $I_{ч}$ – ток, проходящий через человека, А.

Сделать заключение о влиянии частоты тока на сопротивления кожи, определить есть ли зависимость сопротивления кожи от площади контакта.

2.4. Исследование поражения электрическим током при работе с электроинструментом

Проверить исходное положение органов управления станда (смотри п. 2.2). Включить станд автоматом «QF1» «Сеть». Установить тумблер «SA5» в нижнее положение «Инструмент без двойной изоляции (рабочая изоляция)», «SA6» – вниз «Инструмент без заземляющего провода», «SA20» – вниз «УЗО откл.» (рис. 10.14).

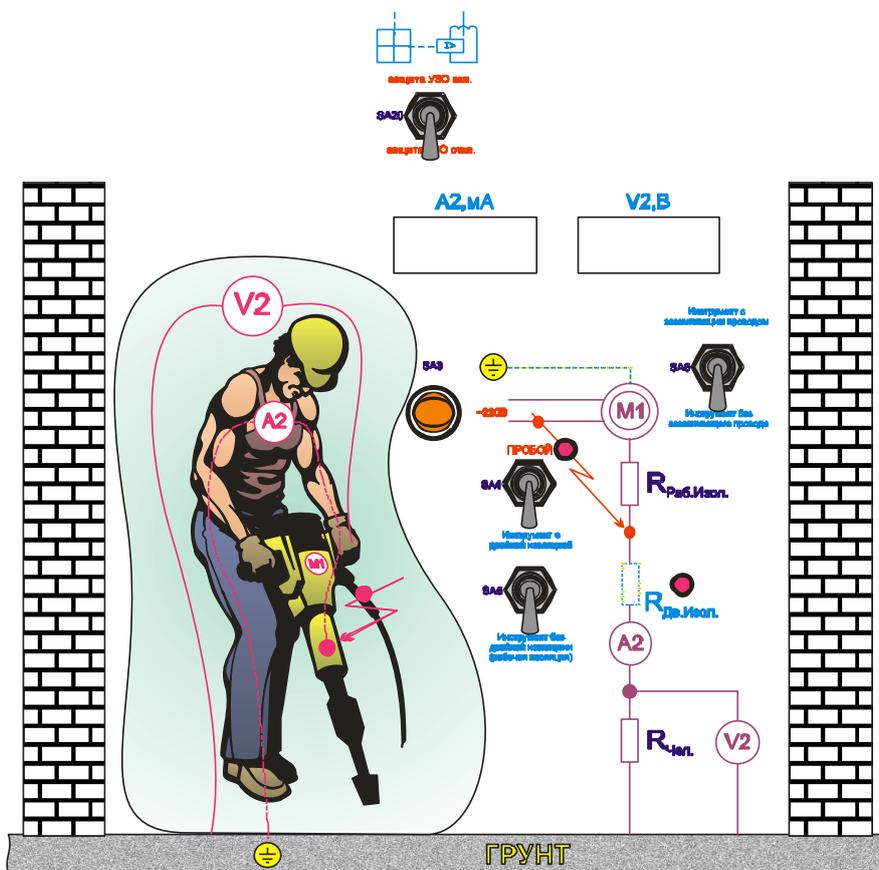


Рис. 10.14. Схема для исследования поражения электрическим током при работе с электроинструментом

Включить УЗО «QF2», включить клавишный выключатель «SA3». Включить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ», загорится одноименный светодиод. На индикаторах отобразится ток через тело человека «A2, мА» при пробое на корпус и напряжение соприкосновения «V2, В». Данные занести в таблицу 10.4. Рассчитать сопротивление тела человека по формуле (10.9). Отключить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ».

Таблица 10.4

Результаты исследований поражения электрическим током при работе с электроинструментом

Тип изоляции инструмента	Наличие заземляющего провода	Напряжение, В	Ток, мА	Сопротивление, Ом
без двойной изоляции	без заземляющего провода			
с двойной изоляцией	без заземляющего провода			
без двойной изоляции	с заземляющим проводом			
без двойной изоляции, с заземляющим проводом, защита УЗО включена				при допустимом сопротивлении (1–10 Ом) УЗО <hr/> (сработало, не сработало)
без двойной изоляции, с заземляющим проводом, защита УЗО включена				при недопустимом сопротивлении (20 Ом) УЗО <hr/> (сработало, не сработало)

Переключить тумблер «SA5» вверх «Инструмент с двойной изоляцией», загорится светодиод $R_{\text{Дв.Изол.}}$. Включить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ» и записать показания приборов в табл. 10.4. Обратит внимание на влияние наличия двойной изоляции на степень опасности поражения электрическим током при пробое изоляции.

Отключить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ». Вернуть тумблер «SA5» в нижнее положение «Инструмент без двойной изоляции (рабочая изоляция)». Включить тумблер «SA6» вверх «Инструмент с заземляющим проводом». Включить тумблер «SA4» «ПРОБОЙ» – зафиксировать сработало ли УЗО «QF2» и записать показания приборов в табл. 10.4.

Отключить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ». Включить выключатель «SA20 вверх» – «УЗО вкл.». Тумблер «SA6» оставить вверху «Инструмент с заземляющим проводом». Установить галетный переключатель «R₀» «SA9» в одно из положений «1–2–5–10 Ом». Включить тумблер «SA4» «ПРОБОЙ» – зафиксировать сработало ли УЗО «QF2». Отключить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ».

Переключить тумблер «SA5» вверх «Инструмент с двойной изоляцией». Включить УЗО «QF2». Включить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ». Отметить сработало ли УЗО «QF2». Отключить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ».

Установить галетный переключатель «R₀» «SA9» в положение «20 Ом». Включить УЗО «QF2». Включить тумблер «SA4» «ПРОБОЙ» – зафиксировать сработало ли УЗО «QF2». Отключить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ». Сделать заключение о влиянии сопротивления нулевого провода «R₀» на степень опасности поражения электрическим током при пробое изоляции.

По окончании измерений тумблеры «SA5» и «SA6» переключить вниз, «SA20» – вниз «УЗО откл.». Выключить УЗО «QF2» – вниз. Выключить клавишный выключатель «SA3». Установить галетный переключатель «R₀» «SA9» в положение «1 Ом».

2.5. Исследование тока, проходящего через тело человека при различных вариантах соприкосновения с токоведущими проводниками и заземленным оборудованием

Проверить исходное положение органов управления стенда (смотри п. 2.2). Включить стенд автоматом «QF1» «Сеть».

Соединить перемычкой нейтраль трансформатора с контуром заземления перемычкой «П1» – схема с глухозаземленной нейтралью (рис. 10.15).

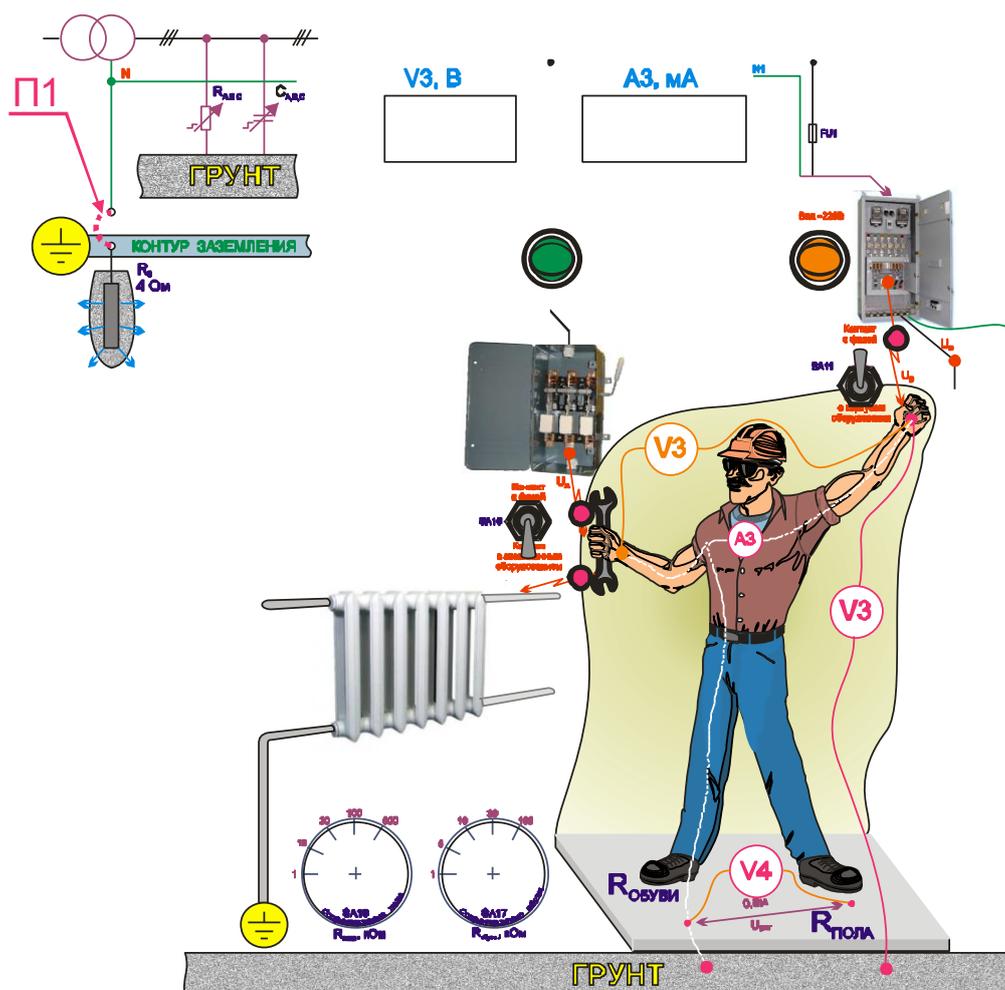


Рис. 10.15. Схема для исследования тока, проходящего через тело человека при различных вариантах соприкосновения с токоведущими проводниками и заземленным оборудованием поражения электрическим током

Установить тумблер «SA10» и «SA11» в среднее положение. Включить УЗО «QF2». Включить клавишный выключатель «Вкл.~220В». Установить тумблер «SA11» вверх «Контакт с фазой». Изменяя величину сопротивления пола и обуви галетными переключателями «SA16» и «SA17» занести показания индикаторов «V3, В» и «A3, мА» в табл. 10.5 для случая контакта с токоведущим проводником, где ток протекает через тело человека в землю.

Таблица 10.5

Результаты исследования тока, проходящего через тело человека при контакте с токоведущим проводником в сети с глухозаземленной нейтралью

Схема заземления нейтрали	$R_{\text{пола, кОм}}$	$R_{\text{обуви, кОм}}$	Напряжение, В	Ток, мА	Заключение об опасности поражения током	
с глухозаземленной нейтралью	30	30				
		10				
		5				
		1				
	10	30				
		10				
		5				
		1				
	1	30				
		10				
		5				
		1				

При максимальном значении тока и напряжения в теле человека («SA16» и «SA17» – в положении 1 кОм) вынуть перемычку «П1» – схема с изолированной нейтралью. Далее меняя величину емкости «SA8» и сопротивления изоляции «SA7» ЛЭП относительно земли снять показания приборов «V3, В» и «A3, мА». Занести показания индикаторов в табл. 10.6. По окончании измерений вернуть переключатели «SA7» и «SA8» в положение «1» и «0» соответственно. Сделать вывод о влиянии схемы включения нейтрали.

Вернуть перемычку «П1» – схема с глухозаземленной нейтралью. Включить круглый клавишный выключатель. Установить тумблер «SA10» в нижнее положение «Контакт с заземленным оборудованием» провести измерения при различных сопротивлениях пола «SA16» и обуви «SA17». Убедиться в увеличении тока и напряжения и независимости поражающего тока от величин сопротивления пола и обуви. Занести показания индикаторов в табл. 10.7.

Установить тумблер «SA10» в верхнее положение «Контакт с фазой» и повторить измерения при различных сопротивлениях пола и обуви. Занести показания индикаторов в табл. 10.7. Убедиться в еще большем увеличении тока и напряжения и независимости поражающего тока от величин сопротивления пола и обуви. Сделать выводы об опасности одновременного контакта с различными фазными проводами и фазным проводом и заземленными корпусами оборудования.

Таблица 10.6

Результаты исследования тока, проходящего через тело человека при контакте с токоведущим проводником в сети с изолированной нейтралью

Схема заземления нейтрали	R_{ABC} , кОм	C_{ABC} , мкФ	Напряжение, В	Ток, мА	Заклучение об опасности поражения током	
с изолированной нейтралью $R_{\text{пола}} = 1 \text{ кОм}$ $R_{\text{обуви}} = 1 \text{ кОм}$	100	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	20	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	5	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	1	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				

Таблица 10.7

Результаты исследования тока, проходящего через тело человека при контакте с заземленным оборудованием и двумя разными фазами в сети с глухозаземленной нейтралью

Схема поражения электрическим током	$R_{\text{пола}}$, кОм	$R_{\text{обуви}}$, кОм	Напряжение, В	Ток, мА	Заклучение об опасности поражения током
Контакт с заземленным оборудованием	10	30			
		10			
	1	30			
		10			
Контакт с двумя разными фазами	10	30			
		10			
	1	30			
		10			

При максимальном значении тока и напряжения в теле человека («SA16» и «SA17» – в положении 1 кОм) вынуть перемычку «П1» – схема с изолированной нейтралью. Далее меняя величину емкости «SA8» и сопротивления изоляции «SA7» ЛЭП относительно земли снять показания приборов «V3, В» и «A3, мА». Занести показания индикаторов в табл. 10.8.

Установить тумблер «SA10» в нижнее положение «Контакт с заземленным оборудованием». Далее меняя величину емкости «SA8» и сопротивления изоля-

ции «SA7» ЛЭП относительно земли снять показания приборов «V3, В» и «A3, мА». Занести показания индикаторов в табл. 10.9.

Таблица 10.8

Результаты исследования тока, проходящего через тело человека при контакте с двумя разными фазами в сети с изолированной нейтралью

Схема заземления нейтрали	R_{ABC} , кОм	C_{ABC} , мкФ	Напряжение, В	Ток, мА	Заключение об опасности поражения током	
с изолированной нейтралью $R_{\text{пола}} = 1 \text{ кОм}$ $R_{\text{обуви}} = 1 \text{ кОм}$	100	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	20	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	5	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	1	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				

Таблица 10.9

Результаты исследования тока, проходящего через тело человека при контакте с фазой и заземленным оборудованием в сети с изолированной нейтралью

Схема заземления нейтрали	R_{ABC} , кОм	C_{ABC} , мкФ	Напряжение, В	Ток, мА	Заключение об опасности поражения током	
с изолированной нейтралью $R_{\text{пола}} = 1 \text{ кОм}$ $R_{\text{обуви}} = 1 \text{ кОм}$	100	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	20	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	5	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	1	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				

Таблица 10.10

Результаты исследования тока, проходящего через тело человека при соприкосновении с корпусом заземленного оборудования при замыкании фазы на него в сети с глухозаземленной нейтралью

Схема заземления нейтрали	$R_{\text{пола}}$ кОм	$R_{\text{обуви}}$ кОм	$R_{\text{заземл}}$ Ом	Напряжение, В	Ток, мА	Заключение об опасности поражения током	
с глухозаземленной нейтралью	1	1	4				
			10				
			20				
			40				
			100				
	1	1	1	100			
			5				
			10				
			30				
	10	1	1				
			5				
			10				
			30				
	30	1	1				
			5				
			10				
			30				

При положении «SA12» в положении «100 Ом» изменяя сопротивление пола «SA16» и обуви «SA17» в сторону увеличения убедиться в уменьшении тока и напряжения, действующих на человека. Занести показания индикаторов в табл. 10.10. Выключить тумблер «SA14». Вернуть «SA16», «SA17» в положение «1 кОм».

Удалить перемычку – схема с изолированной нейтралью. Включить тумблер «SA14» вверх «Замыкание на корпус». Изменяя поочередно сопротивление «SA7» и емкости «SA8» ЛЭП, а так же сопротивление пола «SA16» и обуви «SA17», зафиксировать показаний приборов «V3, В» и «A3, мА». Занести показания индикаторов в табл. 10.11. Выключить тумблер «SA14». Тумблеры «SA7», «SA8», «SA16» и «SA17» поставить в минимальное положение. Сделать выводы о влиянии величины сопротивления изоляции, емкости ЛЭП относительно земли и сопротивления пола и обуви на степень опасности поражения электрическим током при контакте с корпусом оборудования при замыкании фазы на корпус.

Результаты исследования тока, проходящего через тело человека при соприкосновении с корпусом заземленного оборудования при замыкании фазы на него в сети с изолированной нейтралью

Схема заземления нейтрали	R_{ABC} , кОм	C_{ABC} , мкФ	Напряжение, В	Ток, мА	Заключение об опасности поражения током	
с изолированной нейтралью $R_{\text{пола}} = 1 \text{ кОм}$ $R_{\text{обуви}} = 1 \text{ кОм}$	100	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	1	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
с изолированной нейтралью $R_{\text{пола}} = 10 \text{ кОм}$ $R_{\text{обуви}} = 5 \text{ кОм}$	100	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				
	1	0,1				
		0,2				
		0,5				
		1				

2.7. Исследование тока замыкания заземленного оборудования, при замыкании фазы на его корпус

Проверить исходное положение органов управления стенда (смотри п. 2.2). Включить стенд автоматом «QF1» «Сеть».

Соединить перемычкой «П1» нейтраль трансформатора с контуром заземления – схема с глухозаземленной нейтралью (рис. 10.17). Установить тумблер «SA11» «Контакт с корпусом оборудования» в нейтральное положение. Включить УЗО «QF2». Включить автомат «QF3». Установить переключатель «SA12» в положение «4 Ом». Включить тумблер «SA14» вверх «Замыкание на корпус». Зафиксировать показания прибора «А4, А». Занести показания индикаторов в табл. 10.12. При положении «SA12» «4 Ом» отметить срабатывание автомата «QF3» через непродолжительное время. После срабатывания автомата «QF3» отключать тумблер «SA14» «Замыкание на корпус», **делать паузу на 1–2 мин** перед повторным включением, а затем включать автомат и далее тумблер «SA14». Изменяя сопротивление заземления галетным переключателем «SA12» зафиксировать показания прибора «А4, А» и отметить увеличение времени срабатывания автомата «QF3». Сделать выводы о влиянии величины сопротивления заземления на ток замыкания и работу аппаратов защиты.

Повторить опыты при дополнительно установленной перемычке «П2», соединяющей корпус оборудования с контуром заземления «N1» для различных положений «SA12» и нескольких значений «Ro» («SA9»), зафиксировать показания прибора «А4, А». После срабатывания автомата «QF3» отключать тум-

блер «SA14» «Замыкание на корпус», делать паузу на 1–2 мин перед повторным включением, а затем включать автомат и далее тумблер «SA14».

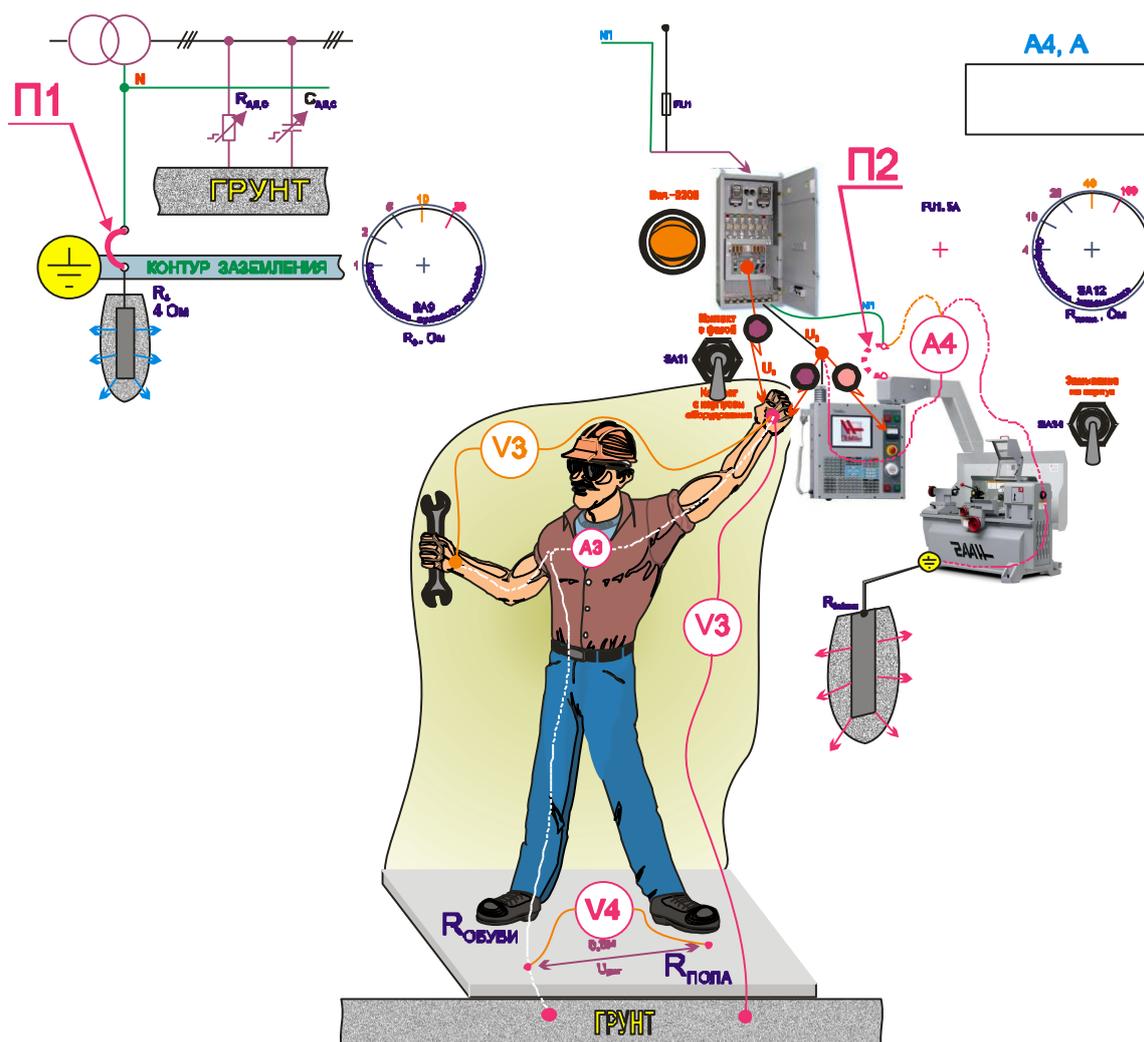


Рис. 10.17. Схема для исследования тока замыкания заземленного оборудования, при замыкании фазы на его корпус

Таблица 10.12

Результаты исследования тока замыкания заземленного оборудования, при замыкании фазы на его корпус

Схема заземления нейтрали	$R_{\text{заземл}}$ Ом	R_0 , Ом	Ток, А	Заключение о качестве защиты
с глухозаземленной нейтралью Перемычка «П2» - отсутствует	4	—		
	10	—		
	20	—		
	40	—		
	100	—		
с глухозаземленной нейтралью Перемычка «П2» - установлена	4	1		
	10	2		
	20	5		
	40	10		
	100	20		

2.8. Исследование явления «шагового напряжения» при замыкании фазы ЛЭП на землю

Проверить исходное положение органов управления стенда (смотри п. 2.2). Включить стенд автоматом «QF1» «Сеть».

Установить тумблер «SA11» вниз «Контакт с корпусом оборудования» (рис. 10.18). Включить УЗО «QF2». Установить переключатель «SA18» в положение «0», а переключатель «SA19» в положение «20». Включить тумблер «SA15» вверх «Замыкание ЛЭП на землю». Зафиксировать показания прибора «V4, В». Изменяя расстояние от точки замыкания ЛЭП на землю до человека, подверженного воздействию шагового напряжения $U_{\text{шаг}}$, галетным переключателем «SA18» и сопротивление грунта галетным переключателем «SA19» зафиксировать показания прибора «V4, В». Данные занести в табл. 10.13.

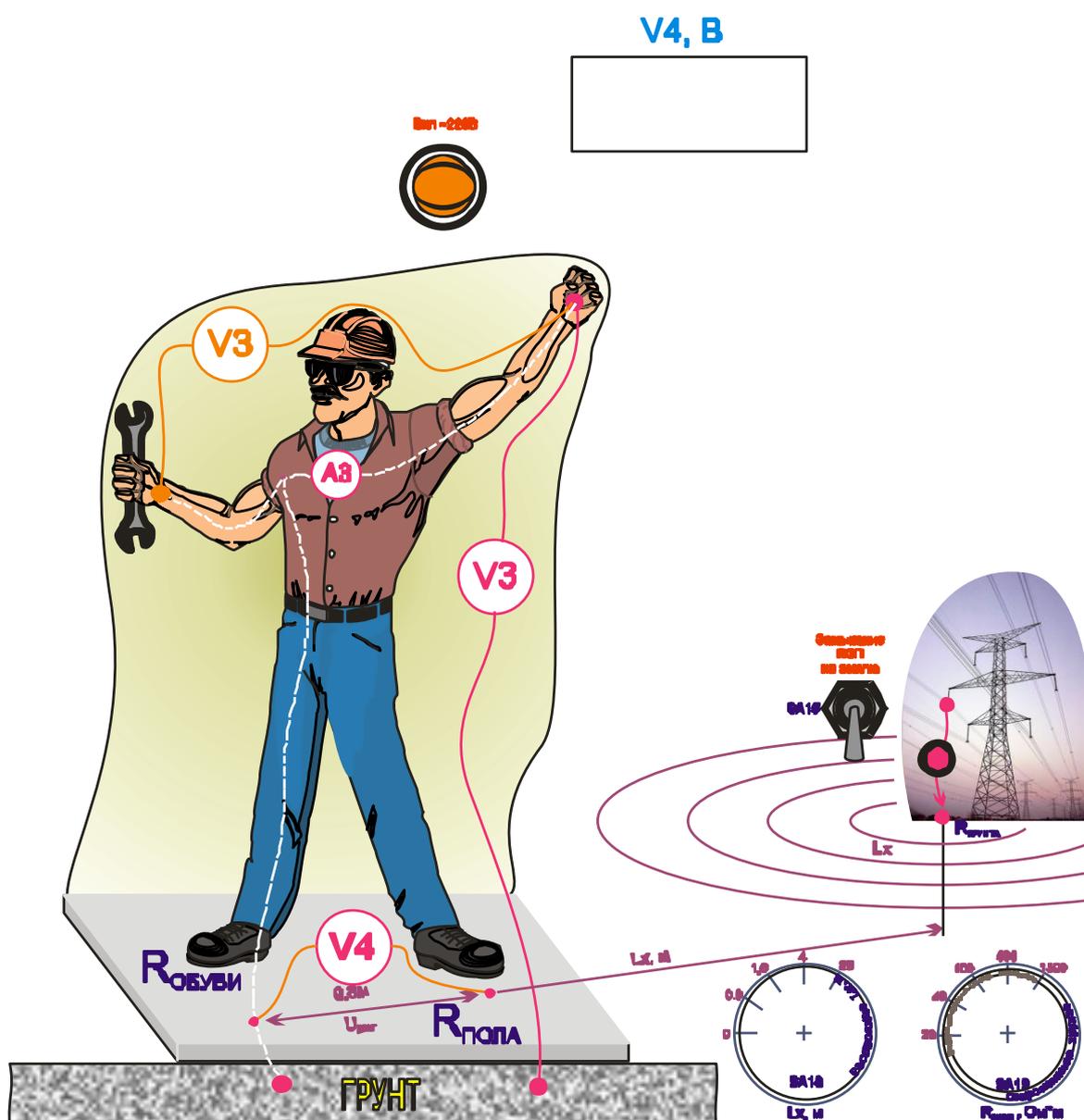


Рис. 10.18. Схема для исследования явления «шагового напряжения»
при замыкании фазы ЛЭП на землю

Результаты исследования явления «шагового напряжения»
при замыкании фазы ЛЭП на землю

$R_{\text{грунта}}$ Ом×м	L_x , м	Напряжение $U_{\text{шаг}}$, В	Заключение о степени опасности поражения электрическим током
20	0		
	0,8		
	1,6		
	4		
	20		
100	0		
	0,8		
	1,6		
	4		
	20		
500	0		
	0,8		
	1,6		
	4		
	20		
1500	0		
	0,8		
	1,6		
	4		
	20		

Сделать выводы о зависимости величины шагового напряжения от расстояния до места замыкания и сопротивления грунта и степени опасности поражения электрическим током при различных расстояниях от места замыкания и различных сопротивлениях грунта.

Контрольные вопросы

1. Какие виды воздействия оказывает электрический ток проходя через организм человека?
2. Назовите виды поражения электрическим током. Дайте их характеристику.
3. Какие факторы влияют на степень поражения человека электрическим током?
4. Дайте определения заземленной и изолированной нейтрали.
5. Какие системы используются в электрических сетях напряжением до 1 кВ?
6. В каких случаях возможно поражение электрическим током?
7. Какие схемы включения человека в электрическую сеть Вы знаете? Охарактеризуйте их последствия.
8. Какая из сетей менее опасна при однофазном включении в нее человека?

9. Дайте определение напряжения шага. В каком случае оно возникает?
10. В каких случаях применяется защитное заземление оборудования?
11. В чем заключается защитное действие заземления оборудования?
12. В каких сетях применяется зануление оборудования?
13. В чем заключается защитное действие зануления оборудования?

Литература

1. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний: ТКП 339-2011. – Введ. 01.12.11. – Минск: Минэнерго, 2011. – 593 с.

2. Челноков, А. А. Охрана труда: учебник / А. А. Челноков, И. Н. Жмыхов, В. Н. Цап; под общ. ред. А. А. Челнокова. – Минск: Выш. шк., 2011. – 671 с.

3. Гармаза, А. К. Охрана труда: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальностям лесного профиля / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик. – Минск: БГТУ, 2010. – 366 с.