

Лабораторная работа № 12

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 НТЦ-17.55.3 «Электробезопасность».

1. Общие положения

1.1. Основные причины поражения человека электрическим током

Широкое использование электрической энергии во всех отраслях промышленности и быта обуславливает значительную опасность поражения человека электрическим током. Статистический анализ травматизма показывает, что количество электротравм в промышленности составляет всего около 0,5–1,0% от всех травм, однако на них приходится 15–20% летального исхода, причем до 80–85% электротравм со смертельным исходом происходит в сетях с напряжением до 1000 В.

От поражений электрическим током чаще всего страдают электрики, строители и квалифицированные рабочие других специальностей. Обстоятельства и условия, при которых происходят электротравмы, очень разнообразны, но основной их причиной является несоблюдение требований электробезопасности.

Электротравмы могут быть следствием технических, организационных, организационно-технических и организационно-социальных причин.

К техническим причинам относятся:

- несовершенство конструкции электроустановки и средств защиты;
- недостатки при изготовлении, монтаже и ремонте электроустановки;
- неисправности электроустановок, возникающие в процессе их эксплуатации;
- неисправность защитных средств;
- несоответствие устройства электроустановок и защитных средств условиям их эксплуатации;
- использование электрозащитных средств с просроченной датой очередных испытаний.

К организационным причинам относятся:

- отсутствие (не назначение приказом) на предприятии лица, ответственного за электрохозяйство и электробезопасность, или несоответствие квалификации этого лица действующим требованиям;
- недостаточная укомплектованность электротехнической службы работниками соответствующей квалификации;

- отсутствие на предприятии должностных инструкций для электротехнического персонала и инструкций по безопасному обслуживанию и эксплуатации электроустановок, а также невыдача нарядов-допусков и распоряжений;
- недостаточная подготовленность персонала по вопросам электробезопасности, несвоевременная проверка знаний, несоответствие группы по электробезопасности характеру выполняемых работ;
- несоблюдение требований по безопасному выполнению работ в электроустановках;
- неэффективные надзор и контроль за соблюдением требований безопасности при выполнении работ в электроустановках и при их эксплуатации.

К организационно-техническим причинам относятся:

- невыполнение действующих требований по контролю параметров и освидетельствования технического состояния электроустановок;
- ошибки в снятии напряжения с электроустановок при выполнении в них работ;
- отсутствие ограждений или несоответствие их конструкции и размещения требованиям действующих ТНПА;
- отсутствие необходимых предупредительных и запретительных знаков и надписей;
- ошибки в установке и снятии переносных заземлений или их отсутствие.

Основными организационно-социальными причинами электро-травм являются:

- нарушение производственной дисциплины;
- вынужденное исполнение работ не по специальности;
- негативное отношение к выполняемой работе, обусловленное социальными и другими причинами;
- привлечение к сверхурочным работам;
- привлечение к работе лиц моложе 18 лет.

Непосредственные причины попадания людей под напряжение следующие:

- прикосновение к незаизолированным (или с поврежденной изоляцией) токоведущим частям электроустановок, находящимся под напряжением (**прямое прикосновение**);
- прикосновение к нетоковедущим частям электроустановок или к электрически связанным с ними металлоконструкциям, оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции (**косвенное прикосновение**);
- шаговое напряжение;
- поражение из-за возникновения электрической дуги;
- появление напряжения на отключенных токоведущих частях установки, проводах во время ремонтов и осмотров и др.

1.2. Действие электрического тока на организм человека. Факторы, влияющие на исход поражения током

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое, биологическое и механическое 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 т. ч. и крови, что сопровождается значительными нарушениями их физико-химического состава.

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.

Механическое действие тока выражается в разрыве, расслоении и других повреждениях различных тканей организма, в т. ч. мышечной ткани, стенок кровеносных сосудов, сосудов легочной ткани и др.

Под действием электрического тока в организме человека происходит целый комплекс изменений. В зависимости от времени воздействия электрического тока и его поля возникают мгновенные и продолжительные электротравмы. К первым относят электротравмы, полученные в результате кратковременного (не более 10 мин) воздействия тока, ко вторым – в результате воздействия тока от 10 мин и более. Большая часть поражений током считается кратковременными электротравмами. Продолжительное воздействие электричества без смертельного исхода наблюдается при длительном нахождении возле электрогенераторов и линий высоковольтного электричества.

По локализации различают три вида электротравм: местные, общие и смешанные.

К местным электротравмам относятся электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения, связанные с воздействием электрического тока или электрической дуги.

Электрические ожоги – наиболее распространенные электротравмы, около 85% которых приходится на электромонтеров, обслуживающих электроустановки. Контактные ожоги более вероятны в установках сравнительно небольшой напряженности. Как правило, электроожоги ограничены по площади, но всегда проникают на большую глубину, т. е. они могут наблюдаться не только на коже, но и в глубоко расположенных тканях (мышцах, костях, суставах). В результате глубоких ожогов омертвевает стволы нервов, ребра, передняя стенка придаточных полостей носа, происходит разрушение стенок полости рта, вторичное помутнение хрусталика и т. д.

Для электроожогов характерны отсутствие болей и пониженная чувствительность прилежащих тканей. Однако при непосредственном и дуговом кон-

такте с токами большой силы и высокого напряжения конечность обугливается частично или целиком, поврежденная рука или нога согнута во всех суставах в связи с сокращением мышц. Пострадавшие беспокойны, мечутся от сильных болей, вызванных спазмом мышц или повреждением магистрального сосуда, создающих ощущение наложенного жгута. Для электроожогов, захватывающих конечность целиком или частично, характерны кровотечения. Чем глубже и обширнее поражение мягких тканей, тем раньше может возникнуть кровотечение.

Электрические знаки (знаки тока или электрические метки) наблюдаются в виде резко очерченных пятен серого или бледно-желтого цвета на поверхности тела человека в месте контакта с токопроводящими элементами. Они обычно круглые или овальные (но могут повторять форму токоведущего элемента, к которому прикоснулся человек), размером до 10 мм, с углублением в центре. Иногда электрические знаки могут иметь очертания микромолнии. Возникают они как в момент прохождения тока через тело человека, так и спустя некоторое время после контакта с токопроводящими элементами. Особого болевого ощущения электрические знаки не вызывают и со временем бесследно исчезают.

Металлизация кожи – это проникновение в верхние слои кожи мельчайших частиц металла, расплавившегося под действием электрической дуги. Мелкие частицы металла имеют высокую температуру, но малый запас теплоты, поэтому они неспособны проникать через одежду, однако опасны для открытых участков тела. На пораженном участке при этом чувствуется боль от термического ожога и присутствия постороннего твердого вещества. Со временем пораженный участок приобретает нормальный вид, болевые ощущения исчезают. Особенно опасна металлизация органов зрения, связанная с возникновением электрической дуги. Поэтому при выполнении работ в условиях возможного возникновения электрической дуги необходимо пользоваться защитными очками. В большинстве случаев одновременно с металлизацией кожи имеют место дуговые ожоги.

Электроофтальмия – поражение наружных оболочек глаз, вызванное чрезмерным воздействием ультрафиолетового излучения электрической дуги (часто встречается у электросварщиков). Обычно развивается через 2–6 ч после облучения и проявляется в виде покраснения и воспаления кожи век и слизистых оболочек глаза, слезоточения, резкой боли в глазах, светобоязни. Профилактика электроофтальмии при обслуживании электроустановок обеспечивается применением очков с защитными стеклами.

Механические повреждения, связанные с воздействием электрического тока на организм человека, могут проявляться непредсказуемыми судорожными сокращениями мышц, при которых возможны разрывы сухожилий, кожи, кровеносных сосудов, нервных сплетений, вывихи суставов, переломы костей и т. д.

Общие электрические травмы – это нарушение деятельности жизненно важных органов или всего организма человека, вызванное электрическим ударом, которое сопровождается судорожным сокращением мышц всего организма

(в т. ч. сердца), в результате чего возможна полная остановка дыхания и кровообращения. При этом внешние повреждения могут отсутствовать.

В зависимости от последствий различают четыре степени поражения:

I – судорожные сокращения мышц без потери сознания;

II – судорожные сокращения мышц с потерей сознания без нарушений дыхания и кровообращения;

III – потеря сознания с нарушением сердечной деятельности или дыхания либо сердечной деятельности и дыхания вместе;

IV – клиническая смерть, т. е. полное отсутствие дыхания и кровообращения.

После освобождения из-под влияния электрического тока люди с поражением I степени переживают резкий испуг, появляются озноб, бледность кожных покровов, некоторые теряют сознание. У пострадавших с электротравмой II степени сознание возвращается быстро, но они также находятся в состоянии испуга. При поражении III степени, помимо потери сознания, может наблюдаться глухость тонов сердца, ослабление пульса, тахикардия, иногда аритмия. Дыхание затруднено не только вследствие резкого сокращения мышц грудной клетки и диафрагмы, но и спазма голосовых связок – пораженный не может кричать и просить о помощи.

Признаки клинической смерти – отсутствие пульса и дыхания, кожный покров синевато-бледный, зрачки глаз резко расширены и не реагируют на свет. Период клинической смерти определяется промежутком времени от остановки кровообращения и дыхания до начала отмирания клеток головного мозга (как более чувствительных к кислородному голоданию) и может длиться до 10–12 мин. Если потерпевшему своевременно оказать квалифицированную помощь (искусственное дыхание и закрытый массаж сердца), то дыхание и кровообращение могут возобновиться.

Одной из разновидностей общих электротравм является *электрический шок* – тяжелая нервно-рефлекторная реакция организма на раздражение электрическим током. При шоке возникают значительные расстройства нервной системы и, как следствие, систем дыхания, кровообращения, обмена веществ. Локальные симптомы, как правило, обнаруживаются в первые часы после поражения, но иногда могут выявиться через несколько дней. Возможны два типа поражения центральной нервной системы. У одних пораженных сознание затемнено, преобладают тормозные процессы: они вялы, заторможены, сонливы, неохотно рассказывают о случившемся, жалуются на головную боль, головокружение, тошноту. У других пострадавших преобладают процессы возбуждения: они без сознания, но подвижны, беспокойны; такое состояние может продолжаться несколько часов. В последующие дни для всех пострадавших характерно наличие функциональных расстройств, которые остаются в течение длительного времени, что ведет к частичной или полной утрате трудоспособности. Снижаются память, внимание, появляются рассеянность, быстрая утомляемость. Через две-три недели после электротравмы у некоторых пострадавших отмечаются эндокринные нарушения – снижение функции щитовидной железы (выпадение волос, сухость кожи) или ее гиперфункцию (увеличение железы,

выпячивание глазных яблок (экзофтальм), тахикардия). Самыми тяжелыми осложнениями электротравм являются психические заболевания (эпилепсия, шизофрения).

Степень поражения организма в момент прохождения тока не может предопределить его состояние в последующем. Ошибочно считать электротравму легкой, если человек не потерял сознания, так как по истечении месяца, а иногда и позже у больного могут выявиться самые неожиданные осложнения.

Характер и последствия воздействия на человека электрического тока зависят от следующих факторов: величина тока, напряжения и электрического сопротивления тела человека, продолжительность воздействия электрического тока, путь тока через тело человека, род и частота электрического тока, условия внешней среды, индивидуальные свойства человека.

Единого мнения по поводу величины «безопасного» напряжения или силы тока не существует. К примеру, во Франции принято считать таковым напряжение в 24 В для переменного тока и 50 В для постоянного; у нас вероятной причиной электротравмы принято считать напряжение от 50 В переменного тока. Но к летальному исходу может привести и напряжение в 12 В.

Если мы имеем дело с переменным током промышленной частоты (50 Гц), то при силе тока 0,6–1,5 мА попавший под его воздействие человек испытывает лишь легкое дрожание рук, при 2–3 мА – сильное дрожание, при 5–7 мА – судороги. При 8–10 мА руки еще можно оторвать от электропроводов, но подобная сила тока уже может стать причиной электротравмы. При 20–25 мА оторвать руки от электропроводов невозможно. При постоянном токе 0,6–3,0 мА контакт с электродами не вызывает никаких ощущений, при 5–7 мА возникает зуд, при 8–10 мА – нагревание, при 20–25 мА – незначительное сокращение мышц. Выраженные нарушения здоровья могут наступить при воздействии тока выше 50 мА: при 50–80 мА наступает паралич дыхания, а при 90–100 мА – паралич сердца.

При протекании тока в несколько сотых долей ампера появляется опасность нарушения работы сердца. Может возникнуть *фибрилляция сердца*, т. е. 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.

Степень поражения во многом зависит от сопротивления тела человека, а его определяет ряд особенностей. К примеру, у женщин оно меньше, чем у мужчин, что объясняется толщиной кожи, поэтому если для мужчин неотпускающий ток составляет 11–12 мА, то для женщин – всего 7–8 мА. Основным сопротивлением в цепи тока через тело человека является верхний роговой слой кожи. Сопротивление внутренних тканей не превышает 800–1000 Ом. Со-

противление тела человека зависит от состояния кожи (сухая, влажная, чистая, поврежденная и т. п.), площади контакта, времени воздействия тока и др. Реальное сопротивление тела человека может достигать до 100 000 Ом. Для расчетов по электробезопасности принимают величину, равную 1000 Ом.

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».

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 фибрилляционного тока при частоте 50 Гц, поэтому повышение частоты тока применяют как одну из мер повышения электробезопасности.

Внешние факторы могут усугубить тяжесть травмы. К примеру, чем выше температура окружающей среды, тем выше опасность. Чем выше парциальное содержание кислорода в воздухе, тем ниже чувствительность тела к току. Чем выше влажность воздуха, тем более вероятна дуговая травма.

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.

1.3. Разновидности электроустановок в отношении мер электробезопасности

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

Электрическая сеть с эффективно заземленной нейтралью – трехфазная электрическая сеть напряжением выше 1 кВ, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4.

Коэффициент замыкания на землю в трехфазной электрической сети – отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

В электрических сетях напряжением до 1 кВ используются следующие системы.

1. **Система TN** – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, 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. 12.1);

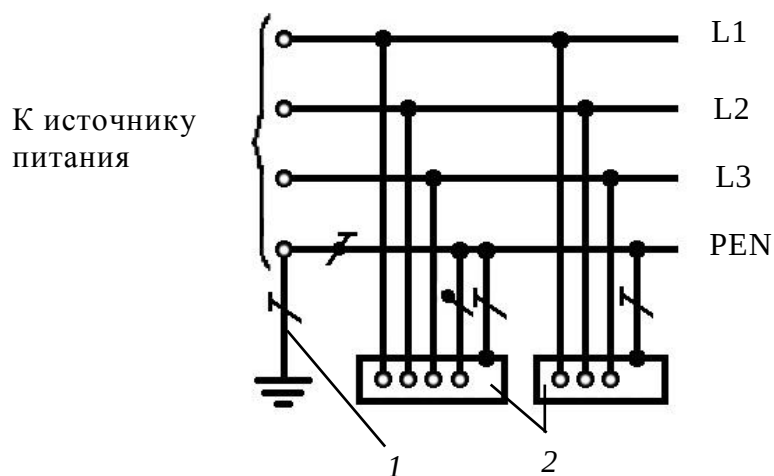


Рис. 12.1. Подсистема TN-C переменного тока:
1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;
2 – открытые проводящие части

подсистема TN-S – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рис. 12.2);

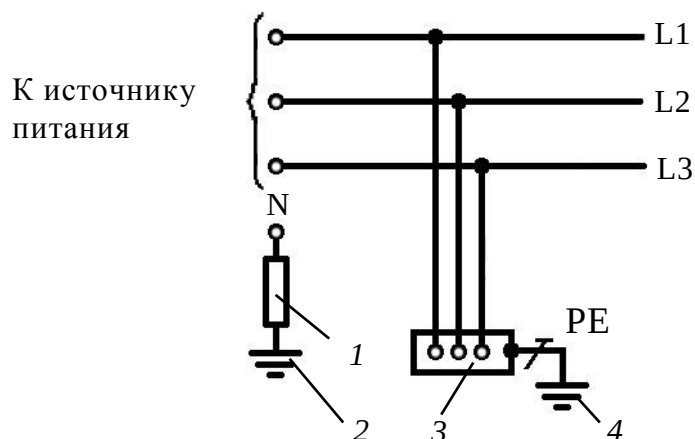


Рис. 12.4. Система IT переменного тока:

- 1 – сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеется);
 2 – заземлитель; 3 – открытые проводящие части;
 4 – заземляющее устройство электроустановки

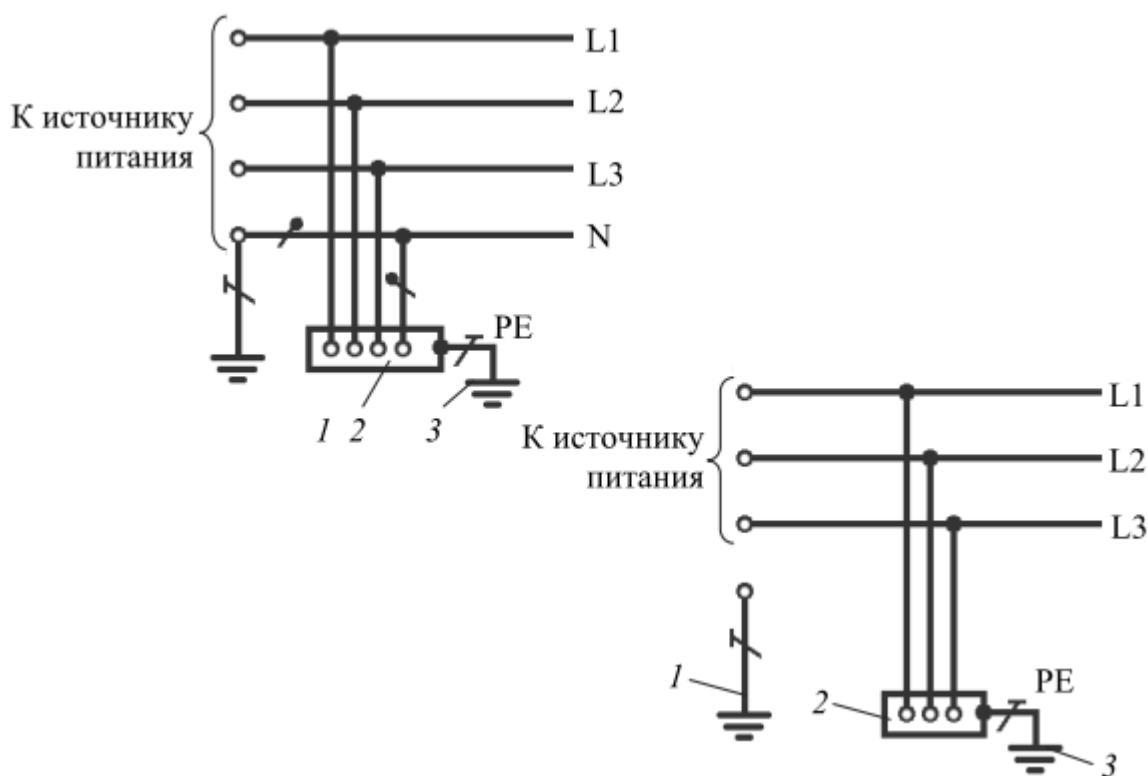


Рис. 12.5. Система TT переменного тока:

- 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: Т – заземленная нейтраль; I – изолированная нейтраль;
- вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли: Т – 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);

- L1, L2, L3 – шины фаз;
- N –  – нулевой рабочий (нейтральный) проводник;
- PE –  – защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);
- PEN –  – совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

Для цветового и цифрового обозначения отдельных изолированных или неизолированных проводников должны быть использованы цвета и цифры в соответствии с СТБ МЭК 60173 «Расцветка жил гибких кабелей и шнуров». Допускается применение только цветового обозначения.

Проводники защитного заземления во всех электроустановках, а также нулевые защитные проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, в т. ч. шины, должны иметь буквенное обозначение PE и цветовое обозначение чередующимися продольными или поперечными полосами одинаковой ширины (для шин от 15 до 100 мм) желтого и зеленого цветов.

Нулевые рабочие (нейтральные) проводники обозначаются буквой N и голубым цветом. Совмещенные нулевые защитные и нулевые рабочие проводники должны иметь буквенное обозначение PEN и цветовое обозначение: голубой цвет по всей длине и желто-зеленые полосы на концах.

Буквенно-цифровые и цветовые обозначения одноименных шин в каждой электроустановке должны быть одинаковыми.

Шины должны быть обозначены:

а) при переменном трехфазном токе: шины фазы L1 – желтым, фазы L2 – зеленым, фазы L3 – красным цветом;

б) при переменном однофазном токе шина L1, присоединенная к началу обмотки источника питания, – желтым цветом; шина L2, присоединенная к концу обмотки источника питания, – красным цветом.

Шины однофазного тока, если они являются ответвлением от шин трехфазной системы, обозначаются как соответствующие шины трехфазного тока;

в) при постоянном токе: положительная шина (+) – красным цветом, отрицательная (–) – синим и нулевая рабочая M – голубым цветом.

Цветовое обозначение должно быть выполнено по всей длине шин, если оно предусмотрено также для более интенсивного охлаждения или антикоррозионной защиты.

Допускается выполнять цветовое обозначение не по всей длине шин, только цветовое или только буквенно-цифровое обозначение либо цветовое в соче-

тании с буквенно-цифровым в местах присоединения шин. Если неизолированные шины недоступны для осмотра в период, когда они находятся под напряжением, то допускается их не обозначать. При этом не должен снижаться уровень безопасности и наглядности при обслуживании электроустановки.

1.4. Анализ условий поражения человека электрическим током

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 (одновременное прикосновение к двум неизолированным частям электроустановки, находящимся под напряжением разных фаз).

При двухфазном (двухполюсном) прикосновении (рис. 12.6), 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:

$$I_{\text{чел}} = U_{\text{л}} / R_{\text{чел}}, \quad (12.1)$$

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

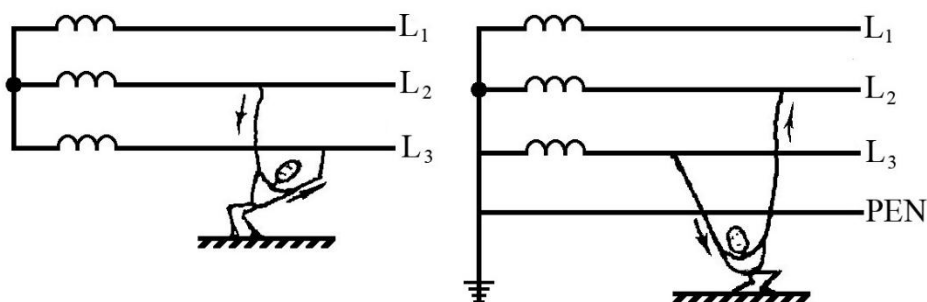


Рис. 12.6. Схема двухфазного включения человека в электрическую сеть

При однофазном включении в сеть с изолированной нейтралью (рис. 12.7, а) величина тока, проходящего через человека, определяется по формуле

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot (R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + (R_{\text{из}}/3))}. \quad (12.2)$$

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. 12.7, б) или сопротивление изоляции мало, человек может оказаться под полным линейным напряжением:

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}}}, \quad (12.3)$$

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.

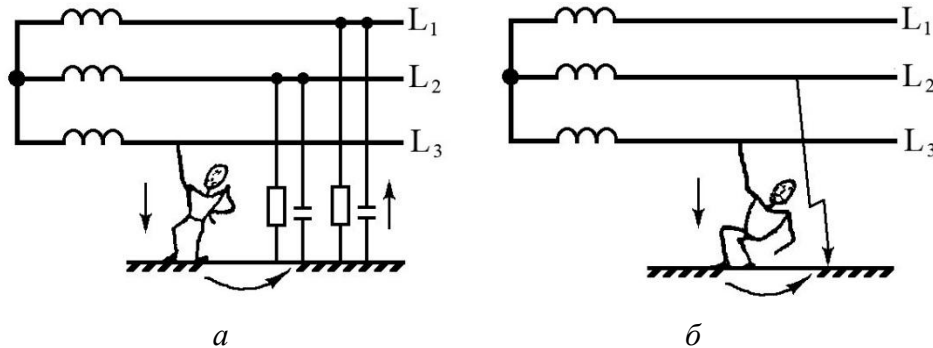


Рис. 12.7. Схема однофазного включения в сеть с изолированной нейтралью:
а – при хорошей изоляции; б – при аварийном режиме

При однофазном включении в сеть с заземленной нейтралью (рис. 12.8) человек попадает под фазное напряжение независимо от величины сопротивления изоляции фаз.

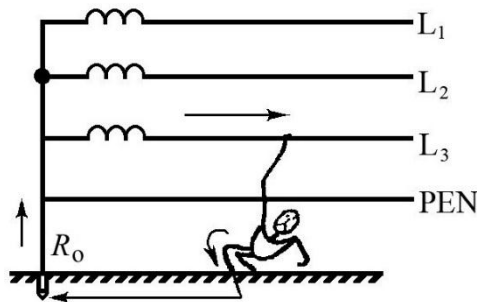


Рис. 12.8. Схема однофазного включения в сеть с заземленной нейтралью

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

$$I_{\text{чел}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{чел}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_0}, \quad (12.4)$$

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_0 – 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 двух-полюсному 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. 12.9).

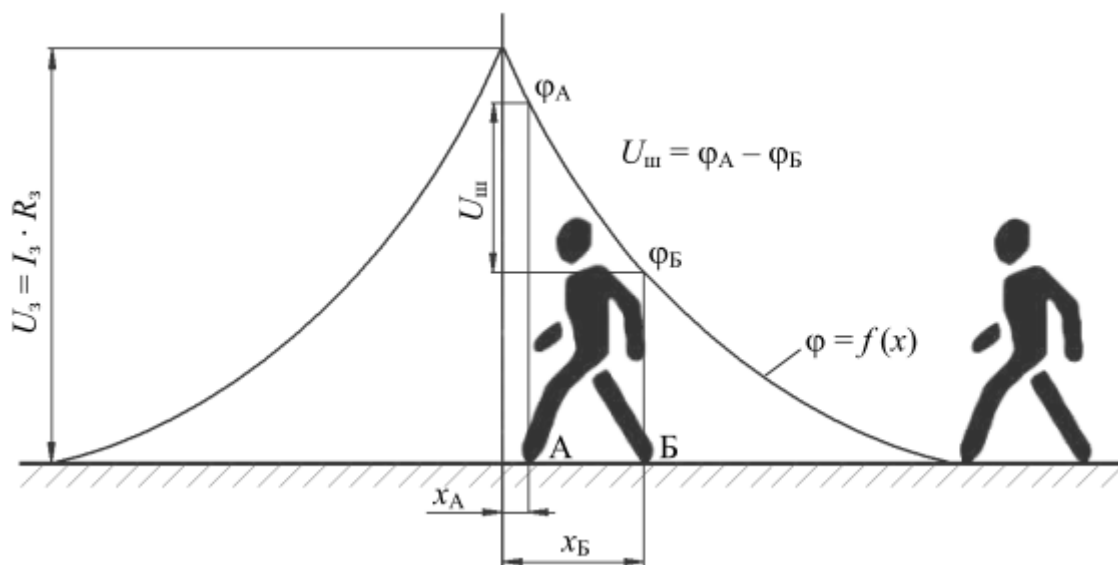


Рис. 12.9. Характер изменения потенциала в поле растекания тока:

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 :

$$U_k = U_3 = I_3 \cdot R_3, \quad (12.5)$$

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 (шаговым напряжением)** 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 зависят 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 электрических 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, защитное зануление, защитное отключение, выравнивание потенциалов и др.

В сетях с напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью (системы IT) применяется защитное заземление.

Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Защитное заземление – заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

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

В соответствии с ТКП 339-2022 сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом. Напряжение, под которое может попасть человек в результате замыкания на корпус, определяется по формуле

$$U = I_3 \cdot R_3, \quad (12.6)$$

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 соотношения этих сопротивлений:

$$U = \frac{U_\phi \cdot R_3}{R_0 + R_3}, \quad (12.7)$$

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.

Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

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

$$U = I_3 \cdot R_n = \frac{U_\phi}{R_n + R_\phi} \cdot R_n = \frac{U_\phi}{1 + (R_\phi / R_n)}, \quad (12.8)$$

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. 12.1.

Таблица 12.1

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. 12.10):

1 – блок включения питания от сети, устройство защитного отключения (УЗО) с автоматическим выключателем, с возможностью выбора типа заземле-

ния 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.

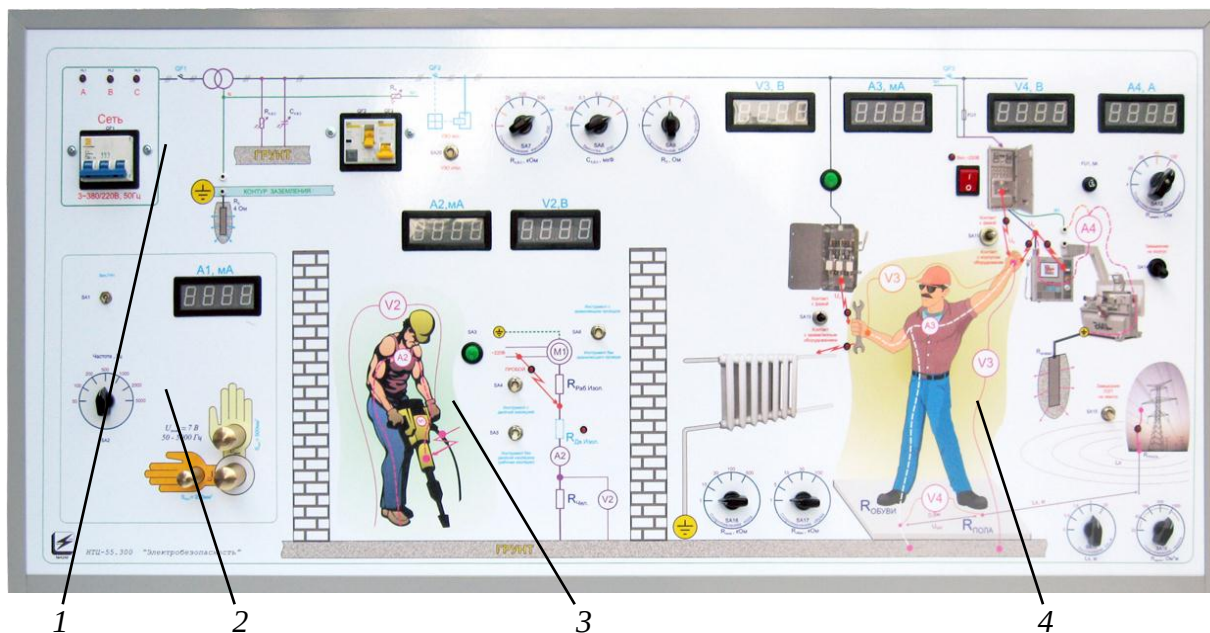


Рис. 12.10. Лицевая панель стенда «Электробезопасность»:

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. 12.10), УЗО с автоматическим выключателем, с возможностью выбора типа заземления нейтрали сети, с регуляторами 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. 12.10) 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. 12.10) 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. 12.10) 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. 12.11а). Не меняя положения ладони изменять частоту галетным переключателем «SA2» и зафиксировать показания тока на индикаторе «A1, мА» для каждого значения частоты (от 50 Гц до 5000 Гц). Данные занести в таблицу 12.2.

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. 12.11б). Данные занести в таблицу 12.2. По окончании измерений выключить тумблер «SA1» – «Вкл. ГНЧ» (вниз).

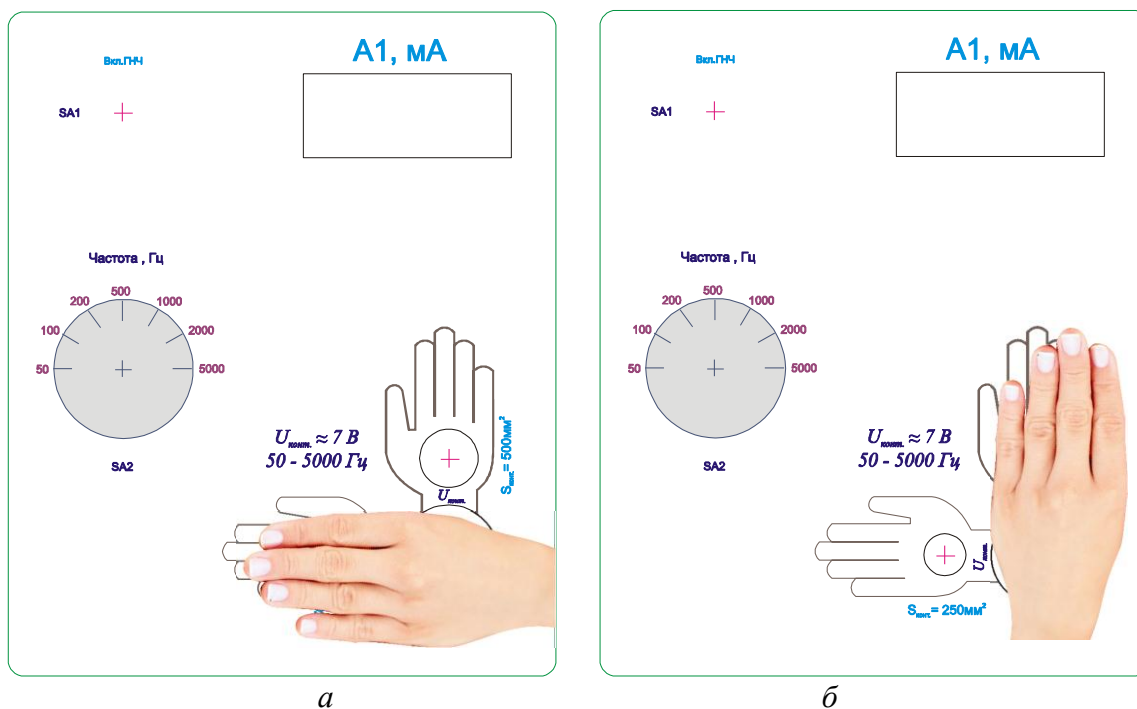


Рис. 12.11. Исследование сопротивления человека на переменном токе:
 а – при площади контакта 250 мм²; б – при площади контакта 500 мм²

Таблица 12.2

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		

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

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

$$R_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{к}}}{I_{\text{ч}}}, \quad (12.9)$$

где U_k – напряжение соприкосновения (контакта), В, в расчетах принять равным 7 В; $I_{\text{ч}}$ – 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 стенда (смотри п. 2.2). Включить стенд 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. 12.12).

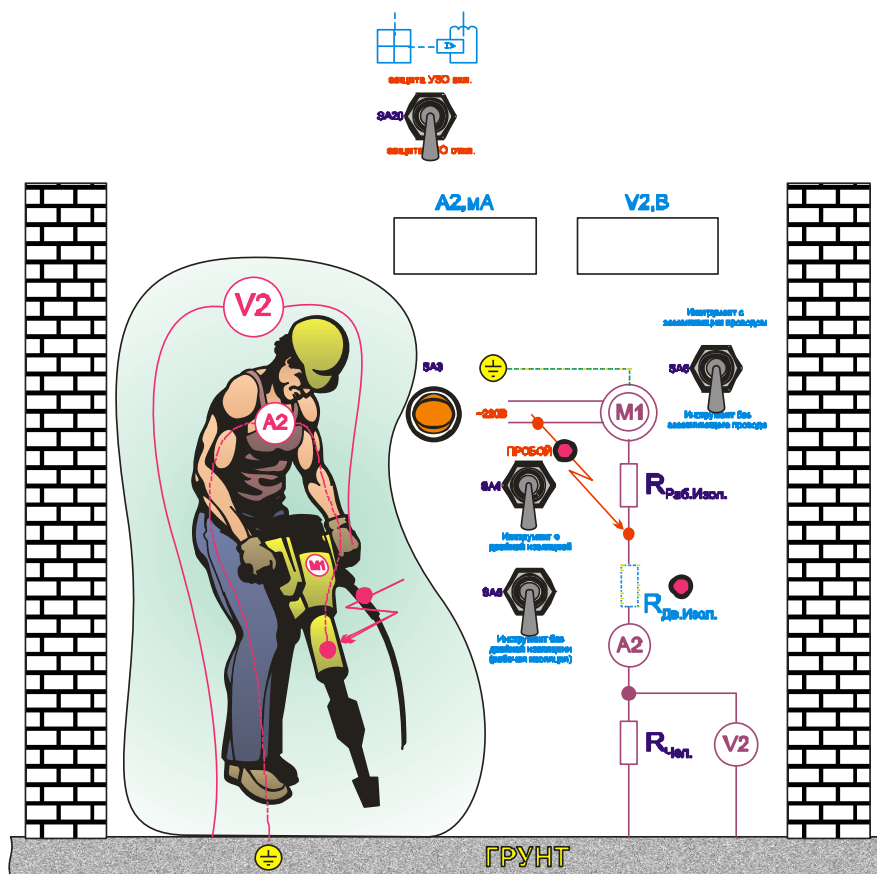


Рис. 12.12. Схема для исследования поражения электрическим током при работе с электроинструментом

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 12.3. Рассчитать сопротивление тела человека по формуле (12.9). Отключить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ».

Переключить тумблер «SA5» вверх «Инструмент с двойной изоляцией», загорится светодиод $R_{\text{Дв.Изол.}}$. Включить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ» и записать показания приборов в табл. 12.3. Обратить внимание на влияние нали-

чия двойной изоляции на степень опасности поражения электрическим током при пробое изоляции.

Таблица 12.3

**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 (сработало, не сработало)
без двойной изоляции, с заземляющим проводом, защита УЗО включена				при недопустимом сопротивлении (20 Ом) УЗО (сработало, не сработало)

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. 12.3.

Отключить выключатель «SA4» «ПРОБОЙ». Включить выключатель «SA20 вверх» – «УЗО вкл.». Тумблер «SA6» оставитьверху «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. 12.13).

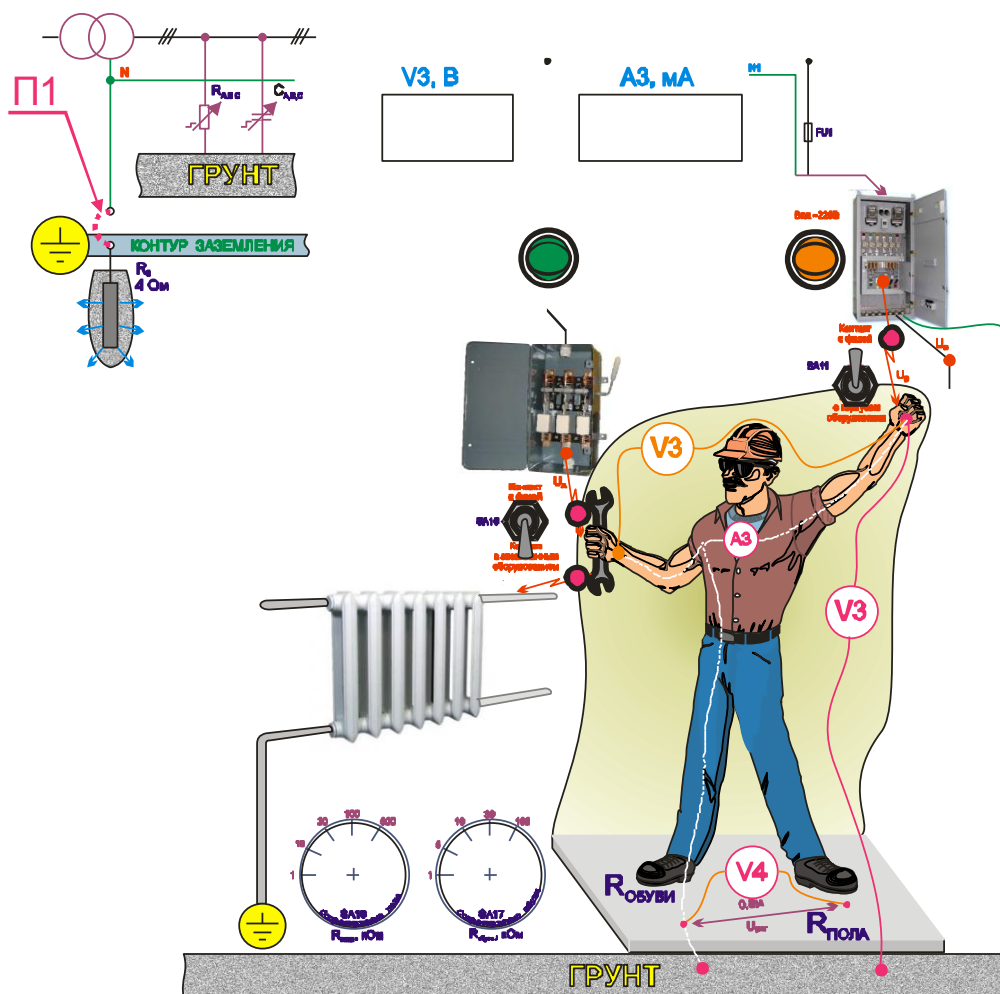


Рис. 12.13. Схема для исследования тока, проходящего через тело человека при различных вариантах соприкосновения с токоведущими проводниками и заземленным оборудованием поражения электрическим током

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. 12.4 для случая контакта с токоведущим проводником, где ток протекает через тело человека в землю.

Таблица 12.4

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 пора- жения током
с глухозаземлен- ной 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 «А3, мА». Занести показания индикаторов в табл. 12.5. По окончании измерений вернуть переключатели «SA7» и «SA8» в положение «1» и «0» соответственно. Сделать вывод о влиянии схемы включения нейтрали.

Таблица 12.5

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	Заключение об опасности пора- жения 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			

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. 12.6.

Установить тумблер «SA10» в верхнее положение «Контакт с фазой» и повторить измерения при различных сопротивлениях пола и обуви. Занести показания индикаторов в табл. 12.6. 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 12.6

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	$R_{\text{пола}}, \text{кОм}$	$R_{\text{обуви}}, \text{кОм}$	Напряжение, В	Ток, мА	Заключение 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 «А3, мА». Занести показания индикаторов в табл. 12.7.

Установить тумблер «SA10» в нижнее положение «Контакт с заземленным оборудованием». Далее меняя величину емкости «SA8» и сопротивления изоляции «SA7» ЛЭП относительно земли снять показания приборов «V3, В» и «А3, мА». Занести показания индикаторов в табл. 12.8.

Сделать вывод о влиянии на степень опасности поражения электрическим током при одновременном касании фазного провода и заземленного оборудования даже в сетях с изолированной нейтралью при значительных значениях емкости и малых сопротивлениях изоляции ЛЭП относительно земли.

Вернуть все переключатели в исходное положение (смотри п. 2.2).

Таблица 12.7

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 пора- жения 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 12.8

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 пора- жения 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			

2.6. Исследование тока, проходящего через тело человека при соприкосновении с корпусом 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. 12.14). Установить тумблер «SA11» вниз «Контакт с корпусом оборудования». Включить УЗО «QF2» («QF3» выключен). Включить красный клавишный выключатель «Вкл.~220В». Включить тумблер «SA14» вверх «Замыкание на корпус». Изменяя сопротивление заземления галетным переключателем «SA12» зафиксировать показания приборов «V3, В» и «A3, мА». Занести показания индикаторов в табл. 12.9. Сделать выводы о влиянии величины сопротивления заземления на степень опасности поражения электрическим током.

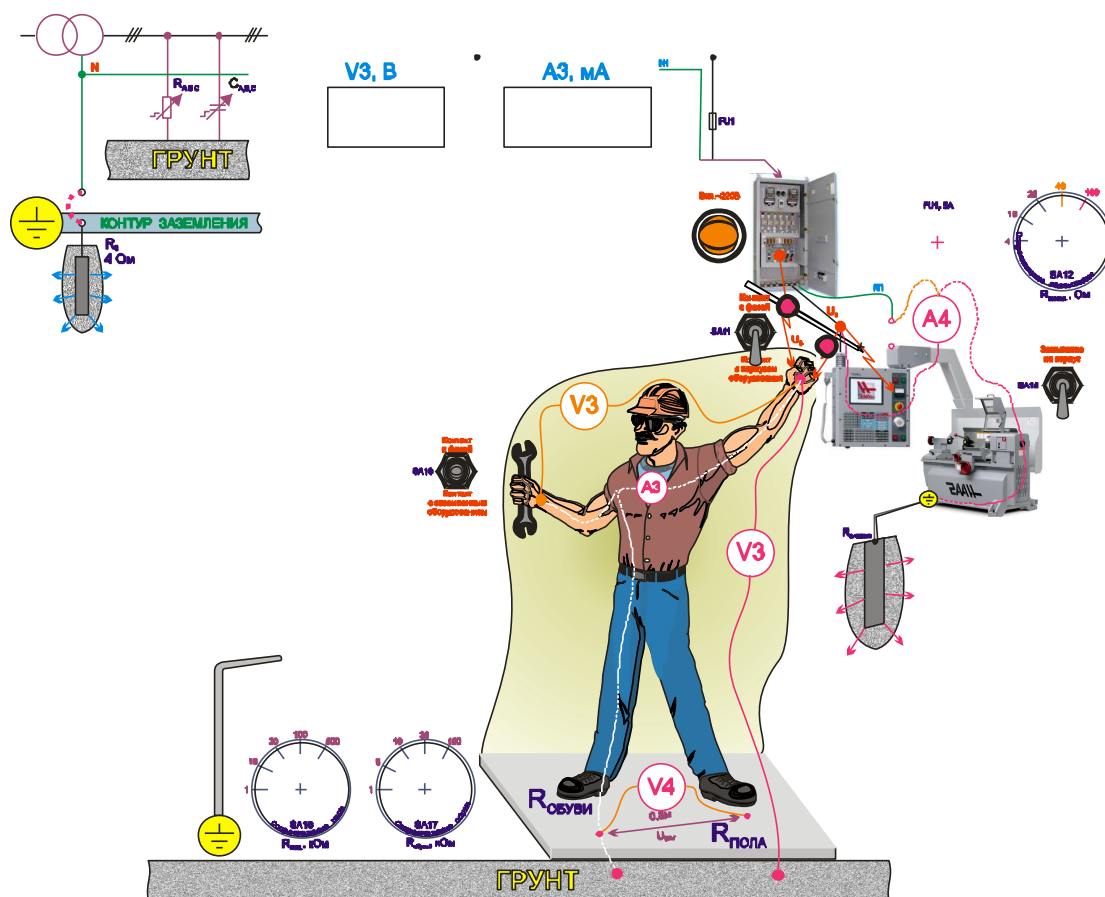


Рис. 12.14. Схема для исследования тока, проходящего через тело человека при соприкосновении с корпусом заземленного оборудования, при замыкании фазы на его корпус

При положении «SA12» в положении «100 Ом» изменяя сопротивление пола «SA16» и обуви «SA17» в сторону увеличения убедиться в уменьшении тока и напряжения, воздействующих на человека. Занести показания индикаторов в

табл. 12.9. Выключить тумблер «SA14». Вернуть «SA16», «SA17» в положение «1 кОм».

Таблица 12.9

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 _{пола} кОм	R _{обуви} кОм	R _{заземл} Ом	Напряжение, В	Ток, мА	Заключение об опасности поражения током
с глухозаземленной нейтралью	1	1	4			
			10			
			20			
			40			
			100			
	1	1	100			
		5				
		10				
		30				
	10	1				
		5				
		10				
		30				
	30	1				
		5				
		10				
		30				

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. 12.10. 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.

Таблица 12.10

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. 12.15). 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. 12.11. 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».

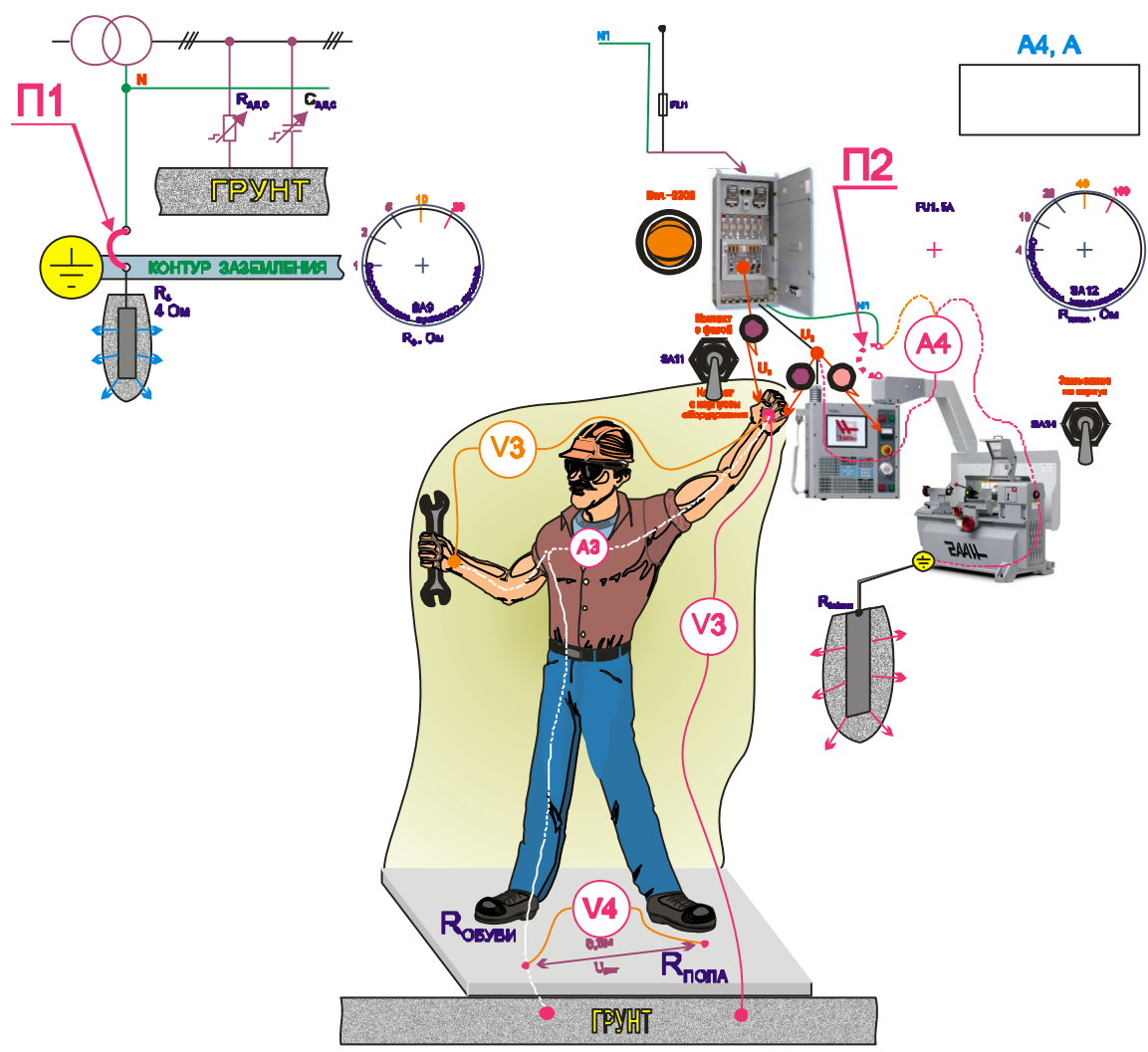


Рис. 12.15. Схема для исследования тока замыкания заземленного оборудования, при замыкании фазы на его корпус

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. 12.16). 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. 12.12.

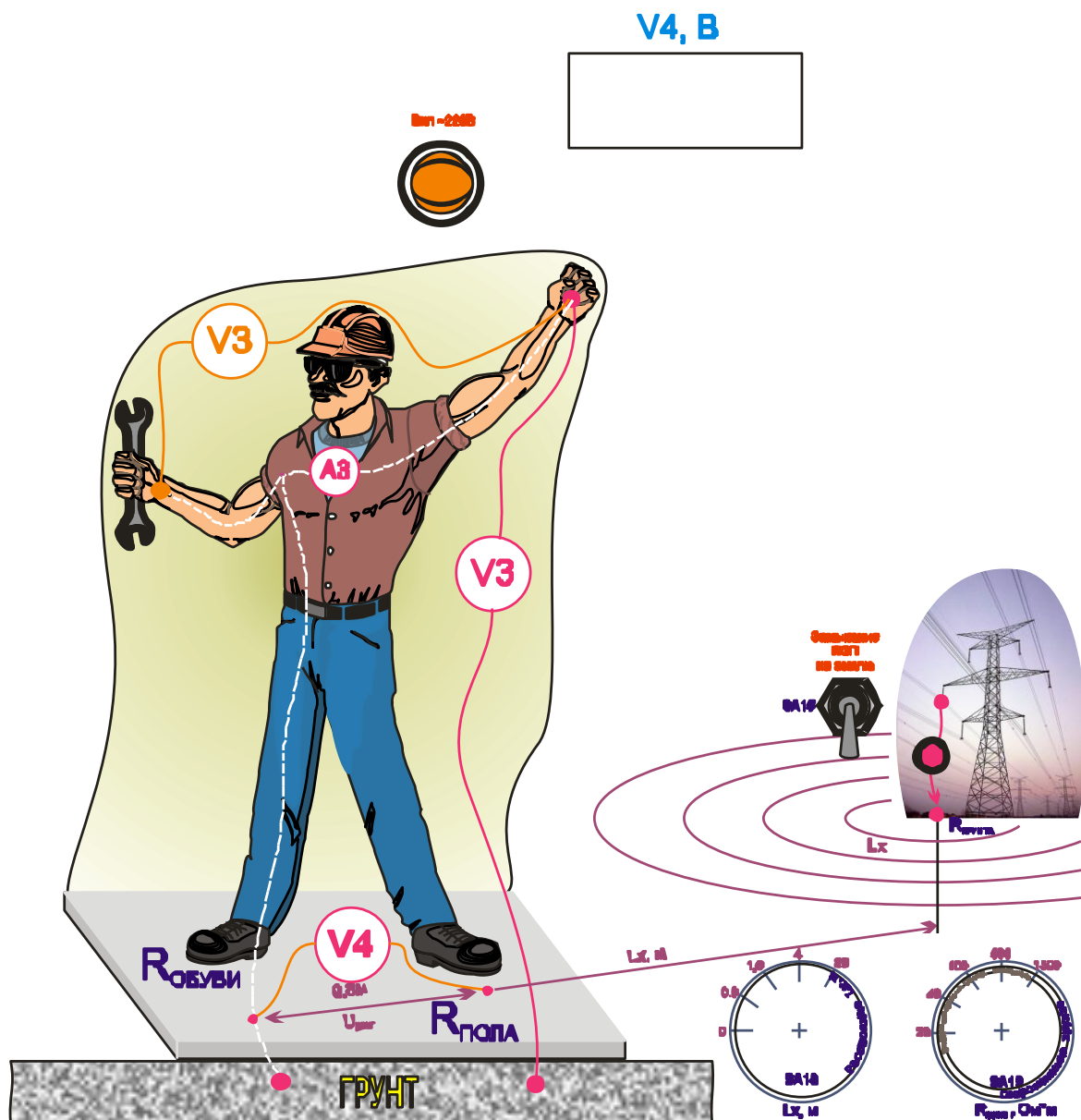


Рис. 12.16. Схема для исследования явления «шагового напряжения»
при замыкании фазы ЛЭП на землю

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

$R_{\text{грунта}}$ Ом×м	Lx , 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. Назовите основные причины поражения человека электрическим током.
2. Какие виды воздействия оказывает электрический ток проходя через организм человека?
3. Назовите виды поражения электрическим током. Дайте их характеристику.
4. Какие факторы влияют на степень поражения человека электрическим током?
5. Дайте определения заземленной и изолированной нейтрали.
6. Какие системы используются в электрических сетях напряжением до 1 кВ?
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 = Электраўстаноўкі на напружанне да 750 кВ. Лініі электраперадачы паветраныя і токаправоды, прылады размеркавальныя і трансфарматарныя падстанцыі, ўстаноўкі электросиловые і акумулятарныя, Электраўстаноўкі жылых і грамадскіх будынкаў. Правілы прылады і ахоўныя меры электрабяспекі. Ўлік электраэнергіі. Нормы прыёма-здачных выпрабаванняў: ТКП 339-2022 (33240). – Введ. 20.12.2022. – Минск: М-во энергетыкі Респ. Беларусь, 2022. – 604 с.

2. Гармаза, А. К. Охрана труда: учебник для студентов по специальностям «Лесное хозяйство», «Садово-парковое строительство», «Туризм и природопользование», «Лесоинженерное дело», «Машины и оборудование лесного комплекса», «Технология деревообрабатывающих производств»: в 2 ч. / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск : БГТУ, 2018. Ч. 1 – 299 с.; Ч. 2 – 170 с.