

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 16:41:53

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

1. Общие сведения по выполнению лабораторных работ по информационно-измерительной технике и электроники
2. Основные правила техники безопасности в лаборатории электротехники и электроники
3. Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ
4. Лабораторная работа № 1.
Определение влияния режима электрической нейтрали на условия электробезопасности
Часть 1. Моделирование электрической сети с изолированной нейтралью.
Часть 2. . Моделирование электрической сети с глухозаземленной нейтралью.
5. Лабораторная работа № 2.
Определение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель
Часть 1. Снятие зависимости потенциала основания электрооборудования от расстояния до заземлителя
Часть 2. Снятие зависимости напряжения прикосновения от расстояния до заземлителя
Часть 3. Снятие зависимости шагового напряжения от расстояния до заземлителя
6. Определение силы электрического тока через тело человека
Часть 1. При прямом прикосновении к частям, находящимся под напряжением
Часть 2. При косвенном прикосновении к частям, находящимся под напряжением
7. Лабораторная работа № 4.
Моделирование зануления электрооборудования
8. Лабораторная работа № 5.
Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью
9. Лабораторная работа № 6.
Измерение сопротивления заземления
10. Лабораторная работа № 7.
Моделирование действия защитного заземления (самозаземления) электрооборудования
11. Лабораторная работа № 8.
Моделирование защитного отключения электрической сети

Общие сведения по выполнению лабораторных работ по информационно-измерительной технике и электронике

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано семь лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

Основные правила техники безопасности в лаборатории электротехники и электроники

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

1. К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

1. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование или приборы с других рабочих мест без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

2. Проверку наличия подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

3. При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в $0,025\text{ А}$ уже является опасным для жизни.

Лабораторная работа №1

Определение влияния режима электрической нейтрали на условия электробезопасности

Цель работы: оценка опасности поражения электрическим током в зависимости от:

- напряжения и схемы питания электроустановок,
- режима нейтрали,
- сопротивления элементов электрической сети,
- условий включения человека в цепь.

Формируемые компетенции: ПК-1

Уметь:

проводить анализ опасности поражения током в различных электрических сетях.

1.1 Основные теоретические положения

Режим нейтрали трехфазной сети выбирается по технологическим требованиям и условиям безопасности. Согласно ПУЭ, при напряжении выше 1 кВ применяются две схемы: трехпроводные сети с изолированной нейтралью и трехпроводные сети с эффективно заземленной нейтралью. При напряжении до 1 кВ применяются трехпроводные сети с изолированной нейтралью и четырехпроводные сети с глухозаземленной нейтралью.

Нейтраль – это точка соединения обмоток питающей цепи трансформатора или генератора. Нейтраль может быть изолированной или заземленной.

Заземленной называется нейтраль, присоединенная к заземляющему устройству, либо непосредственно, либо через малое сопротивление. Изолированной называется нейтраль либо не присоединенная к заземляющему проводу, либо соединенная с ним через большое сопротивление.

Анализируя различные случаи прикосновения человека к проводам

трехфазных электрических сетей, можно сделать вывод, что наиболее опасным является двухфазное прикосновение при любом режиме нейтрали. В этом случае ток, проходящий через тело человека I_q , определяется линейным напряжением U_L и сопротивлением его тела R_q :

$$I_q = U_L / R_q$$

$$U_L = 1,73U_\phi$$

В трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью сила тока, проходящего через тело человека, при прикосновении к одной из фаз сети в период ее нормальной работы, определяют следующим выражением в комплексной форме:

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q + Z/3},$$

– Ток в действительной форме составит:

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_q)}{9R_q^2(\omega^2 C^2)}}},$$

где Z – комплекс полного сопротивления одной фазы относительно земли, Ом;

r – сопротивление изоляции провода относительно земли, Ом;

C – емкость изоляции провода относительно земли, Ф.

Если емкость проводов относительно земли мала, что обычно имеет место в воздушных сетях небольшой протяженности, то уравнение примет вид:

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q + r/3} = \frac{3U_\phi}{3R_q + r},$$

где r – сопротивление изоляции, Ом.

Если же емкость велика, а проводимость изоляции незначительна, что обычно имеет место в кабельных сетях, то сила тока, проходящего через тело человека, будет равна:

$$I_q = \frac{U_\phi}{\sqrt{R^2 + (X_c/3)^2}},$$

где X_c – емкостное сопротивление.

В сетях с изолированной нейтралью, обладающих незначительной емкостью между проводами и землей, опасность для человека, прикоснувшегося к одной из фаз в период нормальной работы сети, зависит от сопротивления проводов относительно земли: с увеличением сопротивления опасность уменьшается. Поэтому очень важно в таких сетях обеспечивать высокое сопротивление изоляции и контролировать ее состояние для своевременного выявления и устранения возникших неисправностей. Однако в сетях с большой емкостью относительно земли

роль изоляции проводов в обеспечении безопасности прикосновения утрачивается, что видно из уравнений.

В трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью проводимость изоляции и емкостная проводимость проводов относительно земли малы по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому при определении силы тока, проходящего через тело человека, касающегося фазы сети, ими можно пренебречь.

При нормальном режиме работы сети сила тока, проходящего через тело человека, будет равна:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{ч}} + r_0},$$

где r_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

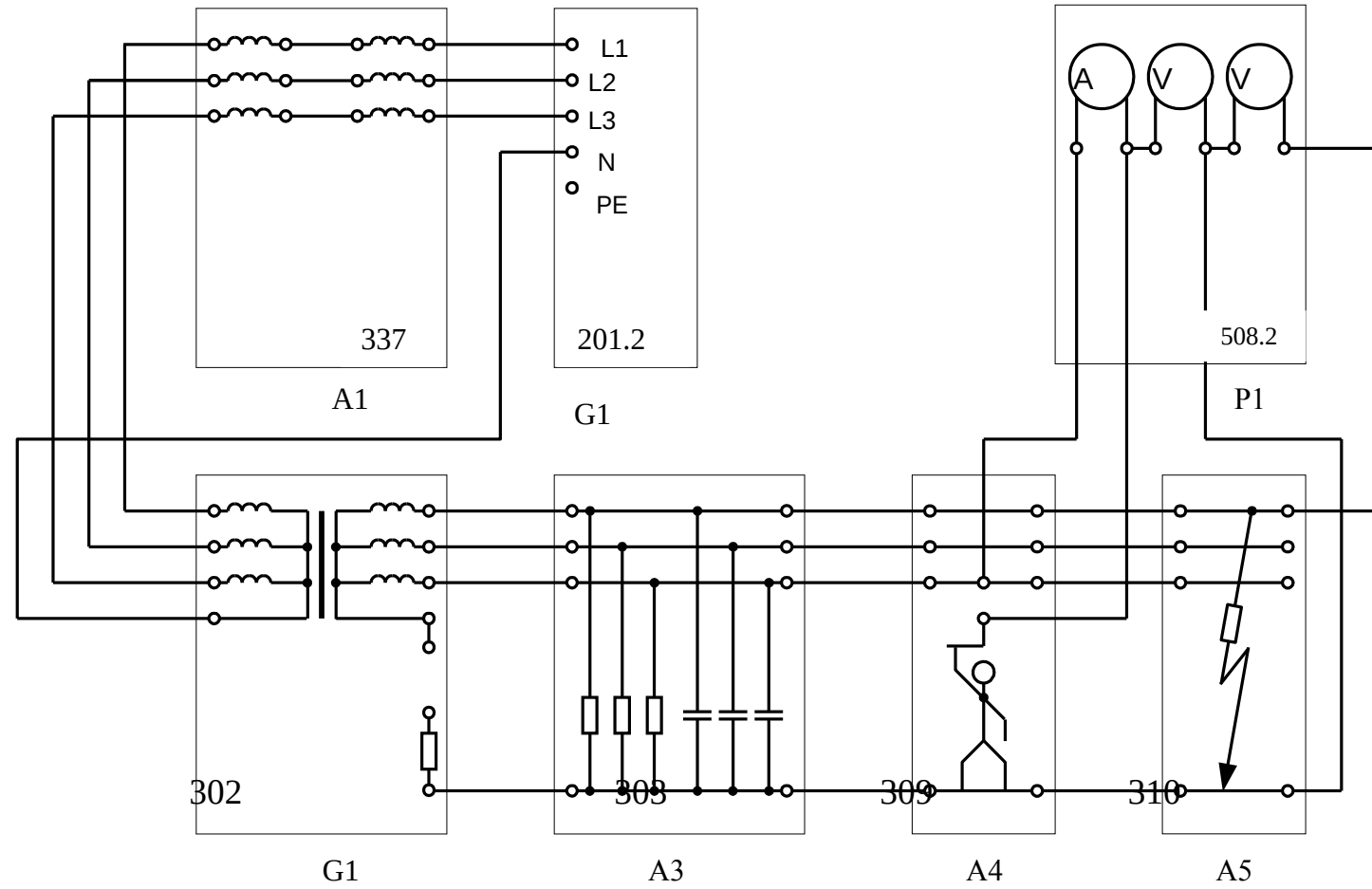
Как правило, $r_0 < 10$ Ом, сопротивление же тела человека $R_{\text{ч}}$ не опускается ниже сотен Ом. Следовательно, без большой ошибки в уравнении можно пренебречь значением r_0 и считать, что при прикосновении к одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью человек оказывается практически под фазным напряжением U_{ϕ} , а ток, проходящий через него, равен частному от деления U_{ϕ} на $R_{\text{ч}}$.

Отсюда следует, что прикосновение к фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью в период нормальной ее работы более опасно, чем прикосновение к фазе нормально работающей сети с изолированной нейтралью.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A3	Модель участка электрической сети	303
A4	Модель человека	309
A5	Модель замыкания на землю	310
P1	Блок мультиметров	508.2

Электрическая схема соединений



- **Перечень аппаратуры**
- Заполненные таблицы с необходимыми расчетными формулами.
- Общие выводы по результатам сделанной работы.
- Результаты экспериментов заносятся в табл 1.1 и 1.2

Экспериментальная таблица

Таблица 1.1

Сопротивление изоляции	Сопротивление пола	Сопротивление обуви	Сила тока, А	Напряжение, В
R_A				
R_B				
R_C				

Таблица 1.2

Экспериментальная таблица

Емкость фаз	Сопротивление на землю, $R_{\text{зам}}$	Сила тока, А	Напряжение, В
C_A			
C_B			
C_C			

Лабораторная работа №2.

Определение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель

Цель работы: изучение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель.

Формируемые компетенции: ПК-1

Уметь:

проводить анализ опасности поражения током в различных электрических сетях.

2.1 Основные теоретические положения

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая значением тока, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы замыкания цепи тока через тело человека, напряжение сети, схемой самой сети, режима ее нейтрали (т. е. заземлена или изолирована нейтраль), степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от значений емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Следовательно, указанная опасность не является однозначной: в одних случаях замыкание цепи тока через тело человека будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется не опасным, в других – токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Одной из основных причин несчастных случаев от электрического тока является появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, – на корпусах, кожухах, ограждениях и т. п.. Напряжение на этих частях может появиться как результат: повреждения изоляции токоведущих частей электрооборудования (вследствие механических воздействий, электрического пробоя, естественного старения и т. п.);

падения провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования; замыкания фазы сети на землю. Опасность поражения током в этих случаях устраняется с помощью защитного заземления, зануления, защитного отключения, выравнивания потенциала, двойной изоляцией, а также благодаря применению малых напряжений

и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние, вынос потенциала и т. п.).

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения. Данное напряжение называется напряжением прикосновения УПР. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования, за счет появления потенциалов на поверхности земли при стекании тока в землю. Данные потенциалы возникают из-за сравнительно большого удельного сопротивления грунта ($1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$ Ом м.) и уменьшаются по мере удаления от места стекания тока в землю. В непосредственной близости от места стекания тока в землю потенциал основания, на котором стоит человек,

практически равен потенциалу заземленного оборудования. При этом разность потенциалов, определяющая напряжение прикосновения, минимальна. По мере удаления данного основания от места стекания тока в землю указанная разность потенциалов возрастает, то есть эффект выравнивания потенциалов ослабевает. При удалении человека от места стекания тока в землю на 20 метров и более напряжение прикосновения практически равно потенциалу корпуса электроустановки оказавшейся под напряжением.

Если корпус электрооборудования не заземлен, и он оказался в контакте с фазой, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае величина тока в комплексной форме, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью, определяется соотношением:

$$\bar{I}_q = \frac{\bar{U}_\phi}{R_q + R_{об} + R_{II} + Z_{II} / 3}$$

где $\bar{I}_q$, $\bar{U}_\phi$, Z_{II} – комплексы тока, А, фазного напряжения, В и сопротивления изоляции одной фазы, Ом;

R_q – сопротивление тела человека, Ом;

$R_{об}$ – сопротивление обуви человека, Ом;

R_{II} – сопротивление пола (основания), Ом.

При малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли этот ток может достигать опасных значений.

Для трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью (рис. 2.1) проводимость изоляции фазных проводов относительно земли пренебрежимо мала по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому величина тока через тело человека практически не зависит от сопротивления изоляции и равна:

$$\bar{I}_q = \frac{U_\phi}{R_q + R_{об} + R_{II} + R_3},$$

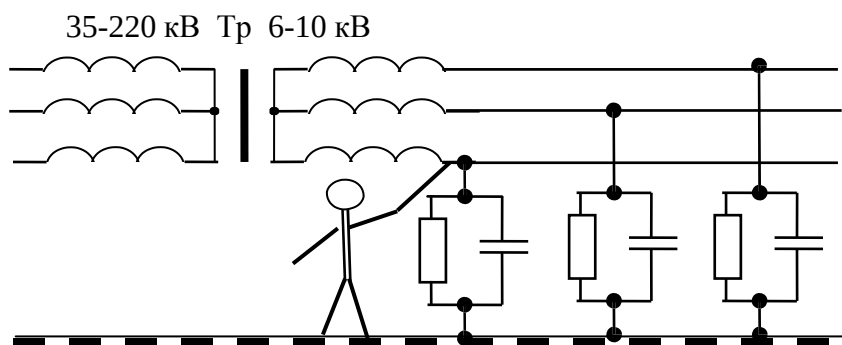


Рис. 2.1 Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

Наиболее неблагоприятный случай будет, когда человек прикоснувшийся к фазе имеет на ногах токопроводящую обувь – сырую или подбитую металлическими гвоздями и стоит непосредственно на сырой земле или на проводящем основании – на металлическом полу, на заземленной металлической конструкции, т. е. когда можно принять $R_{об}=0$ и $R_{II}=0$. Сопротивление заземления нейтрали R_0 обычно во

много раз меньше сопротивления тела человека (как правило, R_0 не превышает 10 Ом) и им можно пренебречь. При этих условиях величина тока через тело человека достигает опасной величины. Например, при $R_{\text{ч}}=1000$ Ом (вполне вероятная величина) и $R_3=4$ Ом $I_{\text{ч}}=220/(1000+4)\approx 0,22$ А.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя – металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляющие части с заземлителем.

Заземлители бывают искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления и естественные, находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды, т.е. одиночные заземлители.

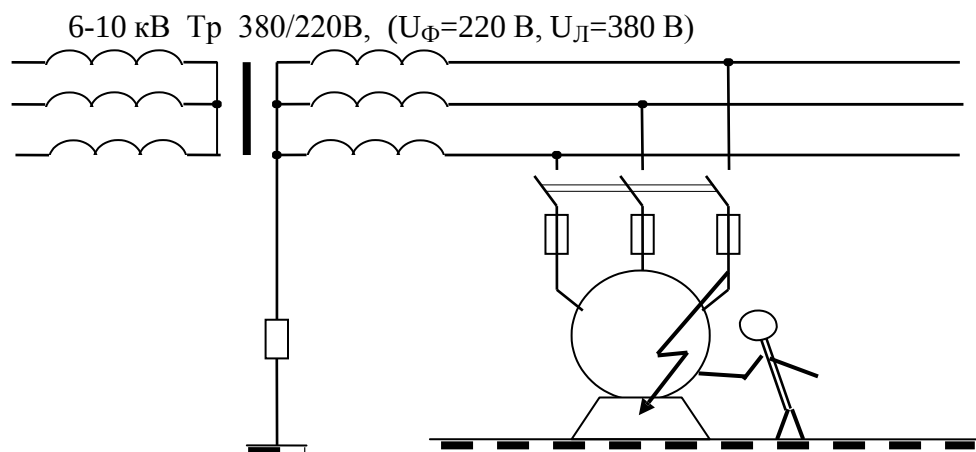


Рис. 2.2 Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы диаметром 3–5 см и угловая сталь размером от 40×40 до 60×60 мм длиной 2,5–3 м, а также стальные прутки диаметром 10–12 мм и длиной до десяти метров.

Для соединения вертикальных электродов между собой и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4×12 мм или сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Для погружения в землю вертикальных электродов предварительно роют траншею глубиной 0,7–0,8 м, после чего их забивают и верхние концы соединяют стальной полосой с помощью сварки. В таких же траншеях прокладывают и горизонтальные электроды. Траншею засыпают землей, очищенной от строительного мусора, а затем тщательно утрамбовывают, что обеспечивает лучшую проводимость грунта, а следовательно, уменьшает расход металла на устройство заземления.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющих устройств (ЗУ) – выносное ЗУ и контурное ЗУ. У выносного ЗУ заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. Это приводит к тому, что практически не происходит выравнивание потенциала основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования. Эффективность применения такого ЗУ обусловлена только снижением потенциала заземленного оборудования. При этом оказывается несущественным число и схема расположения заземляющих электродов, рис. 2.3.

При замыкании фазы на корпус и стекании тока I_3 через заземлитель $\phi_3(X)$ достигает максимума в точке поверхности над заземлителем и практически затухает через 20 метров. При этом на руку человека, прикоснувшегося к корпусу электрооборудования, действует потенциал заземлителя ϕ_3 , а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю. Напряжение прикосновения $U_{\text{ПР}}$, равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно ϕ_3 .

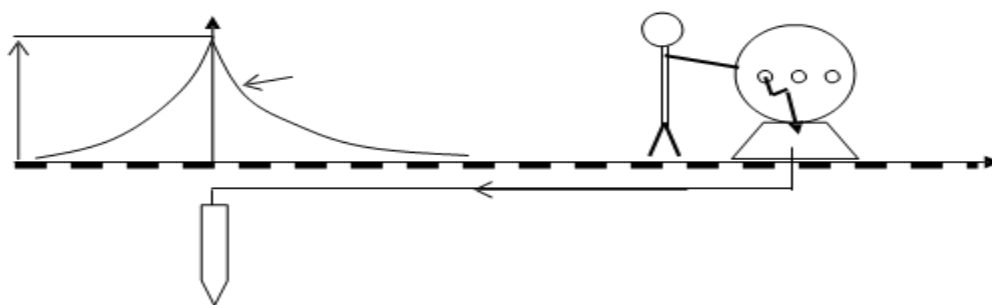


Рис. 2.3 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

Контурные ЗУ характеризуются по возможности равномерным размещением заземляющих электродов по площадке, на которой установлено электрооборудование. Такое ЗУ называется распределенным. Снижение напряжения прикосновения в этом случае обусловлено не только перераспределением падения напряжения источника, но и вы-

равниванием потенциалов заземленного корпуса электроустановки и основания, на котором стоит человек, как это показано на рис. 20. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала $\phi_{\Sigma}(X)$. Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения $U_{\text{ПР}}$ значительно уменьшается и составляет доли ϕ_3 .

В качестве естественных заземлителей могут использоваться: проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов); обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющие соединение с землей; металлические шпунты гидротехнических сооружений; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

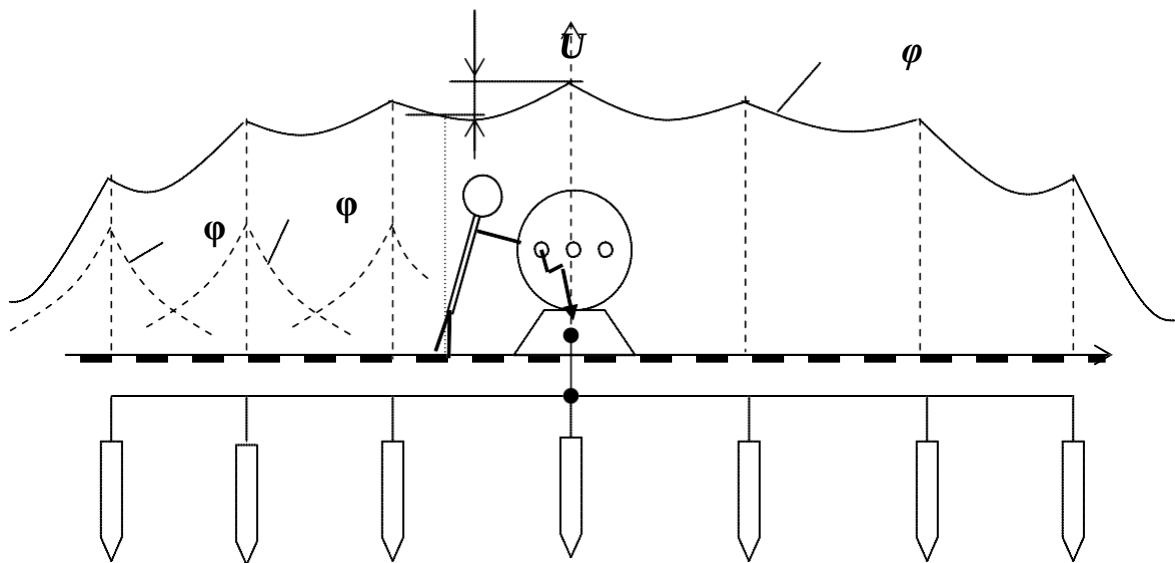


Рис. 2.4 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

Алюминиевые оболочки кабелей и алюминиевые проводники не допускается использовать в качестве естественных заземлителей.

В электрических распределительных устройствах высокого напряжения в качестве естественного заземлителя используется заземление опор отходящих воздушных линий с грозозащитными тросами при условии, что тросы не изолированы от опор.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, поэтому использование их для целей заземления экономически весьма целесообразно.

Заземляющие проводники, т. е. проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем выполняются обычно из полосовой стали. Прокладка их производится по стенам и другим конструкциям зданий. В качестве заземляющих проводников допускается использовать различные металлические конструкции.

Присоединение заземляемого оборудования к магистралям заземления, т. е. к основному заземляющему проводнику, идущему от заземлителя, осуществляется с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается.

Соединения заземляющих проводников между собой, а также заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняются, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования – сваркой или с помощью болтов.

Отличительной окраской заземляющей сети является черный цвет, которым должны быть окрашены все открыто расположенные заземляющие проводники, конструкции и полосы сети заземления.

Область применения защитного заземления – трехфазные сети до 1 кВ с изолированной нейтралью и выше 1 кВ. с любым режимом работы нейтрали.

Требования к устройству защитного заземления и зануления определены Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), в соответствии с которыми защитному заземлению или занулению подлежат все металлические и другие токопроводящие части электроустановок и оборудования, которые случайно в аварийном режиме могут оказаться под напряжением (ССБТ ГОСТ 12.1.030–81):

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока – во всех электроустановках;
- при номинальном напряжении выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и в наружных электроустановках;
- во взрывоопасных помещениях необходимо заземлять все оборудование независимо от напряжения.

При номинальных напряжениях менее 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока заземления или зануления электроустановок не требуется.

Для заземления установок, которые питаются от одной сети, целесообразно проектировать общее заземляющее устройство. Если имеется несколько заземляющих устройств, они должны быть электрически соединены между собой.

Для осуществления эффективной защиты величина сопротивления защитного заземления не должна превышать значений, при которых напряжение прикосновения или шаговое напряжение достигают опасных величин (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Максимально допустимые значения сопротивления защитного заземления в зависимости от характеристик электрических сетей

Допустимое сопротивление заземляющего устройства R , Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА
10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
$125/I_3$, но не более 10 (I_3 расчетный ток замыкания на землю, А)	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В
Электроустановки напряжением выше 1000 В	
$250/I_3$, но не более 10	Если заземляющее устройство используется в сети с изолированной нейтралью
0,5	Если заземляющее устройство используется в сети с эффективно заземленной нейтралью

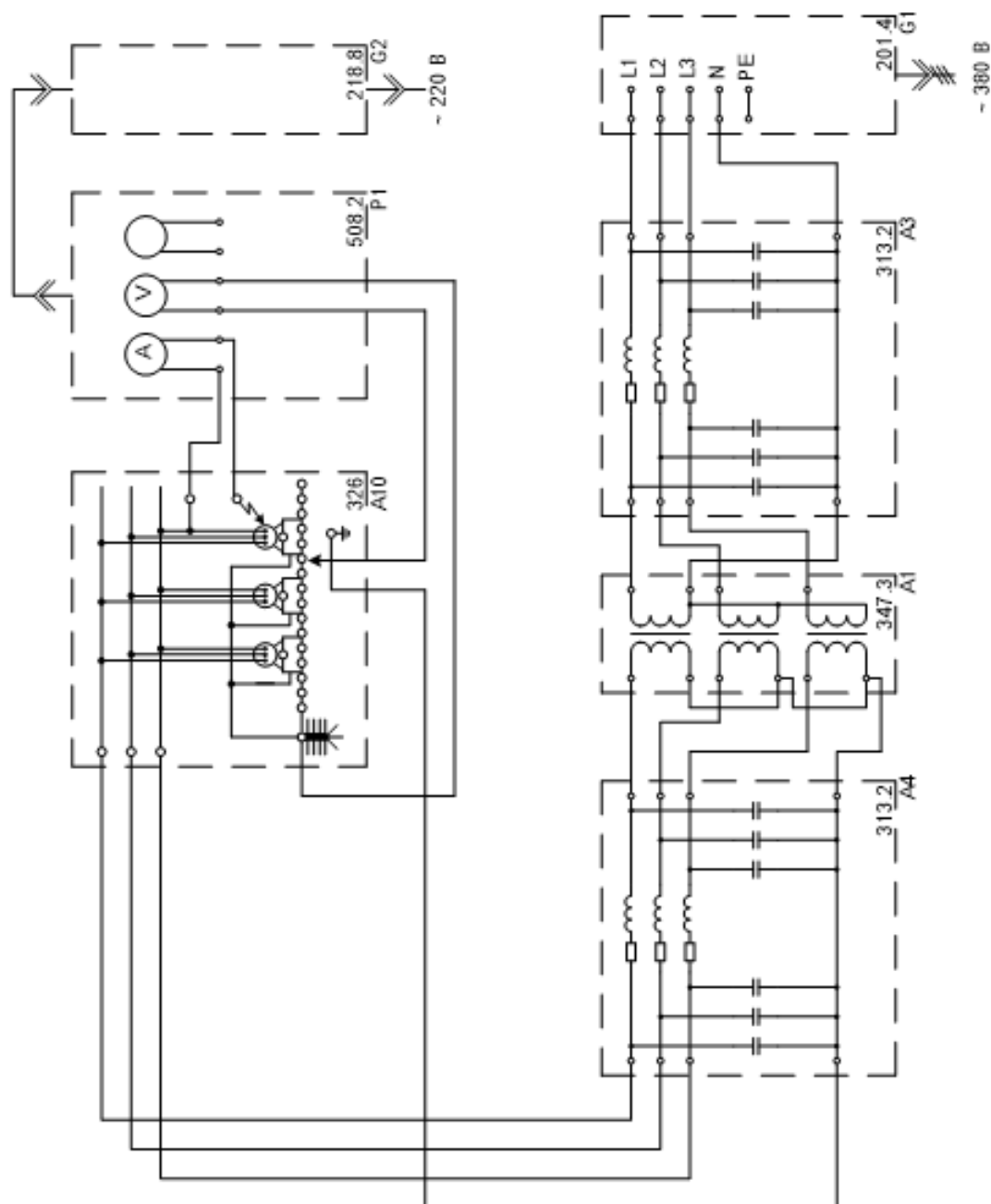
Часть 1. Снятие зависимости потенциала основания электрооборудования от расстояния до заземлителя

Перечень оборудования

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.4	$\sim 3 \times 220 \text{ В} / 6 \text{ А}$
G2	Однофазный источник питания	218.8	$\sim 220 \text{ В} / 6 \text{ А}$
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	$3 \times 80 \text{ В} \cdot \text{А}$ (звезда) 220, 225, 230 В / 133, 220, 225, 230, 235, 240, 245 В
A3, A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В $\sim$; $3 \times 0.5 \text{ А}$

A10	Модель заземлителя с вертикальным трубчатым электродом	326	380 В ~; 3 × 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра $\varnothing$ 0...1000 В / $\varnothing$ 0...10 А / 0...20 МОм

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

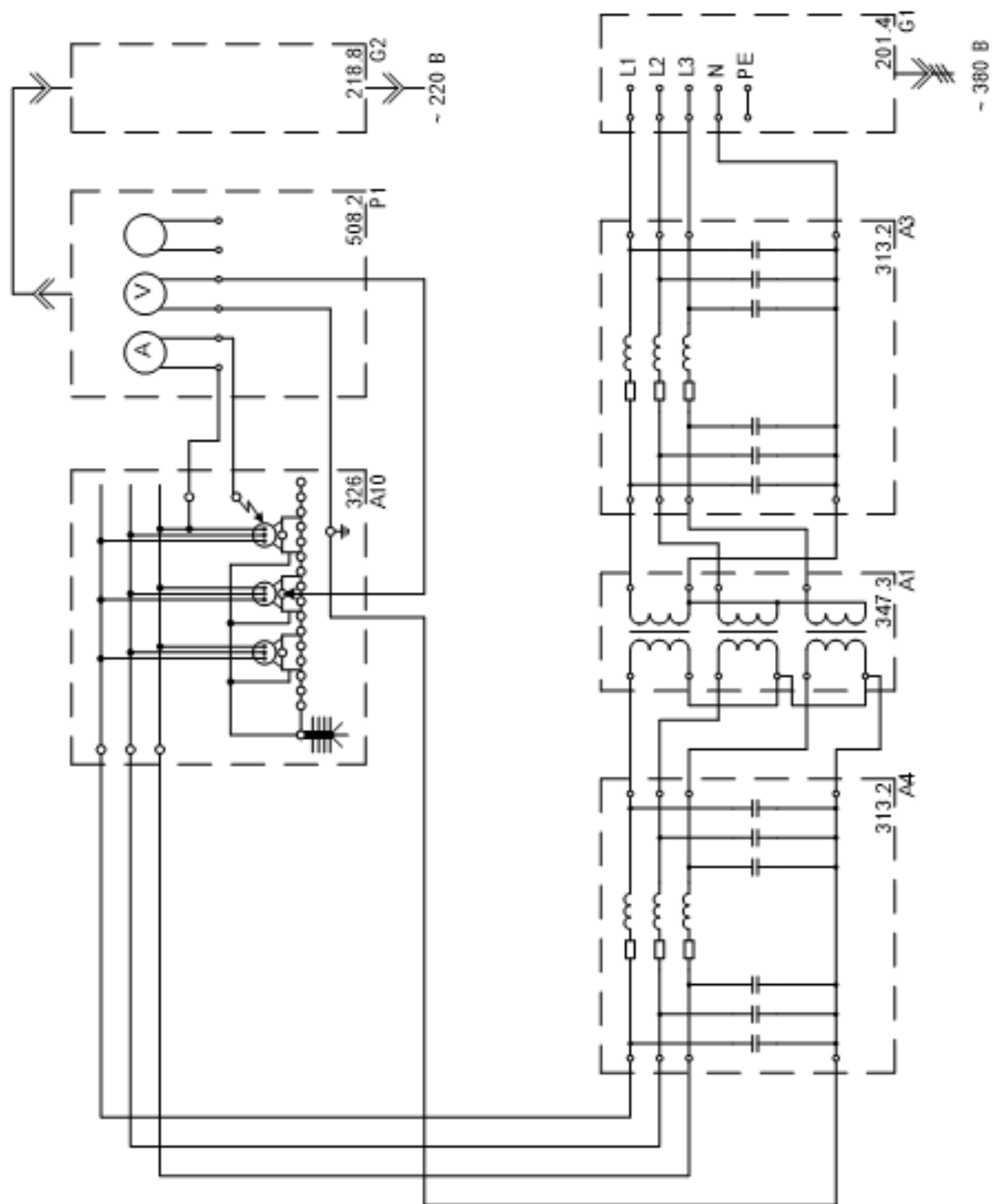
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений.
- Установите переключателями желаемые значения напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора блока A1, например, 230 В.
- Установите переключателями желаемые параметры моделей A3 и A4 линии электропередачи, например, $R=0$, $L=1,2$ Гн и $C/2=0$ мкФ.
- Включите источник G2.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и активизируйте используемые мультиметры.
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- При заданном сопротивлении грунта ρ модели заземлителя A6, снимите с помощью вольтметра блока P1 зависимость от расстояния x : потенциала основания электрооборудования $\varphi_{\text{осн}} = f(x)$ (вольтметр включать между гнездом «1» и гнездами, соответствующими расстоянию x).
- Ток стекания в землю контролируйте с помощью амперметра блока P1. Он не должен превышать **0,5 А!**
- По завершении эксперимента отключите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и источники G1, G2.
- Проанализируйте снятую зависимость $\varphi_{\text{осн}} = f(x)$.

Часть 2. Снятие зависимости напряжения прикосновения от расстояния до заземлителя

Перечень оборудования

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.4	$\sim 3 \times 220$ В / 6 А
G2	Однофазный источник питания	218.8	~ 220 В / 6 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3×80 В·А (звезда) 220, 225, 230 В / 133, 220, 225, 230, 235, 240, 245 В
A3, A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В $\sim$; 3×0.5 А
A10	Модель заземлителя с вертикальным трубчатым электродом	326	380 В $\sim$; 3×0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра $\approx 0 \dots 1000$ В / $\approx 0 \dots 10$ А / $0 \dots 20$ МОм

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений.
- Установите переключателями желаемые значения напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора блока A1, например, 230 В.
- Установите переключателями желаемые параметры моделей A3 и A4 линии электропередачи, например, $R=0$, $L=1,2$ Гн и $C/2=0$ мкФ.
- Включите источник G2.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и активизируйте используемые мультиметры.
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- При заданном сопротивлении грунта ρ модели заземлителя A6, снимите с помощью вольтметра блока P1 зависимость от расстояния x напряжения прикосновения $U_{np} = f(x)$ (вольтметр включать между гнездом «0» и гнездами, соответствующими расстоянию x).
- Ток стекания в землю контролируйте с помощью амперметра блока P1. Он не должен превышать **0,5 А!**
- По завершении эксперимента отключите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и источники G1, G2.
- Проанализируйте снятую зависимость $U_{np} = f(x)$.

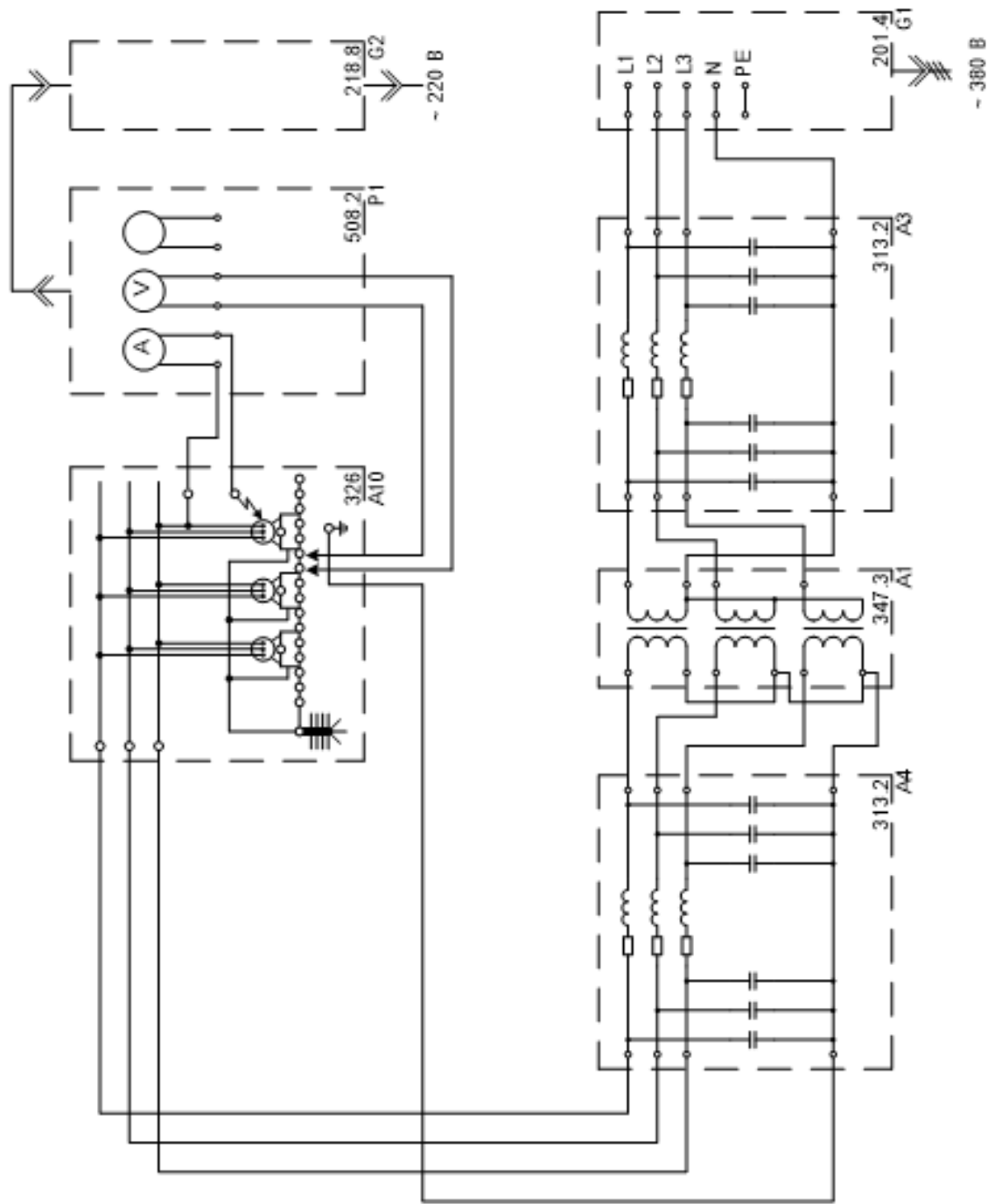
Часть 3. Снятие зависимости шагового напряжения от расстояния до заземлителя

Перечень оборудования

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.4	$\sim 3 \times 220$ В / 6 А
G2	Однофазный источник питания	218.8	~ 220 В / 6 А
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.3	3×80 В·А (звезда) 220, 225, 230 В / 133, 220, 225, 230, 235, 240, 245 В
A3, A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В $\sim$; 3×0.5 А
A10	Модель заземлителя с вертикальным трубчатым электродом	326	380 В $\sim$; 3×0.5 А

P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра $\approx 0...1000\text{ В}$ / $\approx 0...10\text{ А}$ / $0...20\text{ МОм}$
----	-------------------	-------	--

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений.
- Установите переключателями желаемые значения напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора блока A1, например, 230 В.
- Установите переключателями желаемые параметры моделей A3 и A4 линии электропередачи, например, $R=0$, $L=1,2$ Гн и $C/2=0$ мкФ.
- Включите источник G2.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и активизируйте используемые мультиметры.
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- При заданном сопротивлении грунта ρ модели заземлителя A6, снимите с помощью вольтметра блока P1 зависимость от расстояния x шагового напряжения $U_{\text{ш}} = f(x)$ (вольтметр включать между соседними гнездами, соответствующими расстоянию x).
- Ток стекания в землю контролируйте с помощью амперметра блока P1. Он не должен превышать **0,5 А!**
- По завершении эксперимента отключите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и источники G1, G2.
- Проанализируйте снятую зависимость $U_{\text{ш}} = f(x)$.

Лабораторная работа №3

Определение силы электрического тока через тело человека

Цель работы: научиться определять силу электрического тока через тело человека при прямом и косвенном прикосновении

Формируемые компетенции: ПК-1

Уметь:

проводить анализ опасности поражения током в различных электрических сетях.

3.1 Основные теоретические положения

Проходя через организм, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действия.

Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов и других тканей.

Электролитическое действие выражается в разложении крови и других органических жидкостей, что вызывает значительные нарушения их физико-химических составов.

Биологическое действие выражается в возбуждении живых тканей организма (что сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц), а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями. В результате могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения. Раздражающее действие тока на ткани организма может быть прямым, когда ток проходит непосредственно по этим тканям, и рефлекторным, т.е. через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этих тканей.

Исход воздействия тока зависит от множества факторов, в том числе от значения и длительности протекания через тело человека тока, рода и частоты тока и индивидуальных свойств человека. Электрическое сопротивление тела человека и приложенное к нему напряжение влияют на исход поражения, но лишь постольку, поскольку они определяют значение тока, проходящего через тело человека.

Электрическое сопротивление тела человека складывается из сопротивления кожи и сопротивления внутренних тканей.

Кожа, вернее ее верхний слой, называемый эпидермисом, имеющий толщину до 0,2 мм и состоящий в основном из мертвых ороговевших клеток, обладает большим сопротивлением, которое и определяет общее сопротивление тела человека. Сопротивление нижних слоев кожи и внутренних тканей человека незначительно. При сухой чистой и неповрежденной коже сопротивление тела человека колеблется в пределах 2 кОм – 2 МОм. При увлажнении и загрязнении кожи, а также при повреждении кожи (под контактами) сопротивление тела оказывается наименьшим – около 500 Ом, т.е. доходит до значения, равного сопротивлению внутренних тканей тела. При расчетах сопротивление тела человека принимается равным 1 кОм.

Значение тока, протекающего через тело человека, является главным фактором, от которого зависит исход поражения: чем больше ток,

тем опаснее его действие. Человек начинает ощущать протекающий через него ток промышленной частоты (50 Гц) относительно малого значения: 0,6–1,5 мА. Этот ток называется пороговым ощутимым током.

Ток 10–15 мА (при 50 Гц) вызывает сильные и весьма болезненные судороги мышц рук, которые человек преодолеть не в состоянии, т. е. он не может разжать руку, которой касается токоведущей части, не может отбросить провод от себя и оказывается как бы прикованным к токоведущей части. Такой ток называется пороговым неотпускающим.

При 25–50 мА действие тока распространяется на мышцы грудной клетки, что приводит к затруднению и даже прекращению дыхания. При длительном воздействии этого тока – в течение нескольких минут – может наступить смерть вследствие прекращения работы легких.

При 100 мА ток оказывает непосредственное влияние также и на мышцу сердца; при длительности протекания более 0,5 секунд ток может вызвать остановку или фибрилляцию сердца, т.е. быстрые хаотические и разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых сердце перестает работать как насос. В результате в организме прекращается кровообращение и наступает смерть. Этот ток называется фибрилляционным.

Длительность протекания тока через тело человека влияет на исход поражения вследствие того, что со временем резко повышается ток за счет уменьшения сопротивления тела и накапливаются отрицательные последствия воздействия тока на организм.

Род и частота тока в значительной степени определяют исход поражения. Наиболее опасным является переменный ток с частотой 20–100 Гц. При частоте меньше 20 или больше 100 Гц опасность поражения током заметно снижается.

Токи частотой свыше 0,5 МГц не оказывают раздражающего действия на ткани и поэтому не вызывают электрического удара. Однако они могут вызвать термические ожоги.

При постоянном токе пороговый ощутимый ток повышается до 6–7 мА, пороговый неотпускающий ток – до 50–70 мА, а фибрилляционный при длительности воздействия более 0,5 секунд – до 300 мА.

**Часть 1. Определение силы электрического тока через тело человека
При прямом прикосновении к частям, находящимся под напряжением**

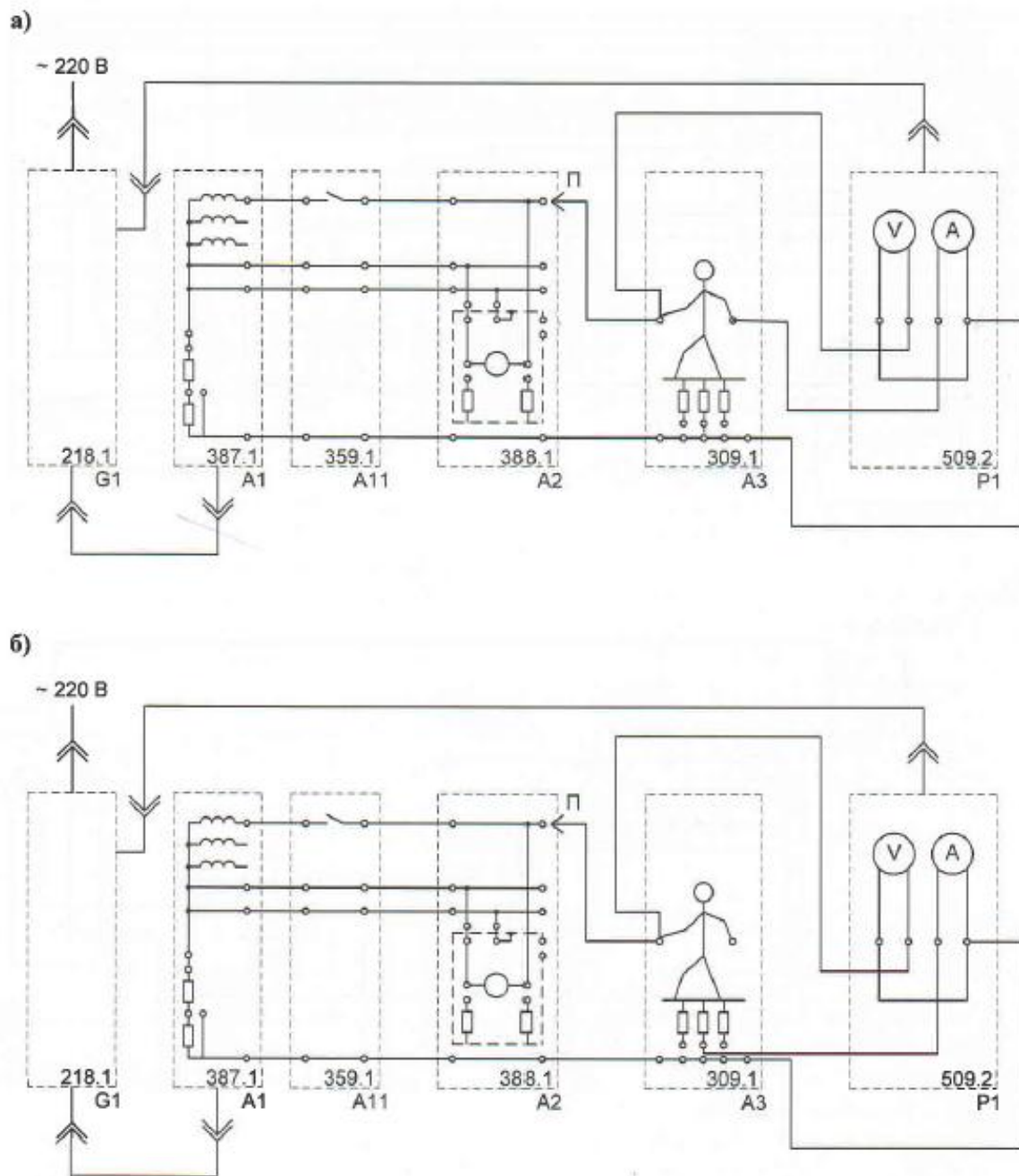


Рис. 1.1. Схема для определения силы электрического тока через тело человека при прямом прикосновении его к частям, находящимся под напряжением:

- а) путь тока в теле человека «рука – рука»;
- б) путь тока в теле человека «рука – ноги».

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Однофазный источник питания	218.1	~ 220 В / 16 А
A1	Модель питающей электрической сети	387.1	~ 220 В / 50 ВА
A2	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	~ 220 В
A3	Модель человека	309.1	~ 220 В / 1 кОм
A11	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	~ 220 В / 0,5 А
P1	Блок мультиметров	509.2	2 мультиметра 0...1000 В $\varnothing$; 0...10 А $\varnothing$; 0...20 МОм

Порядок проведения работы

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 1.1.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1.
- Включите автоматический выключатель A11. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника A2.
- Смоделируйте прямое прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, втыканием конца проводника «П», в гнездо фазы «L» электроприемника A2, как это показано на рис 1.1.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения.
- По завершении эксперимента отключите выключатель A11 и автоматические выключатели однофазного источника питания G1, выключатели «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети и «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Вид обуви человека и тип пола, на котором он стоит, можно варьировать, проводя эксперименты с другими сопротивлениями стеканию тока с ног человека в землю.

Часть 2. Определение силы электрического тока через тело человека При косвенном прикосновении к частям, находящимся под напряжением

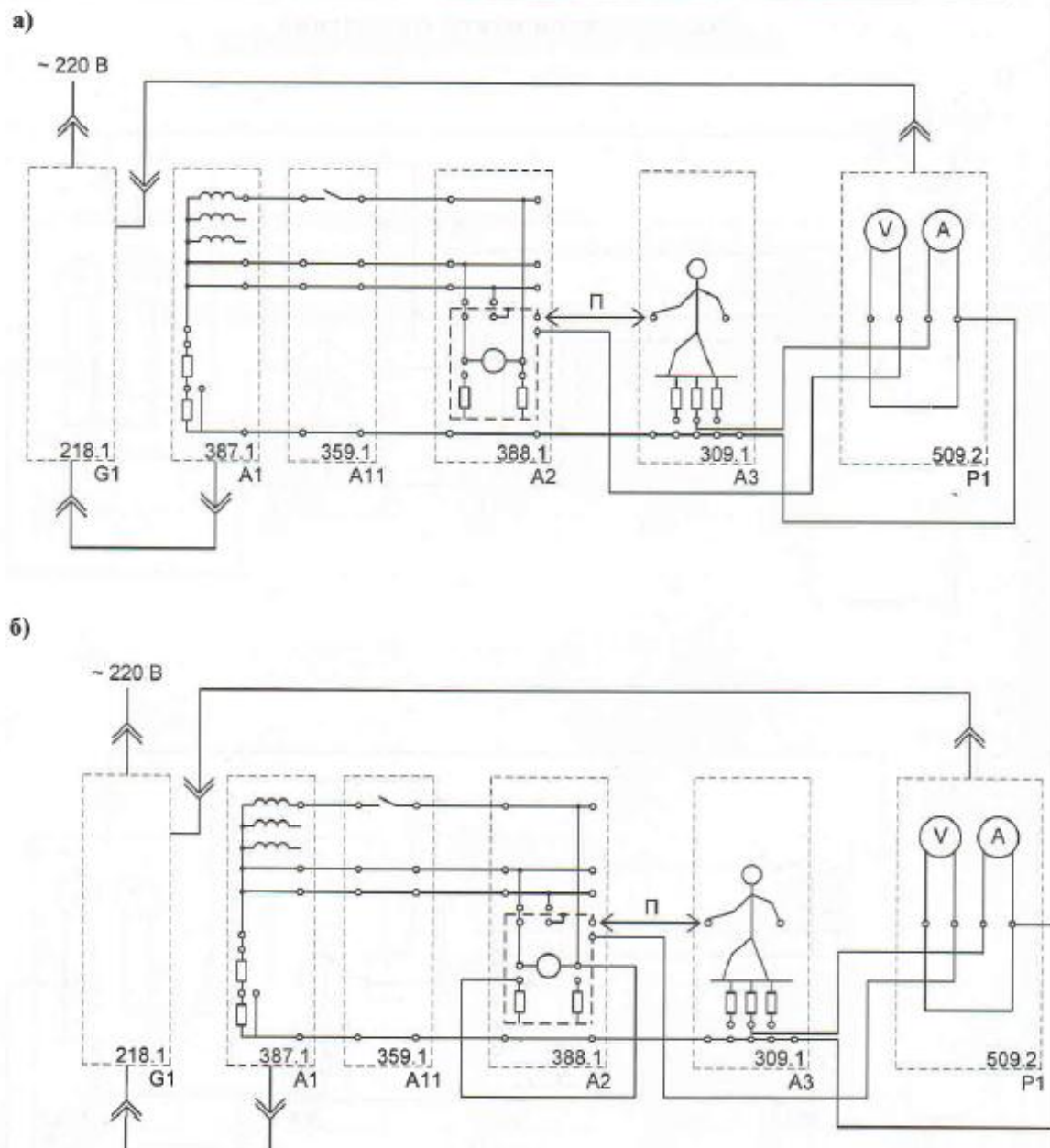


Рис. 1.2. Схема для определения силы электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении его к частям, находящимся под напряжением:

- а) при снижении сопротивления основной изоляции электроприемника до 15 кОм;
- б) при снижении сопротивления основной изоляции электроприемника до 10 Ом.

Порядок проведения работы

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рис. 1.2, а (1.2, б).
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели А1 питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели А1.
- Включите автоматический выключатель А11. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника А2.
- Смоделируйте косвенное прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, втыканием перемычки (конца проводника) «П», в гнездо электроприемника А2, как это показано на рис 1.2, а (1.2, б).
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели А11 и однофазного источника питания G1, выключатели «ПИТАНИЕ» модели А1 питающей электрической сети и «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Вид обуви человека и тип пола, на котором он стоит, можно варьировать, проводя эксперименты с другими сопротивлениями стеканию тока с ног человека в землю.

Требования к отчету

В отчет по лабораторной работе вносится:

- Наименование и цель работы.
- Применяемые приборы и оборудование.
- Общие выводы по результатам сделанной работы.

Лабораторная работа №4

Моделирование зануления электрооборудования

Цель работы: Изучить на лабораторном стенде принцип работы защитного зануления, назначение элементов зануления (зануления) нейтрали источника питания, соединения корпуса электроустановки

с нулевым проводником, повторного заземления нулевого проводника)

Формируемые компетенции: УК-8

Уметь:

эффективно применять электротехнические защитные средства

4.1 Основные теоретические положения

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок с глухозаземленной нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Для соединения открытых проводящих частей потребителя электроэнергии с глухозаземленной нейтральной точкой источника используется нулевой защитный проводник.

Нулевым защитным проводником (**РЕ** – проводник в системе **TN – S**) называется проводник, соединяющий зануляемые части (открытые проводящие части) с глухозаземленной нейтральной точкой источника питания трехфазного тока или с заземленным выводом источника питания однофазного тока, или с заземленной средней точкой источника питания в сетях постоянного тока.

Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего и **PEN** – проводников.

Нулевой рабочий проводник (**N** – проводник в системе **TN – S**) – проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников соединенный с глухозаземленной нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

Совмещенный (**PEN** – проводник в системе **TN – C**) нулевой защитный и нулевой рабочий проводник – проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводника.

Зануление необходимо для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении за счет снижения

напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети.

Область применения зануления:

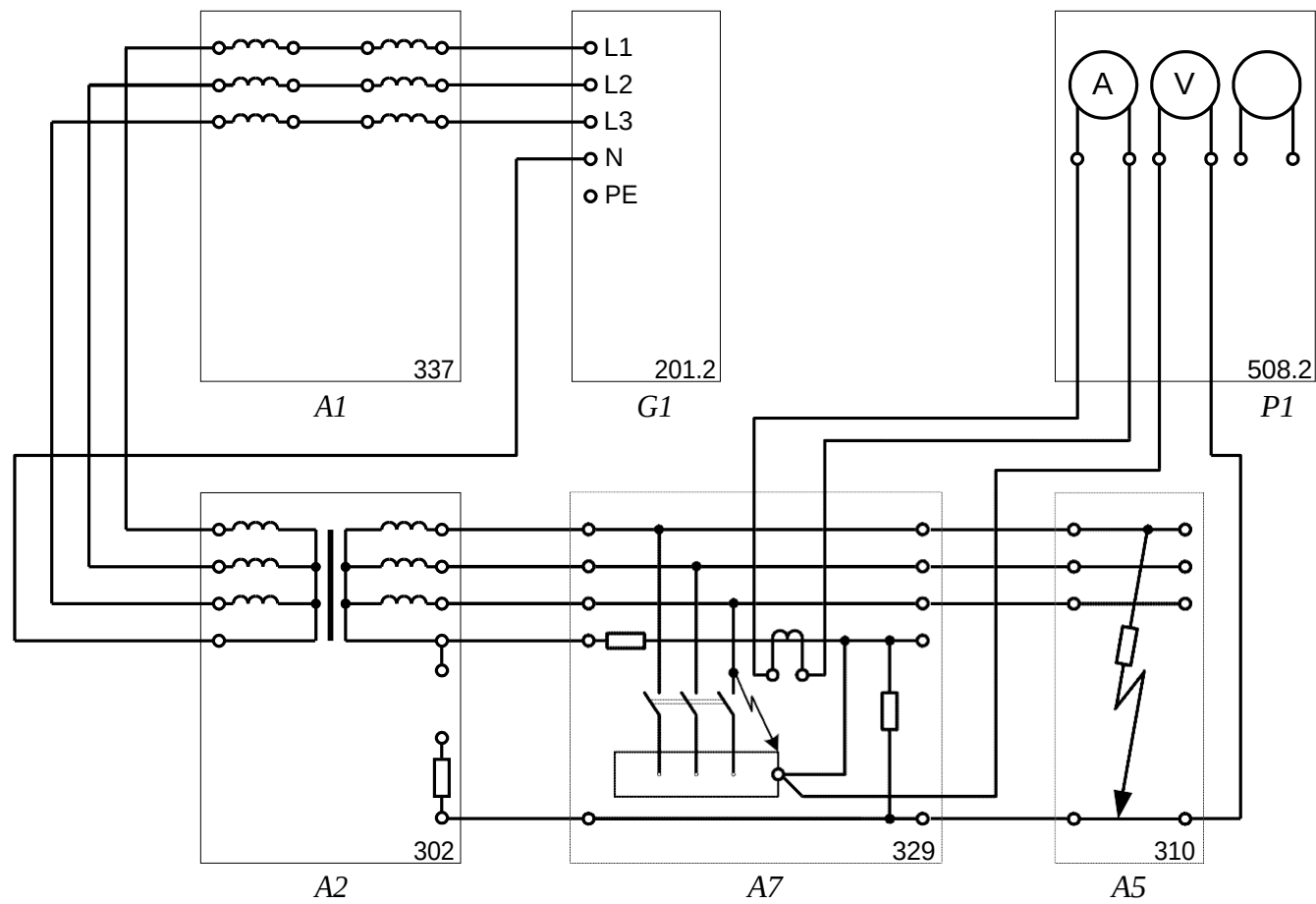
- У электроустановки напряжением до 1 кВ в трехфазных сетях переменного тока с заземленной нейтралью (система **TN – S**; обычно это сети 220/127, 380/220, 660/380 В);
- У электроустановки напряжением до 1 кВ в однофазных сетях переменного тока с заземленным выводом;
- У электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях постоянного тока с заземленной средней точкой источника.

Принцип действия зануления. При замыкании фазного провода на зануленный корпус электропотребителя образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (то есть замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание максимальной токовой защиты, в результате чего происходит отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. Кроме того, до срабатывания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения поврежденного корпуса относительно земли, что связано с защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и перераспределением напряжений в сети при протекании тока короткого замыкания.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A5	Модель замыкания на землю	310
A7	Модель зануления	329
P1	Блок мультиметров	508.2

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

1. Перед началом работы необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Гнезда защитного заземления «» устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1.
3. Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
4. В модели А5 сопротивление замыкания на землю устанавливается равным бесконечности: $R_{\text{зам}} = \infty$.
5. Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
6. Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируется установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя R0 в блоке трехфазного трансформатора А2.
7. Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируется установкой выключателя S в положение «ВКЛ.».
8. Ток короткого замыкания измеряется с помощью амперметра блока мультиметров P1.
9. При величинах сопротивления цепи короткого замыкания $R_N = 1, 2, 3$ Ом и возникновении короткого замыкания фазы на корпус электрооборудования (выключатель S включен) защита отключает электрооборудование от сети, что проявляется в отсутствии свечения светодиодов в фазах подходящих к нему проводов.
10. При величинах сопротивления цепи короткого замыкания $R_N = 5, 10, 15, 20$ Ом и возникновении короткого замыкания фазы на корпус электрооборудования (выключатель S включен) защита не отключает электрооборудование от сети, что проявляется в наличии свечения светодиодов в фазах подходящих к нему проводов.
11. Наличие повторного заземления моделируется установкой любого его значимого сопротивления.
12. Напряжение на корпусе электрооборудования измеряется с помощью вольтметра блока мультиметров P1.
13. Сопротивление замыкания на землю « $R_{\text{зам}} \neq \infty$ » устанавливается только при моделировании режима изолированной нейтрали питающей электрической сети.
14. По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

Требования к отчету

1. По п. 9 необходимо отразить результат замыкания на землю через $R_N = 1, 2, 3$ Ом и срабатывания защиты.
2. По п. 10. необходимо описать действие защитного зануления при величинах сопротивления цепи короткого замыкания $R_N = 5, 10, 15, 20$ Ом, акцентируя внимание на проявление действия защитного зануления.
3. По п. 11 необходимо описать влияние на действие зануления сопротивления повторного заземления нулевого проводника.
4. Необходимо сделать выводы по всем выполненным экспериментам согласно указаниям по проведению эксперимента.

Лабораторная работа №5

Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью

Цель работы : контроль неисправности изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью.

Формируемые компетенции: УК-8

Уметь:

эффективно применять электротехнические защитные средства

5.1. Основные теоретические положения

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Они регламентированы действующими правилами устройства электроустановок (ПУЭ, 2001).

Конструкция, исполнение, способ установки, класс и характеристики изоляции применяемых машин, аппаратов, приборов и прочего электрооборудования, а также кабелей и проводов должны соответствовать параметрам сети или электроустановки, режимам работы, условиям окружающей среды и требованиям соответствующих глав ПУЭ.

Изоляция токоведущих частей (защитное изолирование) – способ защиты от прикосновения к токоведущим частям. Принцип его действия основан на покрытии токоведущих частей изоляционным материалом. Изоляция токопроводящих частей – одна из основных мер электробезопасности.

В сетях переменного тока выше 1 кВ с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью, в сетях переменного тока до 1 кВ с изолированной нейтралью и в сетях постоянного тока с изолированными полюсами или с изолированной средней точкой, как правило, должен выполняться автоматический контроль изоляции, действующий на сигнал при снижении сопротивления изоляции одной из фаз (или полюса) ниже заданного значения, с последующим контролем асимметрии

напряжения при помощи показывающего прибора (с переключением).

Допускается осуществлять контроль изоляции путем периодических измерений напряжений с целью визуального контроля асимметрии напряжения.

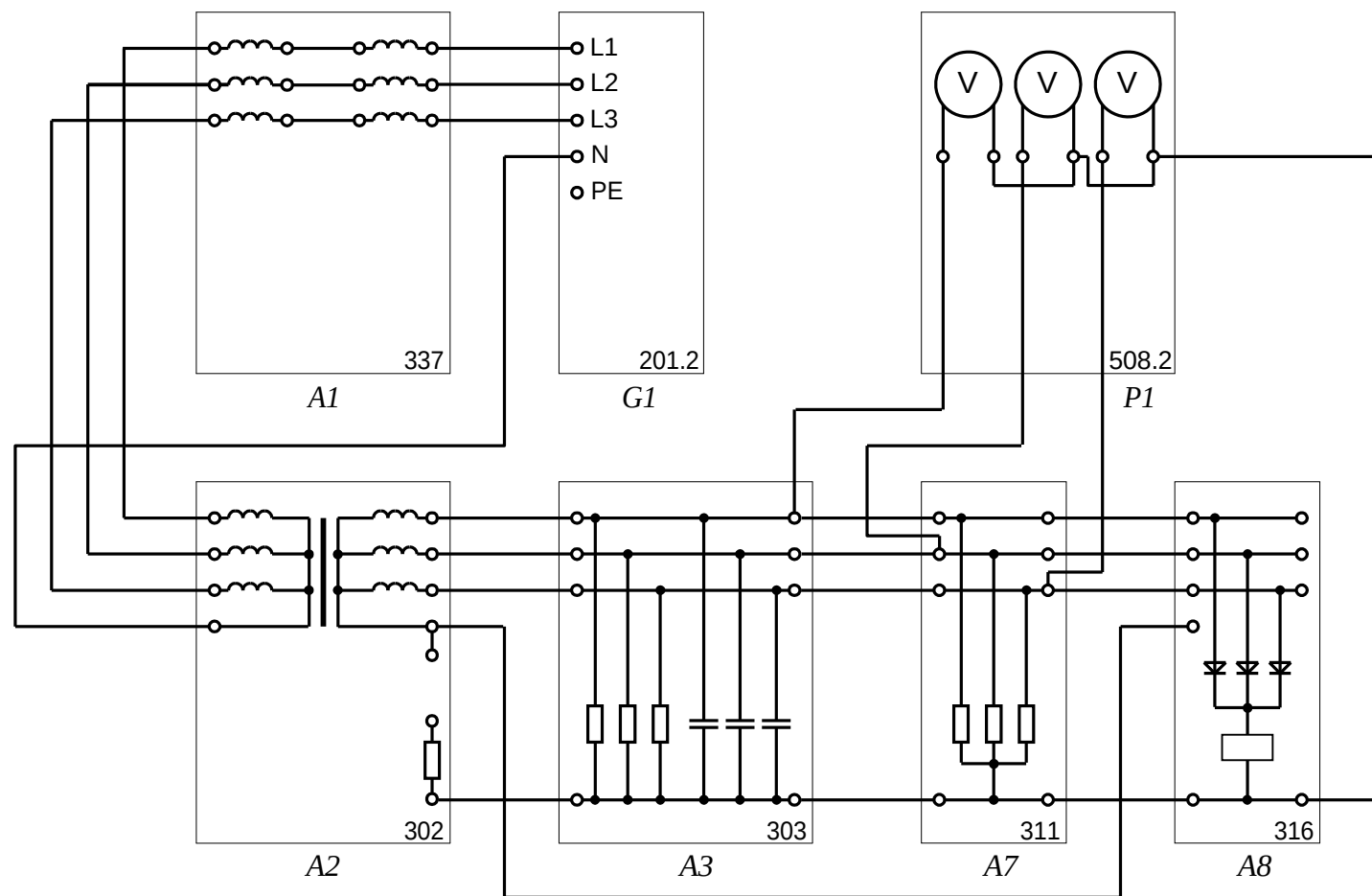
Согласно ПУЭ сопротивление изоляции токопроводящих частей электрических установок относительно земли должно быть не менее 0,5–10 МОм. Различают рабочую, двойную и усиленную рабочую изоляцию.

Рабочей называется изоляция, обеспечивающая нормальную работу электрической установки и защиту персонала от поражения электрическим током. Двойная изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной, используется в тех случаях, когда требуется обеспечить повышенную электробезопасность оборудования (например, ручного электроинструмента, бытовых электрических приборов и т. д.). Сопротивление двойной изоляции должно быть не менее 5 МОм, что в 10 раз превышает сопротивление обычной рабочей. В ряде случаев рабочую изоляцию выполняют настолько надежно, что ее электросопротивление составляет не менее 5 МОм и потому она обеспечивает такую же защиту от поражения током, как и двойная изоляция. Такую изоляцию называют усиленной рабочей изоляцией.

Перечень аппаратуры, используемой в лабораторной работе

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A3	Модель участка электрической сети	303
A7	Модель сопротивления изоляции	311
A8	Устройство контроля изоляции	316
P1	Блок мультиметров	508.2

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

- Перед началом работы необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Гнезда защитного заземления «» устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1.
- Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
- Емкости фаз модели А3 устанавливаются равными нулю $C_A = C_B = C_C = 0$.
- Устанавливаются желаемые сопротивления R_A, R_B, R_C изоляции фаз модели А3 и сопротивления R изоляции модели А7.
- Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- С помощью вольтметров блока мультиметров P1 измеряются напряжения фаз электрической сети. По ним судят о соотношении сопротивлений изоляции этих фаз.
- Величину, равную параллельно соединенным сопротивлениям изоляции всех трех фаз, считывают с индикатора устройства контроля изоляции.
- По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

Требования к оформлению отчета

В отчет по лабораторной работе вносятся:

1. Наименование и цель работы.
 2. Применяемые приборы и оборудование.
 3. Заполненные таблицы с необходимыми расчетными формулами.
 4. Общие выводы по результатам сделанной работы.
- Результаты экспериментов заносятся в табл. 12.

Таблица 5.1

Экспериментальная таблица

Фазы сети	Сопротивление изоляции	Сила тока, А	Напряжение, В
R _А			
R _В			
R _С			

Лабораторная работа №6

Измерение сопротивления заземления

Цель работы: измерение тока стекающего в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя. Формулировка вывода о эффективности защитного заземления.

Формируемые компетенции: ПК-1

Уметь:

проводить анализ опасности поражения током в различных электрических сетях.

6.1 Основные теоретические положения

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая значением тока, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы замыкания цепи тока через тело человека, напряжение сети, схемой самой сети, режима ее нейтрали (т. е. заземлена или изолирована нейтраль), степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от значений емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Следовательно, указанная опасность не является однозначной: в одних случаях замыкание цепи тока через тело человека будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется не опасным, в других – токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Одной из основных причин несчастных случаев от электрического тока является появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, – на корпусах, кожухах, ограждениях и т. п.. Напряжение на этих частях может появиться как результат: повреждения изоляции токоведущих частей электрооборудования (вследствие механических воздействий, электрического пробоя, естественного старения и т. п.); падения провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования; замыкания фазы сети на землю. Опасность поражения током в этих случаях устраняется с помощью защитного заземления, зануления, защитного отключения, выравнивания потенциала, двойной изоляцией, а также благодаря применению малых напряжений

и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние, вынос потенциала и т. п.).

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения. Данное напряжение называется напряжением прикосновения $U_{пр}$. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования, за счет появления потенциалов на поверхности земли при стекании тока в землю. Данные потенциалы возникают из-за сравнительно большого удельного сопротивления грунта ($1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$ Ом м.) и уменьшаются по мере удаления от места стекания тока в землю. В непосредственной близости от места стекания тока в землю потенциал основания, на котором стоит человек,

практически равен потенциалу заземленного оборудования. При этом разность потенциалов, определяющая напряжение прикосновения, мала. По мере удаления данного основания от места стекания тока в землю указанная разность потенциалов возрастает, то есть эффект выравнивания потенциалов ослабевает. При удалении человека от места стекания тока в землю на 20 метров и более напряжение прикосновения практически равно потенциалу корпуса электроустановки оказавшейся под напряжением.

Если корпус электрооборудования не заземлен, и он оказался в контакте с фазой, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае величина тока в комплексной форме, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью (рис. 22), определяется соотношением:

$$\bar{I}_ч = \bar{U}_ф / (R_ч + R_{об} + R_п + \dot{Z}_и / 3), \quad (6.1)$$

где $\bar{I}_ч$, $\bar{U}_ф$, $\dot{Z}_и$ – комплексы тока, А, фазного напряжения, В и сопротивления изоляции одной фазы, Ом; $R_ч$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{об}$ – сопротивление обуви человека, Ом; $R_п$ – сопротивление пола (основания), Ом.

При малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли этот ток может достигать опасных значений.

Для трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью проводимость изоляции фазных проводов относительно земли пренебрежимо мала по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому величина тока через тело человека практически не зависит от сопротивления изоляции и равна

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_{\text{з}}), \quad (6.2)$$

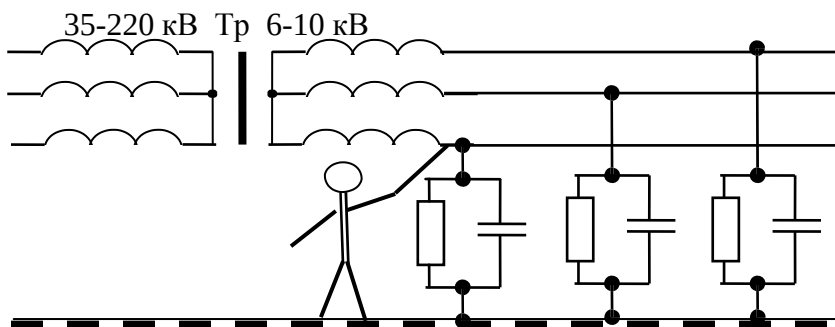


Рис. 6.1– Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

Наиболее неблагоприятный случай будет, когда человек прикоснувшийся к фазе имеет на ногах токопроводящую обувь – сырую или подбитую металлическими гвоздями и стоит непосредственно на сырой земле или на проводящем основании – на металлическом полу, на заземленной металлической конструкции, т. е. когда можно принять $R_{\text{об}}=0$ и $R_{\text{п}}=0$. Сопротивление заземления нейтрали R_0 обычно во много раз меньше сопротивления тела человека (как правило, R_0 не превышает 10 Ом) и им можно пренебречь. При этих условиях величина тока через тело человека достигает опасной величины. Например, при $R_{\text{ч}}=1000$ Ом (вполне вероятная величина) и $R_{\text{з}}=4$ Ом $I_{\text{ч}}=220/(1000+4)\approx 0,22$ А.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя – металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляющие части с заземлителем.

Заземлители бывают искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления и естественные, находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды, т.е. одиночные заземлители.

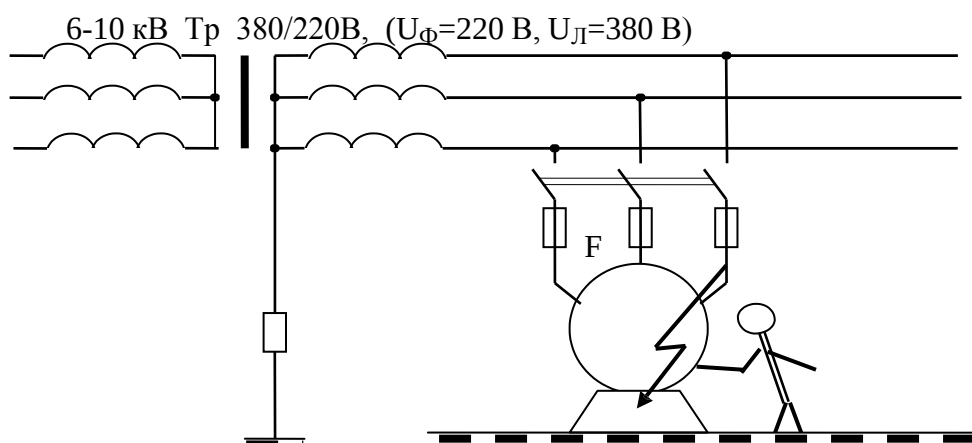


Рис. 6.2 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы диаметром 3–5 см и угловая сталь размером от 40×40 до 60×60 мм длиной 2,5–3 м, а также стальные прутки диаметром 10–12 мм и длиной до десяти метров.

Для соединения вертикальных электродов между собой и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4×12 мм или сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Для погружения в землю вертикальных электродов предварительно роют траншею глубиной 0,7–0,8 м, после чего их забивают и верхние концы соединяют стальной полосой с помощью сварки. В таких же траншеях прокладывают и горизонтальные электроды. Траншею засыпают землей, очищенной от строительного мусора, а затем тщательно утрамбовывают, что обеспечивает лучшую проводимость грунта, а следовательно, уменьшает расход металла на устройство заземления.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющих устройств (ЗУ) – выносное ЗУ и контурное ЗУ. У выносного ЗУ заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. Это приводит к тому, что практически не происходит выравнивание потенциала основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования. Эффективность применения такого ЗУ обусловлена только снижением потенциала заземленного оборудования. При этом оказывается несущественным число и схема расположения заземляющих электродов, рис. 24.

При замыкании фазы на корпус и стекании тока I_3 через заземлитель $\phi_3(X)$ достигает максимума в точке поверхности над заземлителем и практически затухает через 20 метров. При этом на руку человека, прикоснувшегося к корпусу электрооборудования, действует потенциал заземлителя ϕ_3 , а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю. Напряжение прикосновения $U_{ПР}$, равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно ϕ_3 .

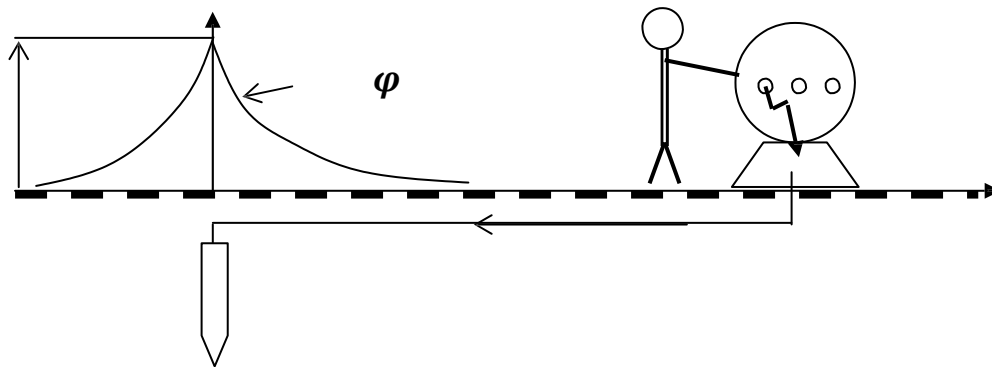


Рис. 6.3 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

Контурные ЗУ характеризуются по возможности равномерным размещением заземляющих электродов по площадке, на которой установлено электрооборудование. Такое ЗУ называется распределенным. Снижение напряжения прикосновения в этом случае обусловлено не только перераспределением падения напряжения источника, но и выравниванием потенциалов заземленного корпуса электроустановки и основания, на котором стоит человек, как это показано на рис. 25. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала $\phi_3\Sigma(X)$. Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения $U_{ПР}$ значительно уменьшается и составляет доли ϕ_3 .

В качестве естественных заземлителей могут использоваться: проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов); обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющие соединение с землей; металлические шпунты гидротехнических сооружений; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

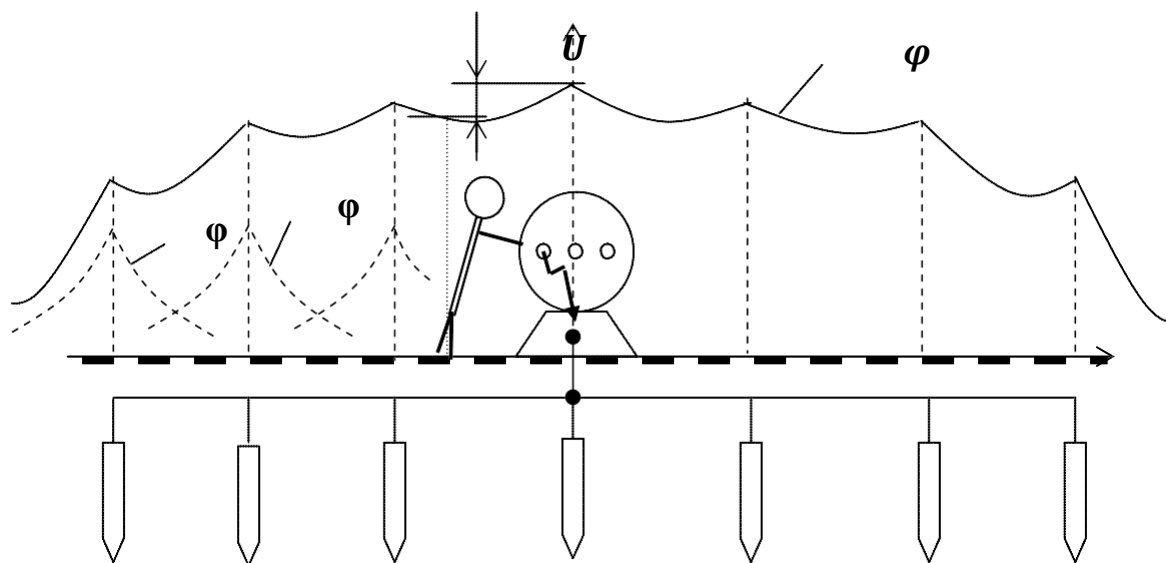


Рис. 6.4 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

Алюминиевые оболочки кабелей и алюминиевые проводники не допускается использовать в качестве естественных заземлителей.

В электрических распределительных устройствах высокого напряжения в качестве естественного заземлителя используется заземление опор отходящих воздушных линий с грозозащитными тросами при условии, что тросы не изолированы от опор.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, поэтому использование их для целей заземления экономически весьма целесообразно.

Заземляющие проводники, т. е. проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем выполняются обычно из полосовой стали. Прокладка их производится по стенам и другим конструкциям зданий. В качестве заземляющих проводников допускается использовать различные металлические конструкции.

Присоединение заземляемого оборудования к магистралям заземления, т. е. к основному заземляющему проводнику, идущему от заземлителя, осуществляется с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается.

Соединения заземляющих проводников между собой, а также заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняются, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования – сваркой или с помощью болтов.

Отличительной окраской заземляющей сети является черный цвет, которым должны быть окрашены все открыто расположенные заземляющие проводники, конструкции и полосы сети заземления.

Область применения защитного заземления – трехфазные сети до 1 кВ с изолированной нейтралью и выше 1 кВ. с любым режимом работы нейтрали.

Требования к устройству защитного заземления и зануления определены Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), в соответствии с которыми защитному заземлению или занулению подлежат все металлические и другие токопроводящие части электроустановок и оборудования, которые случайно в аварийном режиме могут оказаться под напряжением (ССБТ ГОСТ 12.1.030–81):

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока – во всех электроустановках;
- при номинальном напряжении выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и в наружных электроустановках;
- во взрывоопасных помещениях необходимо заземлять все оборудование независимо от напряжения.

При номинальных напряжениях менее 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока заземления или зануления электроустановок не требуется.

Для заземления установок, которые питаются от одной сети, целесообразно проектировать общее заземляющее устройство. Если имеется несколько заземляющих устройств, они должны быть электрически соединены между собой.

Для осуществления эффективной защиты величина сопротивления защитного заземления не должна превышать значений, при которых напряжение прикосновения или шаговое напряжение достигают опасных величин (табл. 6.1).

Таблица 6.1

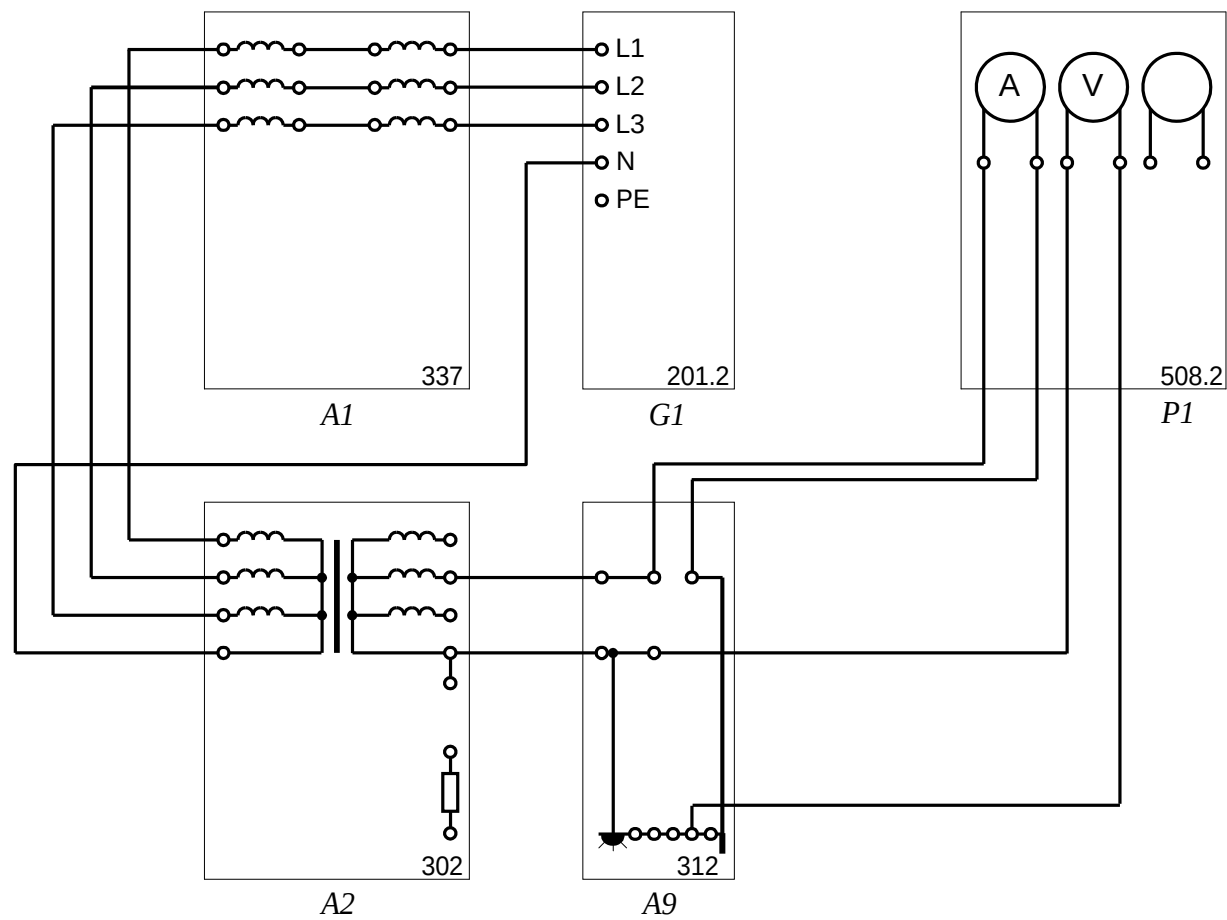
Максимально допустимые значения сопротивления защитного заземления в зависимости от характеристик электрических сетей

Допустимое сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА
10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
125/I _з , но не более 10 (I _з расчетный ток замыкания на землю, А)	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В
Электроустановки напряжением выше 1000 В	
250/I _з , но не более 10	Если заземляющее устройство используется в сети с изолированной нейтралью
0,5	Если заземляющее устройство используется в сети с эффективно заземленной нейтралью

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A9	Модель измерения заземления	312
P1	Блок мультиметров	508.2

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

- Необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Гнезда защитного заземления «» устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1.
- Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
- Переключателем устанавливается желаемое удельное сопротивление грунта ρ в модели А9.
- Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измеряется ток стекающий в землю через заземлитель и напряжение между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.
- Измеренные значения токов и напряжений используются для определения правильного расположения потенциального электрода относительно заземлителя и последующего расчета сопротивления заземления.
- По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

Требования к отчёту по лабораторной работе

При проведении эксперимента с помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 при измерении тока стекающего в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя, результаты отразить в форме таблицы.

Необходимо сделать вывод о эффективности защитного заземления.

Лабораторная работа №7

Моделирование действия защитного заземления (самозаземления) электрооборудования

Цель работы: моделирование и исследование действия защитного заземления и самозаземления электрооборудования.

Формируемые компетенции: УК-8

Уметь:

эффективно применять электротехнические защитные средства

7.1 Основные теоретические положения.

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая значением тока, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы замыкания цепи тока через тело человека, напряжение сети, схемой самой сети, режима ее нейтрали (т. е. заземлена или изолирована нейтраль), степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от значений емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Следовательно, указанная опасность не является однозначной: в одних случаях замыкание цепи тока через тело человека будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется не опасным, в других – токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Одной из основных причин несчастных случаев от электрического тока является появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, – на корпусах, кожухах, ограждениях и т. п.. Напряжение на этих частях может появиться как результат: повреждения изоляции токоведущих частей электрооборудования (вследствие механических воздействий, электрического пробоя, естественного старения и т. п.); падения провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования; замыкания фазы сети на землю. Опасность поражения током в этих случаях устраняется с помощью защитного зазем-

ления, зануления, защитного отключения, выравнивания потенциала, двойной изоляцией, а также благодаря применению малых напряжений и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние, вынос потенциала и т. п.).

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения. Данное напряжение называется напряжением прикосновения $U_{\text{ПР}}$. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования, за счет появления потенциалов на поверхности земли при стекании тока в землю. Данные потенциалы возникают из-за сравнительно большого удельного сопротивления грунта ($1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$ Ом м.) и уменьшаются по мере удаления от места стекания тока в землю. В непосредственной близости от места стекания тока в землю потенциал основания, на котором стоит человек, практически равен потенциалу заземленного оборудования. При этом разность потенциалов, определяющая напряжение прикосновения, минимальна. По мере удаления данного основания от места стекания тока в землю указанная разность потенциалов возрастает, то есть эффект выравнивания потенциалов ослабевает. При удалении человека от места стекания тока в землю на 20 метров и более напряжение прикосновения практически равно потенциалу корпуса электроустановки оказавшейся под напряжением.

Если корпус электрооборудования не заземлен, и он оказался в контакте с фазой, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае величина тока в комплексной форме, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью (рис. 26), определяется соотношением:

$$\bar{I}_{\text{ч}} = \bar{U}_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + \bar{Z}_{\text{и}} / 3), \quad (41)$$

где $\bar{I}_{\text{ч}}$, $\bar{U}_{\text{ф}}$, $\bar{Z}_{\text{и}}$ – комплексы тока, А, фазного напряжения, В и сопротивления изоляции одной фазы, Ом; $R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви человека, Ом; $R_{\text{п}}$ – сопротивление пола (основания), Ом.

При малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли этот ток может достигать опасных значений.

Для трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью проводимость изоляции фазных проводов относительно земли пренебрежимо мала по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому величина тока через тело человека практически не зависит от сопротивления изоляции и равна

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_3),$$

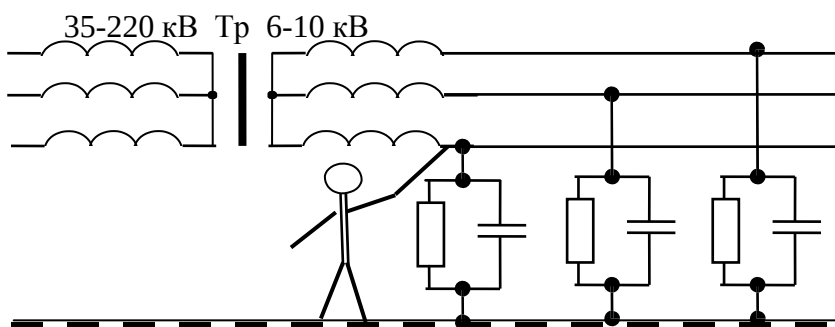


Рис.7.1 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

Наиболее неблагоприятный случай будет, когда человек прикоснувшийся к фазе имеет на ногах токопроводящую обувь – сырую или подбитую металлическими гвоздями и стоит непосредственно на сырой земле или на проводящем основании – на металлическом полу, на заземленной металлической конструкции, т. е. когда можно принять $R_{\text{об}}=0$ и $R_{\text{п}}=0$. Сопротивление заземления нейтрали R_0 обычно во много раз меньше сопротивления тела человека (как правило, R_0 не превышает 10 Ом) и им можно пренебречь. При этих условиях величина тока через тело человека достигает опасной величины. Например, при $R_{\text{ч}}=1000$ Ом (вполне вероятная величина) и $R_3=4$ Ом $I_{\text{ч}}=220/(1000+4)\approx 0,22$ А.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя – металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляющие части с заземлителем.

Заземлители бывают искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления и естественные, находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды, т.е. одиночные заземлители.

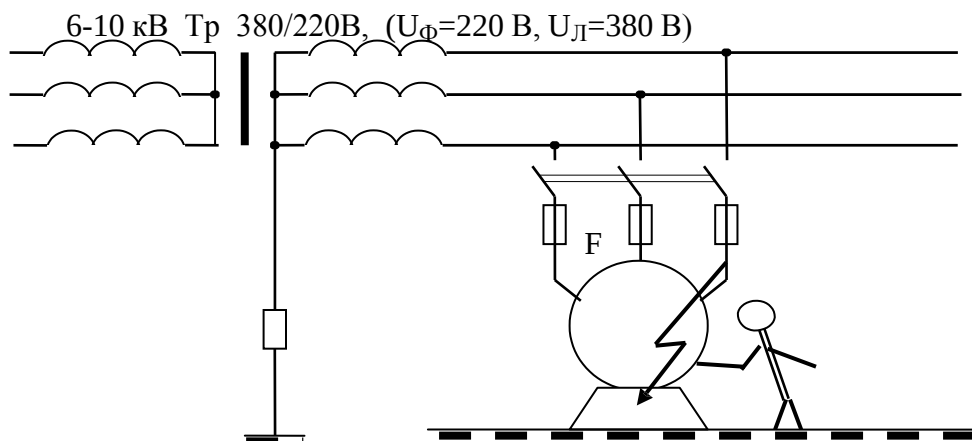


Рис. 7.2– Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы диаметром 3–5 см и угловая сталь размером от 40×40 до 60×60 мм длиной 2,5–3 м, а также стальные прутки диаметром 10–12 мм и длиной до десяти метров.

Для соединения вертикальных электродов между собой и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4×12 мм или сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Для погружения в землю вертикальных электродов предварительно роют траншею глубиной 0,7–0,8 м, после чего их забивают и верхние концы соединяют стальной полосой с помощью сварки. В таких же траншеях прокладывают и горизонтальные электроды. Траншею засыпают землей, очищенной от строительного мусора, а затем тщательно утрамбовывают, что обеспечивает лучшую проводимость грунта, а следовательно, уменьшает расход металла на устройство заземления.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющих устройств (ЗУ) – выносное ЗУ и контурное ЗУ. У выносного ЗУ заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. Это приводит к тому, что практически не происходит выравнивание потенциала основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования. Эффективность применения такого ЗУ обусловлена только снижением потенциала заземленного оборудования. При этом

оказывается несущественным число и схема расположения заземляющих электродов, рис. 28.

При замыкании фазы на корпус и стекании тока I_3 через заземлитель $\phi_3(X)$ достигает максимума в точке поверхности над заземлителем и практически затухает через 20 метров. При этом на руку человека, прикоснувшегося к корпусу электрооборудования, действует потенциал заземлителя ϕ_3 , а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю. Напряжение прикосновения $U_{ПР}$, равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно ϕ_3 .

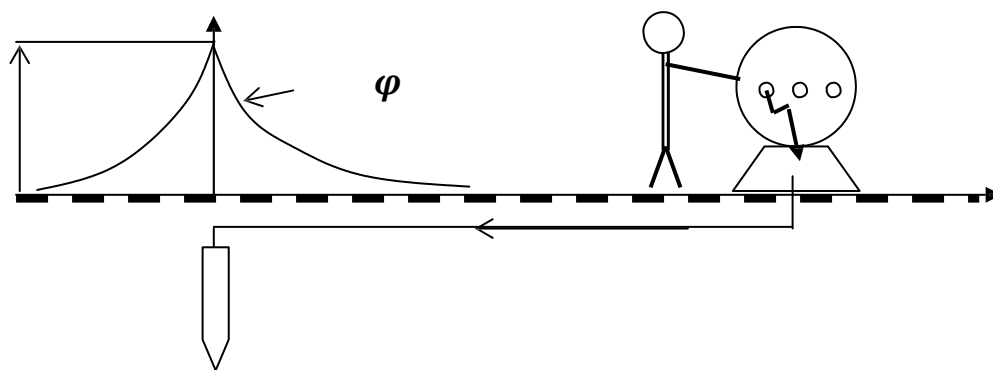


Рис. 7.3 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

Контурные ЗУ характеризуются по возможности равномерным размещением заземляющих электродов по площадке, на которой установлено электрооборудование. Такое ЗУ называется распределенным. Снижение напряжения прикосновения в этом случае обусловлено не только перераспределением падения напряжения источника, но и выравниванием потенциалов заземленного корпуса электроустановки и основания, на котором стоит человек, как это показано на рис. 29. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала $\phi_3\Sigma(X)$. Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения $U_{ПР}$ значительно уменьшается и составляет доли ϕ_3 .

В качестве естественных заземлителей могут использоваться: проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов); обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющие соединение с зем-

лей; металлические шпунты гидротехнических сооружений; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

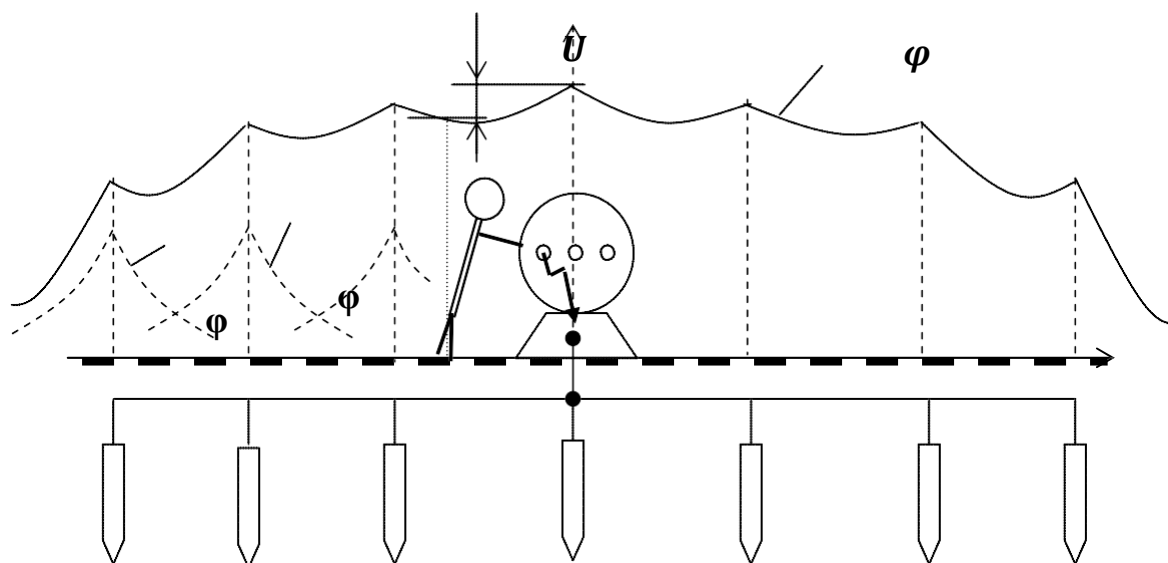


Рис. 7.4 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

Алюминиевые оболочки кабелей и алюминиевые проводники не допускается использовать в качестве естественных заземлителей.

В электрических распределительных устройствах высокого напряжения в качестве естественного заземлителя используется заземление опор отходящих воздушных линий с грозозащитными тросами при условии, что тросы не изолированы от опор.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, поэтому использование их для целей заземления экономически весьма целесообразно.

Заземляющие проводники, т. е. проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем выполняются обычно из полосовой стали. Прокладка их производится по стенам и другим конструкциям зданий. В качестве заземляющих проводников допускается использовать различные металлические конструкции.

Присоединение заземляемого оборудования к магистралям заземления, т. е. к основному заземляющему проводнику, идущему от заземлителя, осуществляется с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается.

Соединения заземляющих проводников между собой, а также заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняются, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования – сваркой или с помощью болтов.

Отличительной окраской заземляющей сети является черный цвет, которым должны быть окрашены все открыто расположенные заземляющие проводники, конструкции и полосы сети заземления.

Область применения защитного заземления – трехфазные сети до 1 кВ с изолированной нейтралью и выше 1 кВ. с любым режимом работы нейтрали.

Требования к устройству защитного заземления и зануления определены Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), в соответствии с которыми защитному заземлению или занулению подлежат все металлические и другие токопроводящие части электроустановок и оборудования, которые случайно в аварийном режиме могут оказаться под напряжением (ССБТ ГОСТ 12.1.030–81):

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока – во всех электроустановках;

- при номинальном напряжении выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и в наружных электроустановках;

- во взрывоопасных помещениях необходимо заземлять все оборудование независимо от напряжения.

При номинальных напряжениях менее 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока заземления или зануления электроустановок не требуется.

Для заземления установок, которые питаются от одной сети, целесообразно проектировать общее заземляющее устройство. Если имеется несколько заземляющих устройств, они должны быть электрически соединены между собой.

Для осуществления эффективной защиты величина сопротивления защитного заземления не должна превышать значений, при которых напряжение прикосновения или шаговое напряжение достигают опасных величин (табл. 14).

Таблица 7.1

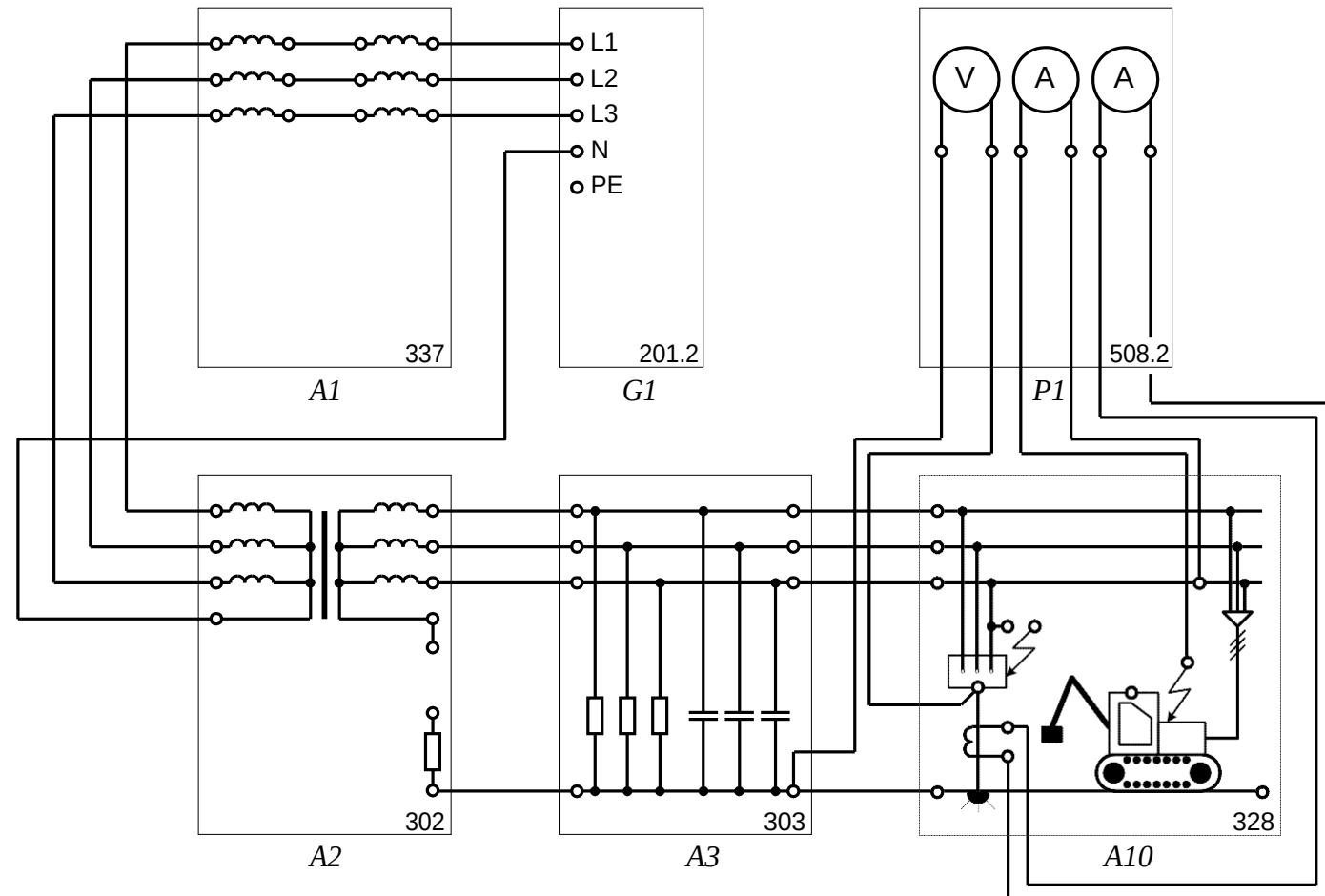
Максимально допустимые значения сопротивления защитного заземления в зависимости от характеристик электрических сетей

Допустимое сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА
10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
125/I _з , но не более 10 (I _з расчетный ток замыкания на землю, А)	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В
Электроустановки напряжением выше 1000 В	
250/I _з , но не более 10	Если заземляющее устройство используется в сети с изолированной нейтралью
0,5	Если заземляющее устройство используется в сети с эффективно заземленной нейтралью

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A3	Модель участка электрической сети	303
A10	Модель защитного заземления/самозаземления	328
P1	Блок мультиметров	508.2

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

- Необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом "РЕ" источника G1.
- Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
- Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируется установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя **R0** в блоке трехфазного трансформатора A2.
- Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируется установкой перемычки между гнездами 3 и 4 модели A10.
- Ток короткого замыкания измеряется с помощью амперметров блока мультиметров P1, включенных между гнездами 5, 6 и 7, 8 модели A10.
- Напряжения на корпусах электрооборудования и экскаватора измеряются с помощью вольтметра, включенного его между гнездами 1, Е и 2, Е модели A10.
- Грунт, в котором проложен заземлитель, характеризуется удельным электрическим сопротивлением **p1**, а грунт, на котором стоит экскаватор, – удельным электрическим сопротивлением **p2**.
- По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

Лабораторная работа №8

Моделирование защитного отключения электрической сети

Цель работы: защитное отключение электрической сети с различным режимом нейтрали.

Формируемые компетенции: УК-8

Уметь:

эффективно применять электротехнические защитные средства

8.1 Основные теоретические положения.

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током.

Такая опасность может возникнуть при замыкании фазы на корпус электрооборудования; при снижении сопротивления изоляции фаз относительно земли ниже определенного предела; появлении в сети более высокого напряжения; прикосновении человека к токоведущей части, находящейся под напряжением. В этих случаях в сети происходит изменение некоторых электрических параметров: например, могут измениться напряжение корпуса относительно земли, напряжение фаз относительно земли, напряжение нулевой последовательности и др. Любой из этих параметров, а точнее говоря – изменение его до определенного предела, при котором возникает опасность поражения человека током, может служить импульсом, вызывающим срабатывание защитно-отключающего устройства, т. е. автоматическое отключение опасного участка сети.

Прибор защитного отключения – совокупность отдельных элементов, которые реагируют на изменение какого-либо параметра электрической сети и дают сигнал на отключение автоматического выключателя. Этими элементами являются:

- Датчик – устройство, воспринимающее изменение параметра и преобразующее его в соответствующий сигнал (обычно датчиками служат реле соответствующего типа);
- Усилитель, предназначенный для усиления сигнала датчика, если он оказывается недостаточно мощным;
- Цепи контроля, служащие для периодической проверки исправности схемы защитно-отключающего устройства;
- Вспомогательные элементы – сигнальные лампы, измерительные приборы, характеризующие состояние установки, и т. п.

Автоматический выключатель – устройство, служащее для включения и отключения цепей, находящихся под нагрузкой, при коротких замыканиях. Он должен отключать цепь автоматически при поступлении сигнала от прибора защитного отключения.

Устройство защитного отключения в зависимости от параметра, на который оно реагирует, можно отнести к тому или иному типу, в том числе к типам устройств, реагирующих на напряжение корпуса относительно земли, ток замыкания на землю, напряжение фазы относительно земли, напряжение нулевой последовательности, ток нулевой последовательности, оперативный ток и др.

Назначение защитного отключения заключается в том, чтобы одним прибором осуществлять совокупность защиты либо некоторые из следующих ее видов:

- от однофазных замыканий на землю или на элементы эл. оборудования, нормально изолированные от напряжения;
- от не полных замыканий, когда снижение изоляции одной из фаз создает опасность поражения человека;
- от поражения при прикосновении человека к одной из фаз эл. оборудования, если прикосновение произошло в зоне действия защиты прибора.

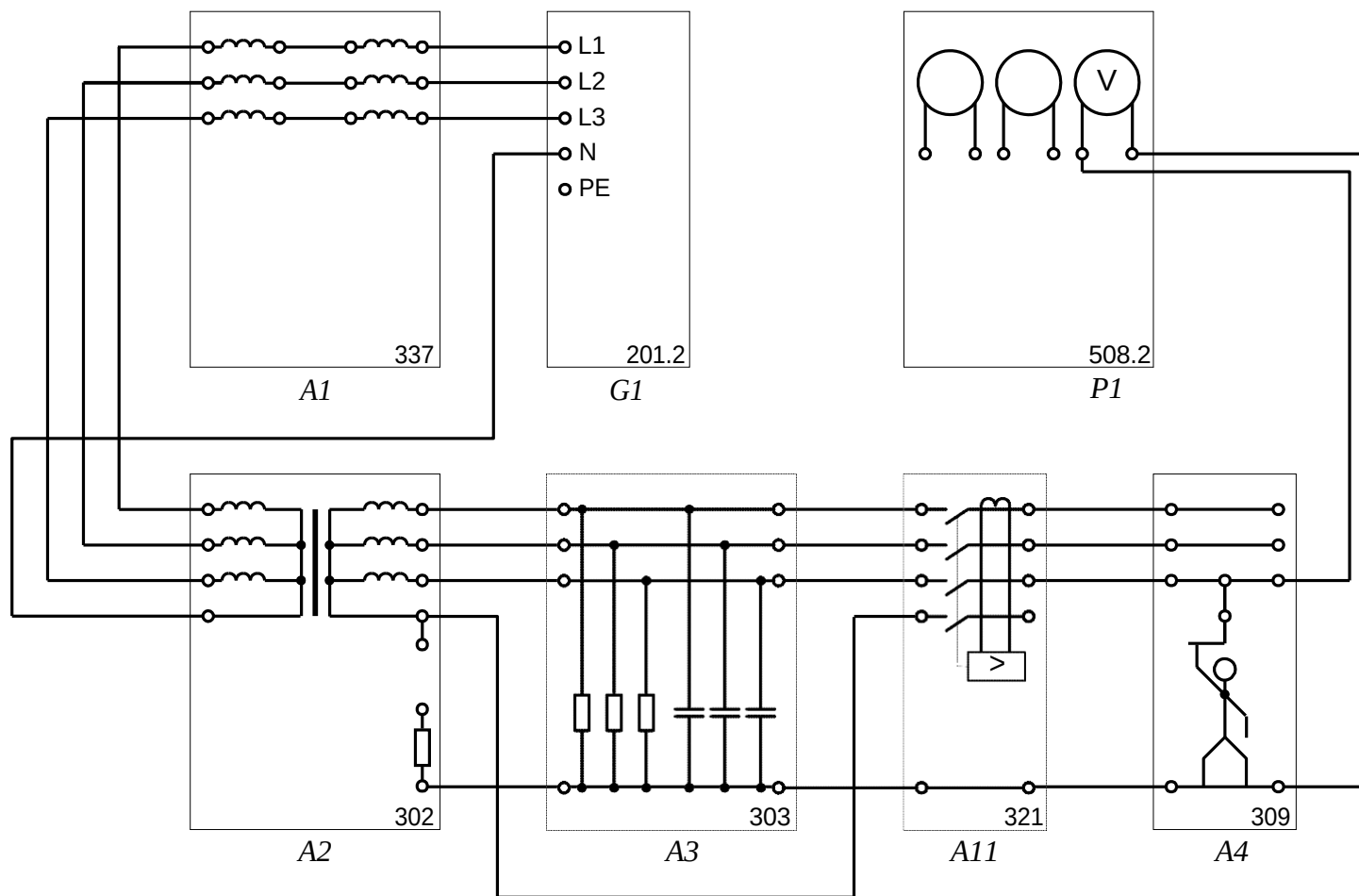
УЗО применяют в электроустановках до 1 кВ:

- в передвижных эл. установках с изолированной нейтралью. (особенно если затруднено создание заземляющего устройства. Может применяться как в виде самостоятельной защиты, так и в сочетании с заземлением);
- в стационарных электроустановках с изолированной нейтралью для защиты ручных электрических машин в качестве единственной защиты, и в дополнение к другим;
- в условиях повышенной опасности поражения электрическим током и взрывоопасности в стационарных и передвижных электроустановках с различными режимами нейтрали;
- в стационарных электроустановках с глухозаземленной нейтралью на отдельных удаленных потребителях электрической энергии и потребителя большой номинальной мощности, на которых защита занулением не достаточно эффективна.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A3	Модель участка электрической сети	303
A4	Модель человека	309
A11	Устройство защитного отключения	321
P1	Блок мультиметров	508.2

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

1. Перед началом работы необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Гнезда защитного заземления «» устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1.
3. Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
4. Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
5. Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируется установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя **R0** в блоке трехфазного трансформатора A2.
6. При проведении эксперимента в сети с изолированной нейтралью сопротивления **RA, RB, RC** изоляции фаз модели A3 обязательно должны иметь значимые величины.
7. Желаемые значения сопротивлений обуви человека и пола, на котором он стоит, устанавливаются на модели человека A4.
8. Временная и токовая уставка срабатывания устройства защитного отключения A11 устанавливается с помощью кнопок «<» и «>» на его лицевой панели.
9. Включение устройства защитного отключения A11 производится нажатием кнопки «ВКЛ.» на его лицевой панели.
10. На верхнем индикаторе устройства защитного отключения A11 можно наблюдать текущее значение тока утечки через человека.
11. Если после включения устройство защитного отключения A11 отключилось, то на его верхнем индикаторе высветится значение тока утечки, при котором произошло это отключение. Произведение этого значения тока утечки и времени срабатывания (уставки по времени) устройства защитного отключения используется для оценки эффективности последнего.
12. Напряжение фазы, которой касается человек, измеряется с помощью вольтметра блока мультиметров P1.
13. По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

Требования к отчету по лабораторной работе

- По п.п. 7–8, для режима глухозаземлённой нейтрали питающей электрической сети, необходимо отразить величины тока утечки и

времени срабатывания УЗО при различных величинах сопротивления обуви $R_{\text{обуви}}=1; 10; 300; 3000 \text{ кОм}$ и пола $R_{\text{пола}}=1; 100; 900; 2500 \text{ кОм}$ (по заданию преподавателя).

- По п.п. 7–8, для режима с изолированной нейтралью, когда сопротивления изоляций будут иметь значимые значения $R_A=R_B=R_C=1; 2; 5; 10; 100; 500 \text{ кОм}$ (по заданию преподавателя), также необходимо отразить величины тока утечки и времени срабатывания УЗО при различных величинах сопротивления обуви $R_{\text{обуви}}=1; 10; 300; 3000 \text{ кОм}$ и пола $R_{\text{пола}}=1; 100; 900; 2500 \text{ кОм}$ (по заданию преподавателя), а также определить напряжение фазы, которой касается человек.
- Необходимо сделать выводы по всем выполненным экспериментам.

Рекомендуемая литература

1. Сибикин Ю.Д. Охрана труда и электробезопасность: Учебное пособие – М: Директ – Медиа, 2014.- 360 с. [Электронный ресурс] режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=235424
2. Привалов Е.Е. Основы электробезопасности. В 3-х частях. Ч. III: защита от напряжения прикосновения и шага в электрических сетях: Учебное пособие/ Е.Е. Привалов. – М.- Берлин: Директ-Медиа, 2016.- 180 с. [Электронный ресурс] режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436756
3. Привалов Е.Е. Основы электробезопасности. В 3-х частях. Ч. II: заземление электроустановок систем электроснабжения: Учебное пособие/ Е.Е. Привалов. – М.- Берлин: Директ-Медиа, 2016.- 156 с. [Электронный ресурс] режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436755
4. ПУЭ, седьмое издание, 0/ 3 экз.;
5. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок/ Москва, «Омега-Л», 2015. - 0/ 2 экз.