

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ
И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАНУЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе

Волгоград
2013

Рецензент:

канд. техн. наук доцент *В. А. Козловцев*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Исследование защитного зануления: метод. указ. к лабораторной работе/ Сост. А. А. Липатов/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – 30 с.

Методические указания содержат информацию о мерах защиты при косвенном прикосновении к открытым проводящим частям электроустановок, о назначении и принципе действия защитного зануления, а также о факторах, влияющих на его эффективность. Даны нормативные требования к занулению и обозначение вариантов исполнения систем электроснабжения, использующих трехфазные сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1 кВ. Приведена методика выполнения лабораторной работы на стенде.

Предназначаются для студентов ВолгГТУ всех специальностей и форм обучения при изучении курса «Безопасность жизнедеятельности».

© Волгоградский государственный
технический университет, 2013

1. ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью настоящей работы является изучение защитных свойств зануления электроустановок в трехфазных сетях переменного тока с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.

Основные задачи работы:

- 1) исследование эффективности защитного зануления без повторного заземления защитного нулевого проводника в зависимости от сопротивления контура короткого замыкания;
- 2) исследование влияния на электробезопасность сопротивления повторного заземления защитного нулевого проводника, в том числе в случае обрыва последнего.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

«Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) предусматривают защиту от поражения электрическим током для двух основных случаев:

- 1) при прямом прикосновении – электрическом контакте людей или животных с находящимися под напряжением токоведущими частями (в большинстве случаев – фазными проводниками трехфазной сети);
- 2) при косвенном прикосновении – электрическом контакте с открытыми проводящими (но не токоведущими) частями (чаще всего, металлическими корпусами) электроустановок, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции.

Следует пояснить, что в нормативных документах и учебниках по электробезопасности часто используется термин «под напряжением» по отношению к точке электрической цепи. Строго говоря, напряжение – разность потенциалов между *двумя* точками; выражение «провод под напряжением» означает наличие напряжения между ним и землей нулевого потенциала, находящейся вне зоны растекания тока какого-либо заземлителя.

К мерам защиты от прямого прикосновения относятся: основная изоляция токоведущих частей, ограждения и оболочки, установка непроводящих барьеров, размещение токоведущих частей вне зоны досягаемости (в частности, на высоте более 2,5 метров). Как дополнительную меру защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до (включительно) 1 кВ следует применять устройства защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

Защиту как от прямого, так и от косвенного прикосновения обеспечивает использование сверхнизкого (малого) напряжения (СНН) – не превышающего 50 В переменного и 120 В постоянного тока. Следует отметить, что действующая 7-я редакция ПУЭ, введенная в 2003 г., [8] распространяется на вновь создаваемые и реконструируемые электроустановки. Согласно предыдущему, 6-му, изданию ПУЭ [9] верхней границей малого напряжения переменного тока считалось значение 42 В (между фазами или по отношению к земле – в зависимости от схемы подключения электропотребителя, многофазной или однофазной).

К мерам защиты при косвенном прикосновении (применяемым по отдельности или в сочетании) относятся:

защитное заземление;

автоматическое отключение питания;

уравнивание потенциалов (электрически соединяются заземляющие устройства и нулевые защитные проводники разных цепей, части электроустановок, токопроводящие коммуникации и элементы здания, которые номинально должны иметь нулевой потенциал);

выравнивание потенциалов (для различных частей токопроводящей поверхности, на которой могут находиться люди);

двойная или усиленная изоляция;

защитное электрическое разделение цепей (как собственно отделение токоведущих частей разных цепей, так и использование разделяющих транс-

форматоров: например, подключение ручного электроинструмента не непосредственно к сети с мощным источником питания, а через маломощный трансформатор, часто в сочетании с понижением напряжения);

изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Применение двух и более мер защиты не должно оказывать взаимного негативного влияния. Например, при использовании разделительного трансформатора нельзя уравнивать потенциал путем присоединения токопроводящего корпуса электроприемника к защитным проводникам других цепей.

В приведенном списке термина «зануление» нет. Тем не менее, зануление является одной из основных мер защиты при косвенном прикосновении (если не самой распространенной), совмещающая функции автоматического отключения питания и защитного заземления (указанных в перечне защитных мероприятий первыми). Согласно главе 1.7 действующих ПУЭ [8] при напряжениях до 1 кВ электроустановки жилых, общественных и промышленных зданий (а также наружные электроустановки) должны, как правило, получать питание от источника с глухозаземленной нейтралью. Иными словами, из двух основных схем трехфазных сетей предпочтительно использовать сети с глухозаземленной нейтралью. При этом для защиты от поражения током в случае косвенного прикосновения необходимо обеспечить автоматическое отключение питания, для чего все открытые проводящие части электроустановок должны быть присоединены к глухозаземленной нейтрали источника, т. е. *занулены*. Такая система имеет обозначение *TN*: на первом месте, показывающем режим нейтрали источника питания, стоит буква *T*, обозначающая, что нейтраль заземлена; на втором месте, показывающем состояние открытых проводящих частей электроустановок, – буква *N*, обозначающая необходимость их присоединения к нейтрали источника (посредством нулевых защитных проводников), т. е. зануления.

Принцип действия защитного зануления (и его основная задача) – прерывание замыкания фазы на токопроводящий корпус электроустановки в

однофазное короткое замыкание с целью немедленного срабатывания защиты (автоматического отключения питания аварийного потребителя). Следует помнить, что коротким замыканием называют возникновение замкнутого проводящего контура, в котором имеется источник напряжения и практически отсутствует омическое сопротивление.

Рассмотрим действие зануления. На рисунке 1 показана трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью источника питания и один (для упрощения рассуждений) территориально удаленный от источника симметричный трехфазный потребитель (например, асинхронный электродвигатель), имеющий токопроводящий корпус 1.

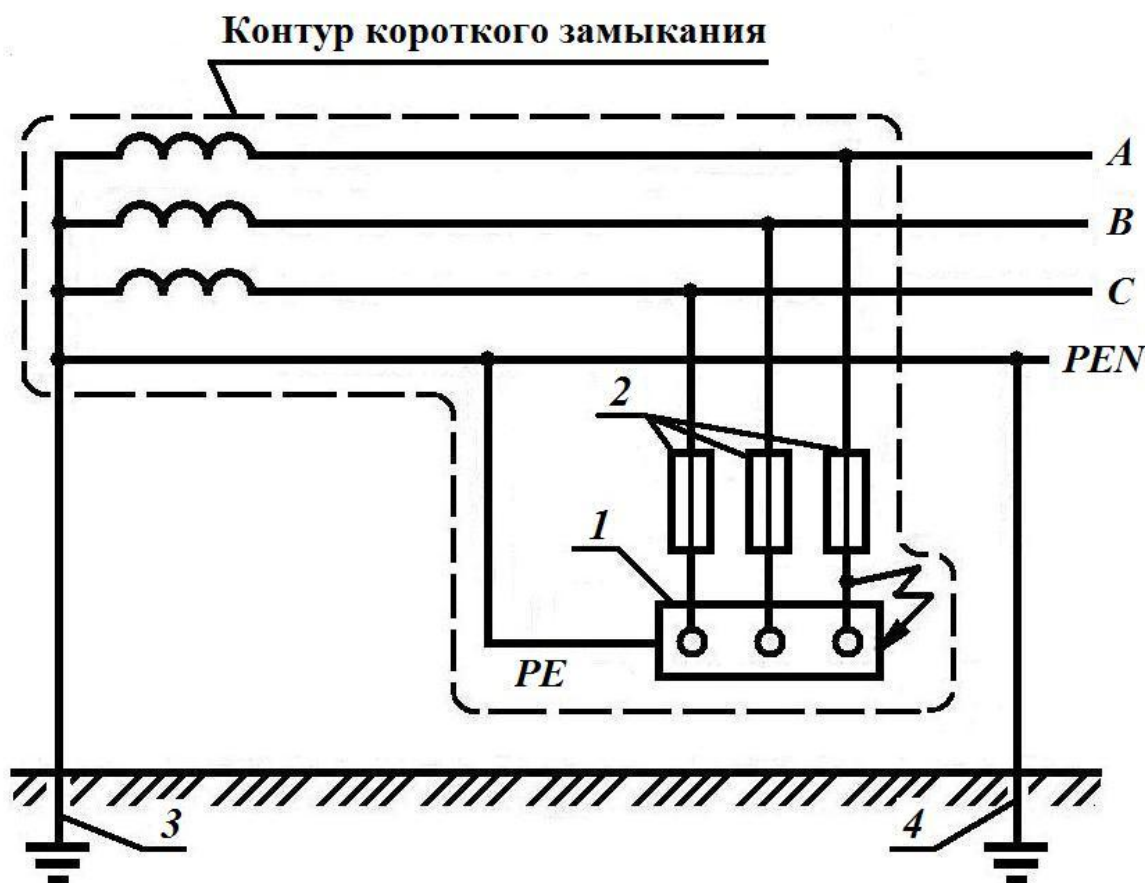


Рис. 1. Схема защитного зануления:

1 – токопроводящий корпус электропотребителя; 2 – плавкие предохранители; 3 – заземление нейтрали источника; 4 – повторное заземление нулевого защитного проводника

Потребитель подключен к фазам сети *A*, *B* и *C* через плавкие предохранители 2, а его токопроводящий корпус 1 посредством нулевого защитного проводника *PE* электрически соединен с нулевым защитным проводником сети, обозначенным на рис. 1 как *PEN*. Нулевой проводник *PEN* проложен (вместе с фазными проводниками) от места расположения потребителя до источника питания (трансформатора или генератора) и присоединен к нейтральной точке последнего. Нейтраль источника имеет заземление 3 (в месте расположения источника). При этом нейтраль соединена с находящимся в грунте заземлителем непосредственно, т. е. в соединяющем их проводнике какие-либо коммутаторы, приборы и т. п. отсутствуют (что и нашло отражение в термине «глухозаземленная нейтраль»).

Автоматическое отключение питания реализуется следующим образом. При замыкании (пробое) одной из фаз (на рис. 1 это фаза *A*, а замыкание показано молниеобразной ломаной линией) на токопроводящий корпус 1 образуется замкнутый проводящий контур, показанный на рис. 1 штриховой линией. Этот контур содержит одну обмотку источника питания, генерирующую фазное напряжение (в большинстве случаев, т. е. при сетевом напряжении 380/220 В, это 220 В). Нагрузка же в указанном контуре отсутствует – его сопротивление (составляющими которого являются лишь сопротивления проводов, переходные сопротивления в контактах и сопротивление пробоя) весьма мало. Следовательно, это контур короткого замыкания, в котором (в полном соответствии с законом Ома) будет протекать ток, величина которого во много раз превышает номинальное значение. Результатом теплового воздействия такого тока станет перегорание плавкого предохранителя (на рис. 1 – крайнего справа) и автоматическое отключения корпуса электропотребителя от аварийной фазы.

Кроме того, в течение необходимого для срабатывания защиты малого промежутка времени (с момента замыкания фазы на корпус до автоматического отключения) корпус 1 оказывается заземленным – через проводни-

ки *PE*, *PEN* и заземление нейтрали источника 3. Это снижает опасность поражения током в аварийный период за счет уменьшения потенциала корпуса относительно земли (впрочем, при заметном удалении потребителя от источника, это заземление является выносным, т. е. менее эффективным).

Помимо заземления нейтрали источника питания, схема зануления требует наличия еще одного заземления. Как видно из рис. 1, при случайном обрыве *PEN*-проводника (достаточно вероятном из-за его протяженности) после замыкания фазы на корпус 1 контур короткого замыкания образован не будет, и описанный выше механизм защиты с перегоранием предохранителя не сработает. Кроме того, в данной ситуации аварийный корпус 1 окажется отключенным и от заземления нейтрали источника 3. В результате на неопределенно долгий срок корпус будет находиться под фазным напряжением (как и все корпуса электроустановок, подключенные к тому же нулевому защитному проводнику после места обрыва). Поэтому рекомендуется (при использовании воздушной линии электропередачи – *требуется*) выполнять повторное заземление нулевого защитного проводника при вводе в здание, т. е. в месте расположения оборудования (поз. 4 на рис. 1). При обрыве «нуля» оно выполняет функцию защитного заземления, а также обеспечивает дополнительное снижение напряжения прикосновения на время срабатывания защиты при неповрежденном нулевом защитном проводнике (особенно при контурном исполнении заземления и проведении мероприятий по выравниванию потенциалов). Если от одного источника (подстанции) запитывается электрооборудование нескольких территориально удаленных зданий, повторное заземление нулевого защитного проводника следует выполнять для каждого из этих зданий.

Таким образом, зануленное оборудование оказывается одновременно и заземленным в месте своего расположения. Поэтому в паспортах бытовых электроприборов часто используют упрощенную терминологию: «заземлить», «земля», «заземляющий контакт» (вместо «занулить» и т. д.). Собст-

венно защитное заземление следует использовать в системе IT (I – нейтраль источника изолирована от земли, T – открытые проводящие части электроустановок заземлены), т. е. в *трехпроводных* сетях с изолированной нейтралью. До 2003 г. заземление оборудования без его зануления в сетях с глухо-заземленной нейтралью вообще не допускалось [9] (действующая редакция ПУЭ [8] допускает это в рамках системы TT).

Для автоматического отключения питания в использующей зануление системе TN применяются, главным образом, защитно-коммутационные аппараты, реагирующие на сверхтоки (токи короткого замыкания). Для упрощения рассуждений и большей наглядности в качестве таких устройств на рис. 1 показаны индивидуальные (для каждой фазы) плавкие предохранители, единственными преимуществами которых являются простота и надежность. Значительно чаще используются более эффективные устройства – автоматы защиты от токов короткого замыкания. Во-первых, время срабатывания (в течение которого аварийный корпус остается под напряжением) у автоматов защиты в несколько раз меньше, чем у плавких вставок. Для последних время плавления может достигать нескольких секунд. Во-вторых, автоматы защиты являются устройствами многократного использования. В-третьих, часто требуется отключение потребителя (например, асинхронного электродвигателя) от всех трех фаз, а не только от аварийной. Это не может быть реализовано с помощью плавких предохранителей, но обеспечивается автоматическими трехфазными выключателями. В то же время, не всегда целесообразно применение трехфазных выключателей. Например – в распределительном щитке многоквартирного жилого дома: при возникновении аварийной ситуации для одной из фаз вряд ли следует производить отключение потребителей, запитанных от двух других фаз.

Кроме защитных устройств, реагирующих на сверхтоки, существуют и УЗО, реагирующие на дифференциальный ток. Область применения последних – защита от прямого прикосновения, а также при косвенном при-

косновении в системе IT (в трехпроводных сетях с изолированной нейтралью). Применение таких УЗО в системе TN «допускается» [8].

Представленный на рис. 1 вариант исполнения сети с глухозаземленной нейтралью (*четырёхпроводная сеть*) в системе TN не единственный. Дело в том, что нулевой *защитный* проводник (служащий для соединения токопроводящих корпусов потребителей с нейтральной точкой источника питания и обозначаемый PE) во многих случаях не совпадает с нулевым *рабочим* проводником N . Последний также соединен с глухозаземленной нейтралью источника, но предназначен для *питания* электропотребителей, т. е. протекания *рабочего* тока. Например, при несимметричной нагрузке (неравномерном распределении однофазных потребителей по фазам) ток по нулевому проводнику будет протекать в штатном (неаварийном) режиме. В этом случае «рабочий ноль» нельзя использовать в качестве защитного, а сеть должна быть *пятипроводной*: с разделенными рабочим (N) и защитным (PE) нулевыми проводниками (эта разновидность системы TN имеет обозначение $TN - S$). В других случаях (в том числе при достаточно большой площади сечения жилы стационарно проложенного кабеля) возможно (и целесообразно) объединение рабочего и защитного нулевых проводников в один (совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник PEN) на всем протяжении сети (система $TN - C$). Последняя схема и представлена на рис. 1. Возможна и комбинированная система $TN - C - S$, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (далее проводники PE и N разделяются, а последующее их объединение не допускается). Отметим, что обозначение PE имеют не только нулевые защитные проводники, но и любые защитные проводники (например, заземляющий проводник или проводник системы уравнивания потенциалов).

Рассмотрим подробнее, когда и каким образом используются нулевые проводники PE , N и PEN . Для этого на рис. 2 показаны варианты подклю-

чения трехфазных электропотребителей в системе $TN - C - S$ (без УЗО и повторного заземления нулевого защитного проводника).

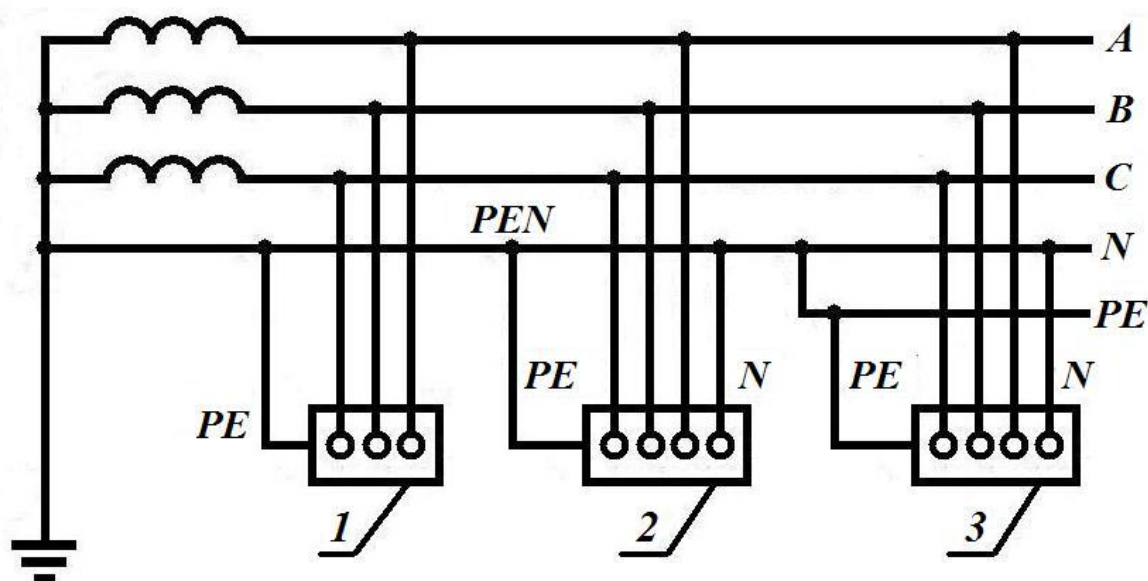


Рис. 2. Трехфазные электропотребители в системе $TN - C - S$:

1 – симметричный, без вывода нейтральной точки; 2 – симметричный, с выводом нейтральной точки; 3 – несимметричный

Потребитель 1 (например, трехфазный асинхронный электродвигатель) не имеет вывода нейтральной точки (при соединении обмоток треугольником нет и самой нейтральной точки) и вообще не нуждается в нулевом рабочем проводнике. Его корпус подключен к PEN -проводнику, выполняющему функции нулевого защитного проводника. В пятипроводной сети (или на «пятипроводном участке» показанной на рис. 2 комбинированной сети) корпус такого потребителя следовало бы присоединить к нулевому защитному проводнику PE . Симметричный потребитель 2 имеет одинаковую нагрузку во всех трех фазах – ток через его нулевой рабочий проводник при нормальной работе протекать не будет. Поэтому как вывод нейтральной точки потребителя 2, так и его токопроводящий корпус присоединены к совмещенному PEN -проводнику. Напротив, трехфазный потребитель 3 (например, какой-либо распределительный щиток, к которому под-

ключены однофазные потребители) может иметь неодинаковую нагрузку в разных фазах. При этом по его нулевому рабочему проводнику в штатном режиме будет протекать ток. Поэтому нулевой вывод и корпус потребителя Z присоединены к разным нулевым проводникам сети – соответственно к нулевому рабочему N и нулевому защитному PE . Сеть для подключения таких потребителей должна быть пятипроводной.

Бытовые электроприборы являются однофазными потребителями электроэнергии, для которых ток в нулевом рабочем проводнике *равен* фазному току. Поэтому использовать «рабочий ноль» электрической розетки с двумя контактами для зануления корпуса холодильника или стиральной машины недопустимо: в случае «переполюсовки» (фазы и нулевого рабочего проводника), нередко случающейся при проведении ремонтных работ в электросетях, корпуса «зануленных» таким способом электроприборов окажутся под напряжением 220 В. Кроме того, в цепи нулевого защитного проводника недопустима установка индивидуальных предохранителей, выключателей и т. д. (в квартирных щитках в цепи нулевого рабочего проводника они есть). Таким образом, токопроводящие корпуса бытовых электроприборов должны зануляться отдельным нулевым защитным PE -проводником (не совпадающим с нулевым рабочим проводником N). Для этого проводка в квартире должна быть трехпроводной (фазный и два нулевых проводника – N и PE), а розетки – трехконтактными («евророзетки»).

Необходимость в защитных мероприятиях, а также их выбор во многом зависят от помещения, в котором эксплуатируются электроустановки. В отношении опасности поражения электрическим током помещения классифицируются следующим образом.

К помещениям без повышенной опасности относятся те, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием одного из пяти условий (признаков):

- сырость (относительная влажность воздуха превышает 75 %);
- выделение токопроводящей технологической пыли;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, бетонные, железобетонные, кирпичные и т. п.);
- высокая температура, постоянно или периодически (более 1 суток) превышающая $+35^{\circ}\text{C}$ (что обусловлено выделением теплоты технологическим оборудованием);
- возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т. п., с одной стороны, и к открытым проводящим частям (металлическим корпусам) электрооборудования – с другой.

Особо опасные помещения характеризуются наличием одного из трех условий (признаков):

- особая сырость – относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы в таком помещении покрыты влагой);
- наличие (постоянно или в течение длительного времени) химически активной или органической (плесень и т. п.) среды, разрушающей изоляцию и токоведущие части электрооборудования;
- одновременное присутствие двух или более условий повышенной опасности.

Территория открытых электроустановок приравнивается к особо опасным помещениям. Кроме того, выделяют особо опасные работы – в металлических резервуарах, лежа на токопроводящем полу и т. п.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях (т. е. в любых помещениях), если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока. В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться для более низких напряжений, например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока или 12

В переменного и 30 В постоянного тока.

В действующих ПУЭ не указано, при каких напряжениях становится обязательным именно зануление (защитное заземление, автоматическое отключение питания). В то же время, выполнение зануления открытых проводящих частей электрооборудования при указанных выше, в зависимости от класса опасности помещения, напряжениях (до 1 кВ) предполагает само обозначение соответствующей системы – TN . В предшествующих редакциях ПУЭ (до 2003 г.) была специально оговорена обязательность защитного зануления (или заземления – в сетях с изолированной нейтралью), но для более высоких напряжений: в любом случае при напряжении 380 В и выше переменного и 440 В и выше постоянного тока, а в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках – при напряжении выше 42 В переменного и 110 В постоянного тока (во взрывоопасных зонах – при любых напряжениях).

Основным показателем эффективности зануления (и основным нормируемым его параметром) является время автоматического защитного отключения питания, которое в системе TN не должно превышать [8]:

0,8 с – при номинальном фазном напряжении $U_{\Phi} = 127$ В;

0,4 с – при $U_{\Phi} = 220$ В;

0,2 с – при $U_{\Phi} = 380$ В;

0,1 с – при значении U_{Φ} , превышающем 380 В.

Приведенные значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в т. ч. в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроустановки и ручной электроинструмент класса I (т. е. наименее защищенный, наиболее защищенный электроинструмент – класса III). В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и другие щиты и щитки (снабженные собственными защитными устройствами), время отключения не должно превышать 5 с. Допускается также увеличение времени отключения до 5 с в цепях, питающих только стацио-

нарные электроприемники от распределительных щитов или щитков, но при выполнении дополнительных требований к полному сопротивлению нулевого защитного проводника или при использовании дополнительной системы уравнивания потенциалов. Отметим, что в предшествующих изданиях ПУЭ требовалось, чтобы проводимость нулевого защитного проводника составляла не менее 50 % проводимости соответствующего фазного проводника.

Кроме времени защитного отключения регламентируются сопротивления заземлений.

Сопротивление заземлителя повторного заземления *PE*- (в системе *TN – S*) или *PEN*-проводника (в системе *TN – C*) в общем случае (в частности, при использовании кабельных линий электропередачи, для которых обрыв нулевого защитного проводника маловероятен) не нормируется (при этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители). Однако в случае использования воздушной линии (ВЛ) электропередачи (от источника к потребителю) требования к повторному заземлению нулевого защитного проводника такие же жесткие, какими они были до 2003 г. во всех случаях: общее сопротивление растеканию тока заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений для каждой ВЛ в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных (межфазных) напряжениях 660, 380 и 220 В. При этом сопротивление заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль источника, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В (с учетом естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений *PEN*-или *PE*-проводника ВЛ при количестве отходящих линий не менее двух). Сопротивление собственно заземлителя источника должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Описание лабораторного стенда

Стенд представляет собой настольную конструкцию. На вертикальной лицевой панели стенда (рис. 3) изображена мнемосхема системы «трехфазная электрическая сеть – потребители», которая содержит изображения трехфазного источника питания, фазных и нулевых (рабочего N и защитного PE) проводников, а также электропотребителей, два из которых трехфазные (корпуса 1 и 2), а один – однофазный (корпус 3).

Включение и выключение стенда производится тумблером «ВКЛ – ВЫКЛ», расположенным слева в нижней части панели. При включении стенда загораются светодиодные индикаторы наличия фазных напряжений – желтый (фаза A), зеленый (фаза B) и красный (фаза C).

На поле мнемосхемы, рядом с изображениями элементов моделируемой сети, размещены снабженные соответствующими буквенно-цифровыми обозначениями коммутационные элементы и регуляторы, выполняющие следующие функции (перечислены только задействованные в данной лабораторной работе):

- плавное изменение значения номинального фазного напряжения (« U_{Φ} ») в диапазоне $220 \text{ В} \pm 10 \%$ (не является необходимым средством для проведения лабораторной работы; может применяться для исключения получения одинаковых результатов разными группами студентов);

- изменение значений суммарных распределенных сопротивлений (« R_{AE} », « R_{BE} », « R_{CE} », « R_{NE} ») между проводами и землей (« S_{RE} »): «1; 5; 10; 20 кОм» (индекс «E» – от англ. *Earth*, земля); позволяет имитировать различные сети: протяженные или короткие, с кабельными или воздушными линиями электропередачи при различном состоянии изоляции проводов; изготовителем стенда допущена неточность – так как указанные сопротивления имеют

реактивную составляющую, правильнее было обозначить их буквой «Z»;

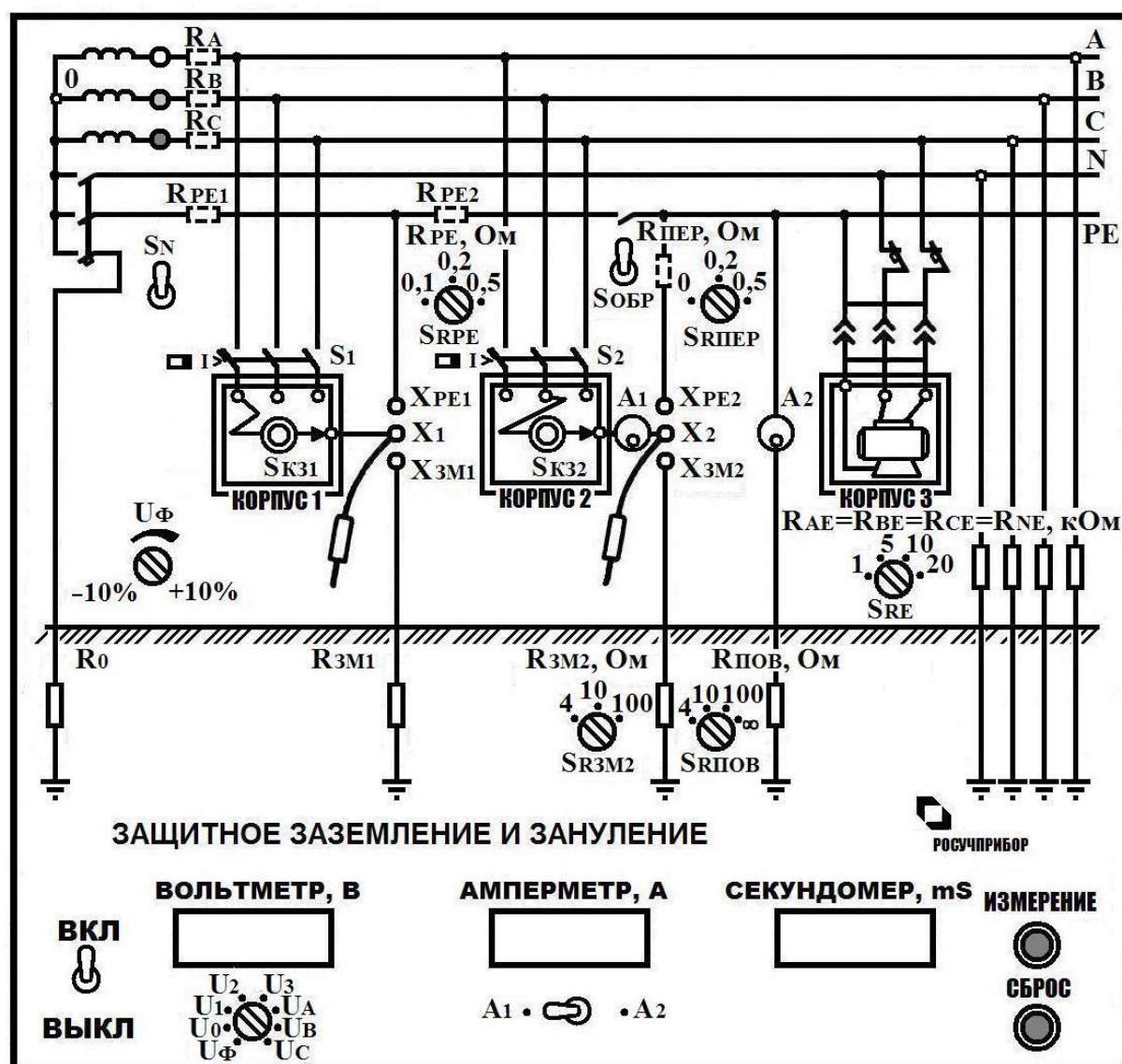


Рис. 3. Лицевая панель стенда

– имитацию подключения автоматическими трехфазными выключателями потребителей 1 и 2 кнопками « S_1 » и « S_2 »; при нажатии на эти кнопки потребители считаются включенными, что подтверждает загорание светодиодов на кнопках; отключение же потребителей кнопками « S_1 » и « S_2 » невозможно и происходит только при нажатии на кнопку «СБРОС» или при срабатывании 200-амперного автоматического выключателя (в данной лабораторной работе имеет место срабатывание только автомата защиты потреби-

теля 2, а подключение потребителя 1 кнопкой « S_1 » требуется лишь для иллюстрации того, что его автоматический выключатель не срабатывает);

- имитацию замыкания на корпус 2 фазы B кнопкой с фиксацией и индикацией « S_{K32} »; о замыкании фазы на корпус после нажатия кнопки свидетельствует загорание соответствующего светодиода, при отжатии кнопки происходит отсоединение корпуса от фазы, и светодиод на кнопке гаснет (имитация замыкания фазы A на корпус 1 в настоящей работе не предусмотрена, соответственно кнопка « S_{K31} » не задействована);

- подключение корпусов 1 и 2 к нулевому защитному проводнику PE производится путем соединения гибкими проводами с наконечниками клемм « X_1 » и « X_2 » с клеммами « X_{PE1} » и « X_{PE2} » соответственно;

- изменение значения сопротивления PE -проводника (« S_{RPE} »): «0,1; 0,2; 0,5 Ом» (сопротивления участков «источник – корпус 1» и «корпус 1 – корпус 2» условно считаются равными);

- изменение значения переходного сопротивления между корпусом 2 и нулевым защитным PE -проводником (« $S_{RПЕР}$ »): «0; 0,1; 0,5 Ом»;

- изменение значения сопротивления повторного заземления PE -проводника (« $S_{RПОВ}$ »): «4; 10; 100 Ом» (установка переключателя « $S_{RПОВ}$ » в положение « ∞ » соответствует отсутствию повторного заземления);

- имитацию обрыва PE -проводника при переводе тумблера « $S_{ОБР}$ » в нижнее положение.

Так как все задания настоящей работы выполняются для сети с глухозаземленной нейтралью, переключатель режима нейтрали « S_N » должен находиться в верхнем положении: нейтраль источника заземлена, а нулевые проводники PE и N к ней присоединены.

Сопротивления фазных проводников (« R_A », « R_B », « R_C ») установлены постоянными (0,1 Ом по каждой фазе) и распределены равномерно на двух участках – от источника до потребителя 1 и после потребителя 1.

Сопротивление заземления нейтральной точки источника питания

(«R₀») установлено постоянным (4 Ом).

Уровни напряжений на доступных прикосновению частях стенда не более 3 В и не представляют опасности поражения электрическим током.

Индикация токов («АМПЕРМЕТР») и напряжений («ВОЛЬТМЕТР») в моделируемой трехфазной сети, а также времени срабатывания автоматического выключателя потребителя 2 («СЕКУНДОМЕР») осуществляется цифровыми индикаторами в нижней части стенда. Индицируемые параметры (токи и напряжения) зависят от положения переключателей «A₁ – A₂» (ток короткого замыкания – положение «A₁»; ток, стекающий через повторное заземление PE-проводника – положение «A₂») и «U_Ф – U₀ – U₁ – U₂ – U₃ – U_A – U_B – U_C» (в работе задействованы следующие положения: номинальное фазное напряжение «U_Ф», напряжения нейтрали источника «U₀» и корпусов «U₁», «U₂», «U₃» относительно земли). Срабатывание автоматического выключателя потребителя 2 и соответствующая индикация времени срабатывания происходят при токах замыкания свыше 200 А.

По принципу работы стенд является цифровым микропроцессорным устройством, вычисляющим параметры сети в зависимости от комбинаций коммутационных элементов. Результаты выводятся на цифровые индикаторы, отображающие «измеренные» (вычисленные) значения параметров после нажатия кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ», расположенной справа в нижней части лицевой панели; там же расположена кнопка «СБРОС». Сброс предыдущих показаний необходимо производить всякий раз перед новым измерением с изменением положения коммутационных элементов и регуляторов, за исключением переключения *только* коммутатора токов «A₁ – A₂» и (или) коммутатора напряжений «U_Ф – ... – U_C». В последних случаях на табло амперметра и вольтметра новые показания появляются сразу после переключения.

Стенд устроен таким образом, что после нажатия кнопки «СБРОС» потребители 1 и 2 от сети отключаются (светодиоды на кнопках «S₁» и «S₂» гаснут). Дальнейшие измерения возможны только при условии одновремен-

ного включения корпуса 2 (кнопка « S_2 ») и замыкания на него фазы B (кнопка « S_{K32} »). Если будет произведена попытка произвести измерение при несоблюдении этого условия, на всех индикаторах как напоминание подключить потребитель 2 высветится цифра «2» (убрать которую можно только кнопкой «СБРОС»). Поэтому после каждого сброса показаний перед проведением следующего измерения требуется нажать кнопку « S_2 ».

В памяти стенда «защиты» в основной комбинации, относящиеся к лабораторным работам в соответствии с предусмотренными в них заданиями. В случае набора некоторых иных комбинаций на цифровые индикаторы выводится символ «----» («стирается» кнопкой «СБРОС»).

3.2. Методика проведения работы и обработка результатов

Выполнение работы начинается с включения стенда переводом тумблера «ВКЛ – ВЫКЛ» в верхнее положение; при этом должны загореться светодиодные индикаторы наличия фазных напряжений. При необходимости привести стенд в исходное состояние – нажать кнопку «СБРОС».

Моделировать трехфазную пятипроводную сеть с глухозаземленной нейтралью: перевести переключатель « S_N » в верхнее положение.

Занулить корпуса 1 и 2, для чего гибкими проводами с наконечниками соединить клеммы « X_1 » и « X_{PE1} », а также клеммы « X_2 » и « X_{PE2} ».

Нажать кнопки « S_2 » и « S_{K32} » (на них должны загореться светодиоды).

Установить заданное преподавателем значение сетевого фазного напряжения. Для этого установить переключатель вольтметра в позицию « U_ϕ » (крайнее левое положение). Рукоятку регулятора напряжения сети « U_ϕ » повернуть на некоторый угол в нужную от среднего положения сторону (величина U_ϕ изменяется в пределах $220 \text{ В} \pm 10 \%$), нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ», считать с цифрового табло вольтметра значение U_ϕ , сбросить показания. Повторять процесс коррекции положения регулятора до получения заданного значения ($\pm 0,2 \text{ В}$) (после каждого измерения и нажатия кнопки

«СБРОС» не забывать включать корпус 2 кнопкой « S_2 »). После этого рукоятку « U_Φ » не трогать в течение всей работы. Записать установленную величину U_Φ в отчет (ниже цели работы).

Переключателем « S_{RE} » установить заданное преподавателем сопротивление проводов относительно земли (например, для достаточно короткой сети при хорошем состоянии изоляции, $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{NE} = 20 \text{ кОм}$); занести в отчет по лабораторной работе – рядом со значением U_Φ .

Задание 1. Исследовать эффективность защитного зануления без повторного заземления неповрежденного *РЕ*-проводника в зависимости от сопротивления контура короткого замыкания путем измерения времени T срабатывания автоматического выключателя потребителя 2 (одновременно фиксируя другие параметры сети).

1. Привести стенд в исходное состояние: нажать кнопку «СБРОС»; при этом сбрасываются значения предыдущего состояния стенда.

2. Обеспечить целостность *РЕ*-проводника, установив тумблер « S_{OBR} » в верхнее положение.

3. Установить переключатель амперметра в положение « A_1 » (загорается соответствующий светодиод на мнемосхеме), а переключатель « $S_{RПОВ}$ » – в положение « ∞ », отключив повторное заземление *РЕ*-проводника.

4. Установить переключателями « S_{RPE} » и « $S_{RПЕР}$ » соответственно значения $R_{PE} = 0,1 \text{ Ом}$ и $R_{ПЕР} = 0$.

5. Присоединить электропотребители 1 и 2 к сети, нажав кнопки « S_1 » и « S_2 ». Убедиться в том, что на кнопке « S_{K32} » также горит светодиод.

6. Нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ» и убедиться в срабатывании автомата защиты потребителя 2 (светодиод на кнопке « S_2 » гаснет). Продолжающий гореть светодиод на кнопке « S_1 » свидетельствует об отсутствии отключения – потребитель 1 продолжает нормально работать.

7. Считать с табло миллисекундометра и амперметра соответственно

величины времени T срабатывания автомата защиты потребителя 2 и тока короткого замыкания I_1 .

8. Считать с табло вольтметра значения напряжений нейтрали источника и корпусов 1...3 относительно земли, для чего последовательно переводить переключатель вольтметра в положения соответственно « U_0 », « U_1 », « U_2 », « U_3 ». Данные занести в табл. 1. Нажать кнопку «СБРОС».

9. Последовательно устанавливая переключателями « S_{PE} » и « $S_{ПЕР}$ » другие указанные в табл. 1 значения сопротивлений R_{PE} и $R_{ПЕР}$, повторить измерения п.п. 5...8. Данные занести в табл. 1. Нажать кнопку «СБРОС».

Таблица 1

Результаты измерений по заданию 1

Сопротивления, Ом		Измеренные параметры					
R_{PE}	$R_{ПЕР}$	Напряжения, В				Ток I_1 , А	Время T , мс
		U_0	U_1	U_2	U_3		
0,1	0						
0,2	0						
0,5	0						
0,5	0,1						
0,5	0,5						
0,1	0,1						
0,1	0,5						

10. Сделать вывод о влиянии сопротивления образующегося при коротком замыкании контура «фаза – ноль» на значение времени срабатывания защиты (при номинальной величине $U_{\Phi} = 220$ В время защитного отключения не должно превышать 0,4 с). Отметить закономерности изменения напряжений, под которыми находятся в промежуток времени до срабатывания защиты нейтраль источника и корпуса потребителей – как аварийного, так и расположенных до (корпус 1) и после (корпус 2) аварийного.

Задание 2. Исследовать влияние повторного заземления неповрежденного PE -проводника (в том числе величины сопротивления повторного заземления $R_{ПОВ}$) на эффективность защитного зануления.

1. Переключателями «S_{PE}» и «S_{ПЕР}» установить заданные преподавателем составляющие общего сопротивления контура короткого замыкания (например, для случая надежного зануления, $R_{PE} = 0,1$ Ом и $R_{ПЕР} = 0$). Занести их величины в последнюю строку табл. 2.

2. Переключателем «S_{РПОВ}» установить минимальную величину сопротивления повторного заземления PE-проводника $R_{ПОВ} = 4$ Ом.

3. Убедиться, что переключатель «S_{ОБР}» находится в верхнем положении (или установить его), корпуса 1 и 2 занулены, а фаза В замкнута на корпус 2 (горит светодиод «S_{КЗ2}»). Подключить потребители 1 и 2 кнопками «S₁» и «S₂».

4. Выполнить измерение времени срабатывания защиты T , тока короткого замыкания I_1 и напряжений U_0, U_1, U_2, U_3 аналогично п.п. 6...8 задания 1. Кроме того, зафиксировать величину стекающего через повторное заземление тока I_2 (для этого переключатель «A₁ – A₂» необходимо перевести в положение «A₂»). Данные занести в табл. 2. Нажать кнопку «СБРОС».

Таблица 2

Результаты измерений по заданию 2

Сопротивление повторного заземления PE-проводника $R_{ПОВ}$, Ом	Измеренные параметры						
	Напряжения, В				Токи, А		Время T , мс
					I_1	I_2	
U_0	U_1	U_2	U_3				
4							
10							
100							
$R_{PE} = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом; $R_{ПЕР} = \underline{\hspace{1cm}}$ Ом							

5. Последовательно устанавливая переключатель «S_{РПОВ}» в другие положения («10» и «100» Ом), повторить измерения тех же параметров ($T, I_1, I_2, U_1, U_2, U_3$) аналогично п. 4. После каждого измерения нажимать кнопку «СБРОС».

6. Сделать вывод о влиянии величины сопротивления повторного за-

земления неповрежденного PE -проводника на эффективность защитного зануления. При анализе можно использовать и данные табл. 1 (для $R_{\text{пов}} = \infty$) – при действовавших в настоящем задании значениях R_{PE} и $R_{\text{пер}}$.

Задание 3. Исследовать влияние повторного заземления (в том числе величины сопротивления повторного заземления $R_{\text{пов}}$) на уровень обеспечения электробезопасности при обрыве PE -проводника. Так как в данном случае контур короткого замыкания не образуется и защитного отключения не происходит, основным показателем безопасности становятся величины напряжений на зануленных корпусах относительно земли.

1. Произвести обрыв PE -проводника, переведя тумблер « $S_{\text{обр}}$ » в нижнее положение.

2. Отсоединить PE -проводник от повторного заземления переводом переключателя « $S_{\text{рпов}}$ » в положение « ∞ ».

3. Присоединить электропотребители 1 и 2 к сети кнопками « S_1 » и « S_2 » (убедиться в том, что фаза B замкнута на корпус 2, а на кнопке « $S_{\text{кз2}}$ » также горит светодиод).

4. Нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ» и убедиться в том, что автомат защиты потребителя 2 не срабатывает (светодиод на кнопке « S_2 » не гаснет).

5. Измерить (аналогично п. 8 задания 1) напряжения U_0 , U_1 , U_2 , U_3 .

6. Считать с табло амперметра величину стекающего через повторное заземление тока I_2 (при положении переключателя токов « A_2 »). Переводом переключателя в положение « A_1 » убедиться в том, что ток I_1 (в этом случае не являющийся током короткого замыкания) имеет такую же величину.

7. Данные занести в табл. 3. Нажать кнопку «СБРОС».

8. Произвести измерения величин U_0 , U_1 , U_2 , U_3 , I_2 (аналогично п.п. 3÷6) при наличии повторного заземления PE -проводника, последовательно устанавливая переключателем « $S_{\text{рпов}}$ » величины его сопротивления 4, 10 и 100 Ом. Данные занести в табл. 3. Нажать кнопку «СБРОС».

Таблица 3

Результаты измерений по заданию 3

Сопротивление повторного заземления PE-проводника $R_{\text{ПОВ}}$, Ом	Измеренные параметры				
	Напряжения, В				Ток I_2 , А
	U_0	U_1	U_2	U_3	
4					
10					
100					
∞					

9. Отключить зануление корпусов 1 и 2, отсоединив гибкие провода с наконечниками от клемм « X_{PE1} » и « X_{PE2} », отключить замыкание фазы B на корпус 2 кнопкой « S_{K32} » и выключить стенд тумблером «ВКЛ – ВЫКЛ».

10. Сделать вывод о влиянии повторного заземления PE-проводника в случае обрыва последнего на уровень электробезопасности (отдельно для корпусов, расположенных до и после места обрыва).

3.3. Техника безопасности при выполнении работы

1. Пользоваться лабораторным стендом можно только после ознакомления с его устройством, работой и изложенными в настоящем разделе мерами безопасности.

2. Стенд должен быть заземлен: болт защитного заземления расположен под нижней планкой корпуса стенда рядом с сетевым вводом. Присоединение к шине заземления лаборатории должно быть выполнено медным проводом сечением не менее $2,5 \text{ мм}^2$.

3. Не следует перемещать стенд при выполнении лабораторной работы, необходимо избегать толчков и ударов по стенду.

4. Вскрывать стенд не уполномоченными на то лицами категорически запрещается.

5. После проведения работы необходимо отключить стенд от сети.

3. 4. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) цель и основные задачи работы;
- 3) задействованные значения сетевого фазного напряжения и распределенного сопротивления проводов относительно земли;
- 4) задания 1÷3 с соответствующими таблицами измерений и выводами, сделанными по результатам выполнения каждого задания.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких двух основных случаях предусматривается защита от поражения электрическим током?
2. Какие меры предусматриваются для защиты при прямом прикосновении?
При прямом и косвенном прикосновении?
3. Какие меры защиты предусматриваются для случая косвенного прикосновения? Дать их краткую характеристику.
4. Какая схема трехфазной сети используется в большинстве случаев для электроснабжения жилых, общественных и промышленных зданий, наружных электроустановок?
5. Что такое защитное зануление? Какие части оборудования зануляются?
6. В чем заключается принцип действия защитного зануления?
7. За счет чего при использовании защитного зануления реализуется автоматическое отключение питания?
8. Какую защиту обеспечивает схема зануления в промежуток времени, необходимый для срабатывания автоматического отключения питания?
9. Для чего служит повторное заземление нулевого защитного проводника?
10. Какой тип защитно-коммутационных аппаратов имеет предпочтительное применение для защитного отключения в системе TN ?

11. Назовите преимущества и недостатки плавких предохранителей и автоматов защиты от токов короткого замыкания?
12. Когда следует применять трехфазные автоматические выключатели, когда – индивидуальные (для каждой фазы)?
13. Как обозначается нулевой защитный проводник, как – нулевой рабочий? В чем заключается отличие выполняемых ими функций?
14. Как обозначается совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник? Когда его можно использовать, когда – нет?
15. Сколько проводников может иметь сеть с глухозаземленной нейтралью? Перечислите эти проводники?
16. Назовите и поясните буквенное обозначение предусмотренных ПУЭ вариантов систем электроснабжения напряжением до 1 кВ, использующих сети с глухозаземленной нейтралью?
17. Как следует производить зануление однофазных электропотребителей (в частности, бытовой аппаратуры)?
18. Дать классификацию помещений по опасности поражения током.
19. Когда следует выполнять защиту при косвенном прикосновении?
20. Какие показатели нормируются при использовании защитного зануления?
21. Как нормируется время автоматического отключения в системе TN ?
22. Каким образом нормируется допустимое сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника?
23. Каким образом нормируется допустимое сопротивление заземления нейтрали источника при напряжениях до 1 кВ?

5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьяков [и др.] / Под общ. ред. С. В. Белова. 6-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2006. – 616 с.

2. Безопасность жизнедеятельности в машиностроении: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. Г. Еремин, В. В. Сафронов, А. Г. Схиртладзе [и др.]. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
3. Бринза, В. Н. Охрана труда в черной металлургии / В. Н. Бринза, М. М. Зинковский. – М.: Металлургия, 1982. – 366 с.
4. Кораблев, В. П. Электробезопасность на предприятиях химической промышленности / В. П. Кораблев. – М.: Химия, 1991. – 238 с.
5. Королькова, В. П. Электробезопасность на промышленных предприятиях / В. П. Королькова. – М.: Машиностроение, 1970. – 522 с.
6. Охрана труда в машиностроении: учебник для машиностроительных вузов / Е. Я. Юдин, С. В. Белов, С. К. Баланцев [и др.] / Под общ. ред. Е. Я. Юдина, С. В. Белова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.
7. Салов, А. И. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта / А. И. Салов. – М.: Транспорт, 1985. – 351 с.
8. Правила устройства электроустановок. Раздел 1. Общие правила. Главы 1.1, 1.2, 1.7, 1.9. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. Главы 7.5, 7.6, 7.10. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 176 с.
9. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд. доп. и испр. – М.: Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2000. – 608 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2008. – 253 с.

Андрей Александрович **Липатов**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАНУЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе

Темплан 2013 г. Поз. № .

Лицензия ИД № 04790 от 18.05.2001 г.

Подписано в печать . 2013 г. Формат 60×84 1/16. Бумага газетная.

Гарнитура Times. Печать офсетная. Усл. печ. л. , .

Тираж 200 экз. Заказ .

Волгоградский государственный технический университет
400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28.

РПК "Политехник"

Волгоградского государственного технического университета.
400131, г. Волгоград, ул. Советская, 35.

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	
Волгоградский государственный технический университет	
Кафедра «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» (ПЭБЖ)	
Дисциплина «Безопасность жизнедеятельности»	
Исследование защитного зануления электроустановок	
Выполнил студент (ФИО):	
Группа:	
Дата:	
Преподаватель (ФИО):	

Цель работы – изучение защитных свойств зануления электроустановок в трехфазных сетях переменного тока с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.

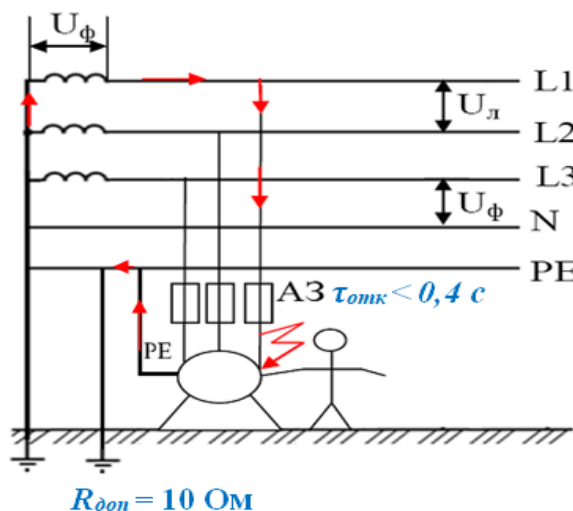


Рис. Защитное зануление электроустановки (система TN-S, 380/220 В):

L1, L2, L3 – фазные проводники;
N – нулевой рабочий проводник;
PE – нулевой защитный проводник;
АЗ – аппараты защиты (автоматические выключатели).

Таблица

Результаты измерений

Условие	Напряжение на корпусе относительно земли U_2 , В	Ток короткого замыкания I_1 , А	Ток, стекающий через повторное заземление I_2 , А	Время срабатывания (отключения) автоматических выключателей $\tau_{отк}$, мс (норма $\tau_{отк} \leq 400$ мс)
1) без повторного заземления неповрежденного PE-проводника $S_{PE} = \infty$ Ом			—	
2) с повторным заземлением неповрежденного PE-проводника $R_{PE} = 10$ Ом				
3) обрыв PE-проводника $R_{PE} = 10$ Ом				
Фазное напряжение $U_\phi = \underline{\hspace{2cm}}$ В				
Срабатывание автоматических выключателей происходит при токах замыкания свыше $I_1 \geq 200$ А				
$R_{PE} = 0,1$ Ом и $R_{ПЕР} = 0$ Ом – надежное зануление				
$R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{NE} = 20$ кОм – короткая сеть при хорошем состоянии изоляции				

Выводы: