Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»

Электробезопасность

Методические указания

к лабораторным работам

по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника»

Благовещенск

Издательство АмГУ

2013

ББК 31.29 н
Э 45

Печатается по решению редакционно-издательского совета Амурского государственного университета

Разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ОАО «Дальневосточная распределительная сетевая компания»

Рецензенты:

Бичевин Александр Викторович - начальник службы технической эксплуатации ОАО «ДРСК».

Рыбалев Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «АППиЭ» ФГБОУ ВПО «АмГУ».

Мясоедов Ю.В., Подгурская И.Г.
Э 45 *Электробезопасность*. Методические указания к лабораторным работам/ сост.: *Мясоедов Ю.В., Подгурская И.Г.*- Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 87с.

Методические указания к лабораторным работам предназначены для подготовки бакалавров по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

Рассмотрены терминология дисциплины, опасные факторы при работе с электроустановками, их воздействие на человека; методы и средства защиты от их воздействия на человека; организационные, правовые и социально-экономические знания в области электробезопасности.

В авторской редакции.

ББК 31.29 н

©Амурский государственный университет, 2013

Содержание

Критерии достижения результатов обучения по лабораторным работам 5
Введение 8
Определение влияния режима электрической сети и ее нейтрали на условия электробезопасности 13
Определение зависимостей, характеризующих явление при стекании тока в землю через защитный заземлитель 24
Определение зависимостей, характеризующих электрическое сопротивление тела человека 39
Натурное моделирование зануления электрооборудования 47
Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью 55
Измерение сопротивления заземления 61
Натурное моделирование защитного заземления/самозаземления электрооборудования 69
Натурное моделирование защитного отключения электрической сети 80

Перечень лабораторных работ

Наименование работы
Определение влияния режима электрической сети и ее нейтрали на условия электробезопасности
Определение зависимостей, характеризующих явление при стекании тока в землю через защитный заземлитель
Определение зависимостей, характеризующих электрическое сопротивление тела человека
Натурное моделирование зануления электрооборудования
Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью
Измерение сопротивления заземления
Натурное моделирование защитного заземления/самозаземления электрооборудования
Натурное моделирование защитного отключения электрической сети

Критерии достижения результатов обучения по лабораторным работам

Подготовка к лабораторной работе выполняется студентом самостоятельно во внеаудиторное время в рамках обязательных часов, выделенных на самостоятельную работу по дисциплине.

Преподаватель проверяет подготовленную часть работы и допускает студента к выполнению лабораторной работы на лабораторном оборудовании.

На следующие аудиторные занятия студент приходит с подготовленной лабораторной работой.

Преподаватель проверяет выполнение работы, и студент получает допуск к защите лабораторной работы.

Защита представляет собой ответы на вопросы преподавателя по теме работы.

В процессе защиты лабораторной работы студент должен продемонстрировать следующие качества знаний: осознанность, прочность, полноту, глубину.

Студент должен ПОНИМАТЬ содержание выполненной работы (ЗНАТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОНЯТИЙ, УМЕТЬ РАЗЪЯСНИТЬ ЗНАЧЕНИЕ И СМЫСЛ ЛЮБОГО ТЕРМИНА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В РАБОТЕ И Т.П.).

Все виды работы: результаты анализа, сопоставления, самоопределения, выводы и т.п. записываются аккуратно, с выделением номера задания, отдельными абзацами. **Никакие сокращения слов в текстах лабораторных работ не допускаются!**

После защиты результаты работы **подписываются** преподавателем («зачтено», количество баллов, подпись преподавателя, дата сдачи). Не подписанная преподавателем работа не считается защищенной.

В журнале учета успеваемости студентов выставляется балл за выполненную работу (от 3 до 5,0 баллов в зависимости от качества выполненной работы). **Суммарная максимальная оценка за все выполненные в срок лабораторные работы (без учета бонуса) – 40 баллов**

Критерии оценки лабораторных работ:

Балл	Критерии оценки (содержательная характеристика)
«1»	Работа выполнена полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допуская грубые ошибки, испытывает затруднения в формулировке собственных суждений, неспособен ответить на дополнительные вопросы.
«2»	Работа выполнена полностью. Студент не владеет теоретическим материалом, допуская ошибки по сущности рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

«3»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, отсутствуют ошибки при описании теории, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«4»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«5»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.

Работа, оцененная менее, чем 3 баллами, НЕ МОЖЕТ БЫТЬ «ЗАЧТЕНА» и пересдается.

В случае пропуска занятий или не допуска к защите, проверка и защита лабораторной работы осуществляется во время, определяемое преподавателем. **В часы занятий по расписанию проверяется и защищается только та работа, тема которой предусмотрена календарным планом**. Студент, защитивший работу, продолжает в аудитории готовиться к выполнению следующей работы.

ПОСЛЕДНИЙ СРОК СДАЧИ ЛАБРАТОРНЫХ РАБОТ – ПОСЛЕДНИЙ ДЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В СЕМЕСТРЕ В КАЖДОЙ ПОДГРУППЕ.

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ:

Оценка выполненных лабораторных работ осуществляется в рамках рейтинговой системы (5,0 баллов) по следующим показателям:

- Владение теоретическим материалом по рассматриваемым вопросам.
- Работа с различными источниками технической литературы.
- Наличие собственных оценочных, аргументированных, развернутых вопросов.
- Ответы на дополнительные вопросы.

ШКАЛА ПЕРЕВОДА БАЛЛОВ В ОЦЕНКИ ЗА ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Баллы	**Оценка**
60 – 100	зачет
0 – 60	незачет

Вид работы	**Коэфф.важн.**	**Критерии**	**Количество баллов**	**Общая сумма баллов**
Выполнение и защита лабораторных работ	**1,0**	Соответствие требованиям (см. ниже)	5,0 максимально за каждую работу. Итого: 5,0x8 = 40 + 5=45 *5 баллов выставляется как бонус за своевременную сдачу всех работ в рамках учебных занятий*	**45**

Введение

Изучение дисциплины «Электробезопасность» обусловлено существующей тенденцией электротравматизма, среди причин которого на одном из первых мест стоят ошибочные действия персонала, либо незнание правил безопасной эксплуатации электроустановок.

Целью учебного пособия является не только оказать помощь в освоении студентами теоретического материала, но и сформировать навыки по чтению и сборке электрической схемы подключения различных видов электроустановок в процессе эксплуатации электрических сетей.

Учебное пособие содержит разделы:

Электрический ток – опасный и вредный фактор;

Характеристика сетей с изолированной нейтралью;

Характеристика сетей с глухозаземленной нейтралью.

Материал пособия дает необходимые для выполнения работы теоретические и практические сведения и обязывает студента осуществлять определенную подготовку к проведению измерений. Самопроверка студентов осуществляется с помощью контрольных вопросов.

Меры безопасности при проведении лабораторных работ.

Перед эксплуатацией лабораторного стола проверить присоединение его к контуру заземления лаборатории, в соответствии с требованиями ПУЭ п. п 1.7.76, 1.7.93, 1.7.94.

2. Перед началом работы проверяется состояние лабораторного стенда и используемых измерительных приборов. Студент должен: осмотреть электрический провода, находящиеся в комплекте стенда, питающие кабели, пусковые кнопки и др. устройства, электроизмерительные приборы, защитные средства, убедиться в наличии заземления, в отсутствии оголенных проводов, не закрытых клемных коробок, соединений.

3. Во время работы студент обязан регулярно производить осмотр обслуживаемого им оборудования, рабочего места. При выявлении неполадок немедленно известить об этом преподавателя.

4. Выполнение работ на лабораторном стенде производить в соответствии с порядком выполнения лабораторной работы согласно методическим указаниям к выполнению лабораторных работ.

5. Выполнение необходимых изменений в лабораторном стенде (сборка электрической схемы эксперимента) производить на отключенном стенде.

6. По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G1 и A11, а также – выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети.

Занятия по лабораторным работам осуществляются в группе студентов, не превышающей восьми человек. Во-вторых, для ведения занятий назначается два человека: преподаватель, имеющий как минимум III квалификационную группу по ТБ.

Перед началом лабораторных занятий все студенты проходят вводный инструктаж по ТБ, а перед проведением конкретной лабораторной работы – инструктаж по правилам безопасности проведения опытов на данной установке. После этого каждый студент расписывается в журнале, что он прошел инструктаж, а преподаватель расписывается в том, что он провел инструктаж.

Правила техники безопасности в лаборатории

Настоящие правила распространяются на преподавателей, инженерно-технологических работников и студентов, проводящих и выполняющих лабораторные работы в лаборатории. Требования настоящих правил являются обязательными и отступление от них не допускаются.

Запрещается выполнение распоряжений противоречащих требованиям настоящих правил.

Каждый работающий в лаборатории, если он сам не может принять меры по устранению нарушения правил, обязан немедленно сообщить вышестояще-

му начальству о всех замеченных им нарушениях правил, представляющих опасность для жизни людей.

При несчастных случаях с людьми снятие напряжений для освобождения пострадавшего от воздействия электрического тока должно быть произведено без предварительного разрешения.

Лица, не имеющие непосредственного отношения к кафедре энергетики или к выполнению лабораторных работ, допускаются в лабораторию с разрешения декана (заместителя декана) или заведующего кафедры энергетики под надзором инженера или преподавателя.

Выполнение лабораторных работ в лаборатории осуществляется группой студентов в количестве не более 8 человек под руководством инженера или преподавателя. Инженер должен иметь группу по электробезопасности не ниже 5, преподаватель не ниже 4, студенты не ниже 2.

Группа, прибывшая для выполнения лабораторных работ разбивается на две-три подгруппы (бригады), где студенты являются членами бригады. Каждую бригаду возглавляет преподаватель или инженер которые являются производителями работ.

Производитель работ отвечает:

- за соответствие рабочего места методическим указаниям;
- за четкость и полноту инструктажа членов бригады (студентов);
- за наличие, исправность и правильное приспособлений;
- за безопасное проведение лабораторной работы и соблюдение настоящих Правил ТБ;
- осуществляет постоянный надзор за членами бригады.

Каждый член бригады обязан соблюдать настоящие Правила ТБ и инструктивные указания, полученные при допуске к работе и во время работы, а также требования методических указаний по выполнению лабораторных работ и местных инструкций по охране труда.

Лица, нарушившие правила настоящие Правила ТБ, отстраняются от выполнения лабораторной работы и удаляются из аудитории.

Перед началом выполнения лабораторных работ:

Преподавателем назначается старший в бригаде и производится распределение обязанностей, т.е. определяется, кто включает и выключает установку, кто следит за показаниями приборов и производит отсчет, кто делает записи результатов.

Перераспределение обязанностей во время проведения лабораторной работы не допускается.

Члены бригады:

а) изучают методические указания по выполнению лабораторной работы, знакомятся с установкой, ее схемой, приборами, расположением оборудования.

б) изучают особые правила техники безопасности при выполнении данной работы.

в) получают инструктаж от преподавателя или инженера по безопасному выполнению лабораторной работы и использованию оборудования, приборов и приспособлений.

г) сдают зачеты по знанию настоящих Правил ТБ, а также схем и методических указаний по выполнению лабораторной работы.

д) заготавливают черновик работы, куда зарисовывают схему установки, составляют таблицы для записей и результатов.

Во время выполнения лабораторной работы:

- категорически запрещается:

1) Прикасаться руками к приборам.

2) Без разрешения преподавателя или инженера:

а) включать и отключать приборы;

б) переключать тумблеры и переключатели на приборах;

в) переходить на другое рабочее место;

г) громко разговаривать, кричать, перераспределять обязанности.

- все переключения в схемах установок производятся только после проверки схемы преподавателем или инженером и после их разрешения.

- с момента включения испытываемое оборудование и соединительные провода, считаются находящимися под напряжением, проводить какие-либо изменения в схеме или на испытываемом оборудовании, прикасаться к корпусу установки категорически запрещается.

- после выполнения испытаний или измерений необходимо:

1. отключить источник;
2. отключить питание блока мультиметров;
3. сообщить об этом бригаде и только после выполнения этих операций можно производить пере соединения, т.е. присоединить провода или отсоединить их от установки.

После окончания лабораторной работы:

- отключить установку от сети;
- при необходимости разобрать схему испытаний или измерений;
- навести порядок на рабочих местах.

1.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ И ЕЕ НЕЙТРАЛИ НА УСЛОВИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

(лабораторная работа № 1**)**

Цель работы*:* Оценить опасность поражения электрическим током в зависимости от:

– напряжения и схемы питания электроустановок,

– режима нейтрали,

– сопротивления элементов электрической сети,

– условий включения человека в цепь.

Задание: Проанализировать полученные результаты и сделать выводы о влиянии параметров в электрической сети с глухозаземленной (изолированной) нейтралью на условия электробезопасности.

Краткое содержание теоретической части:

В общем случае электробезопасность электрических сетей, если не учитывать физиологические особенности и психологическое состояние человека, оценивается в основном значениями тока, проходящего через человека, напряжения прикосновения и времени воздействия указанных величин. Однако, следует предположить, что на тяжесть электротравмы существенное влияние будет оказывать режим работы нейтрали электрической сети, причем как при непосредственном прикосновении к токоведущим частям, так и при прикосновении к корпусам электрооборудования при аварийных режимах.

В зависимости от режима нейтрали электрические сети разделяют на четыре группы:

1) сети с незаземленными (изолированными) нейтралями;

2) сети с резонансно-заземленными (компенсированными) нейтралями;

3) сети с эффективно заземленными нейтралями;

4) сети с глухо заземлёнными нейтралями.

Согласно требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ, гл. 1.2).

Сети с номинальным напряжением **до 1 кВ**, питающиеся от понижающих трансформаторов, присоединенных к сетям с Uном > 1 кВ, выполняются с глухим заземлением нейтрали.

Сети **с Uном до 1 кВ**, питающиеся от автономного источника или разделительного трансформатора (по условию обеспечения максимальной электробезопасности при замыканиях на землю), выполняются с незаземленной нейтралью.

Сети с **Uном = 110 кВ** и выше выполняются с эффективным заземлением нейтрали (нейтраль заземляется непосредственно или через небольшое сопротивление).

Сети **3 — 35 кВ**, выполненные кабелями, при любых токах замыкания на землю выполняются с заземлением нейтрали через резистор.

Сети **3—35 кВ**, имеющие воздушные линии, при токе замыкания не более 30 А, выполняются с заземлением нейтрали через резистор.

Компенсация емкостного тока на землю необходима при значениях этого тока в нормальных условиях:

- в сетях **3 - 20 кВ** с железобетонными и металлическими опорами ВЛ и во всех сетях **35 кВ** - более 10 А;
- в сетях, не имеющих железобетонных или металлических опор ВЛ:
  при напряжении **3 - 6 к**В - более 30 А;
  при **10 кВ** - более 20 А;
  при **15 - 20 кВ** - более 15 А;
- в схемах **6 - 20 кВ** блоков генератор - трансформатор - более 5А.

При токах замыкания на землю более 50 А рекомендуется установка не менее двух заземляющих дугогасящих реакторов.

Электротехнические установки напряжением выше 1 кВ согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) разделяются на установки с большими токами замыкания на землю (сила тока однофазного замыкания на землю превышает 500 А) и установки с малыми токами замыкания на землю (сила тока однофазного замыкания на землю меньше или равна 500 А).

В установках с большими токами замыкания на землю нейтрали присоединены к заземляющим устройствам непосредственно или через малые сопротивления. Такие установки называются ***установками с глухозаземленной нейтралью***.

В установках, имеющих малые токи замыкания на землю, нейтрали присоединены к заземляющим устройствам через элементы с большими сопротивлениями. Такие установки называются ***установками с изолированной нейтралью***.

В установках с глухозаземленной нейтралью всякое замыкание на землю является коротким замыканием и сопровождается большим током.

В установках с изолированной нейтралью замыкание одной из фаз на землю не является коротким замыканием (КЗ).

Прохождение тока через место замыкания обусловлено проводимостями (в основном, емкостными) фаз относительно земли.

Выбор режима нейтрали в установках напряжением выше 1 кВ производится при учете следующих факторов: экономических, возможности перехода однофазного замыкания в междуфазное, влияние на отключающую способность выключателей, возможности повреждения оборудования током замыкания на землю, релейной защиты и др.

В электрических сетях приняты следующие режимы работы нейтрали: электрические сети с номинальными напряжениями 6...35 кВ работают с малыми токами замыкания на землю; при небольших емкостных токах замыкания на землю - с изолированными нейтралями; при определенных превышениях значений емкостных токов - с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор.

Если в одной из фаз трехфазной системы, работающей с изолированной нейтралью, произошло замыкание на землю, то напряжение ее по отношению к земле станет равным нулю, а напряжение остальных фаз по отношению к земле станет равным линейному, т. е. увеличится в 3 раз. Ток замыкания на землю будет небольшим, поскольку вследствие изоляции нейтрали

отсутствует замкнутый контур для его прохождения. Ток замыкания на землю в системе с изолированной нейтралью будет небольшим и не вызовет аварийного отключения линии. Таким образом, изоляция нейтрали источника питания обеспечивает надежность электроснабжения, так как не отражается на работе потребителей.

Однако в сетях с большими емкостными токами на землю (особенно в кабельных сетях) в месте замыкания возникает перемежающаяся дуга, которая периодически гаснет и вновь зажигается, что наводит в контуре с активными, индуктивными и емкостными элементами э.д.с, превышающие номинальные напряжения в 2,5...3 раза. Такие напряжения в системе при однофазном замыкании на землю недопустимы. Чтобы предотвратить возникновение перемежающихся дуг между нейтралью и землей включают индуктивную катушку с регулируемым сопротивлением.

Повышение напряжения по отношению к земле в неповрежденных фазах при наличии слабых мест в изоляции этих фаз может вызвать междуфазное короткое замыкание,. Кроме того, напряжение в неповрежденных фазах повышается в 3 раз, следовательно, требуется выполнять изоляцию всех фаз на линейное напряжение, что приводит к удорожанию машин и аппаратов. Поэтому, хотя и разрешается работа сети с изолированной нейтралью при замыкании фазы на землю, его требуется немедленно обнаружить и устранить.

Электрические сети с номинальным напряжением 110 кВ и выше работают с большими токами замыкания на землю (с эффективно заземленными нейтралями).

Для автономных передвижных установок нейтраль выбирается изолированной.

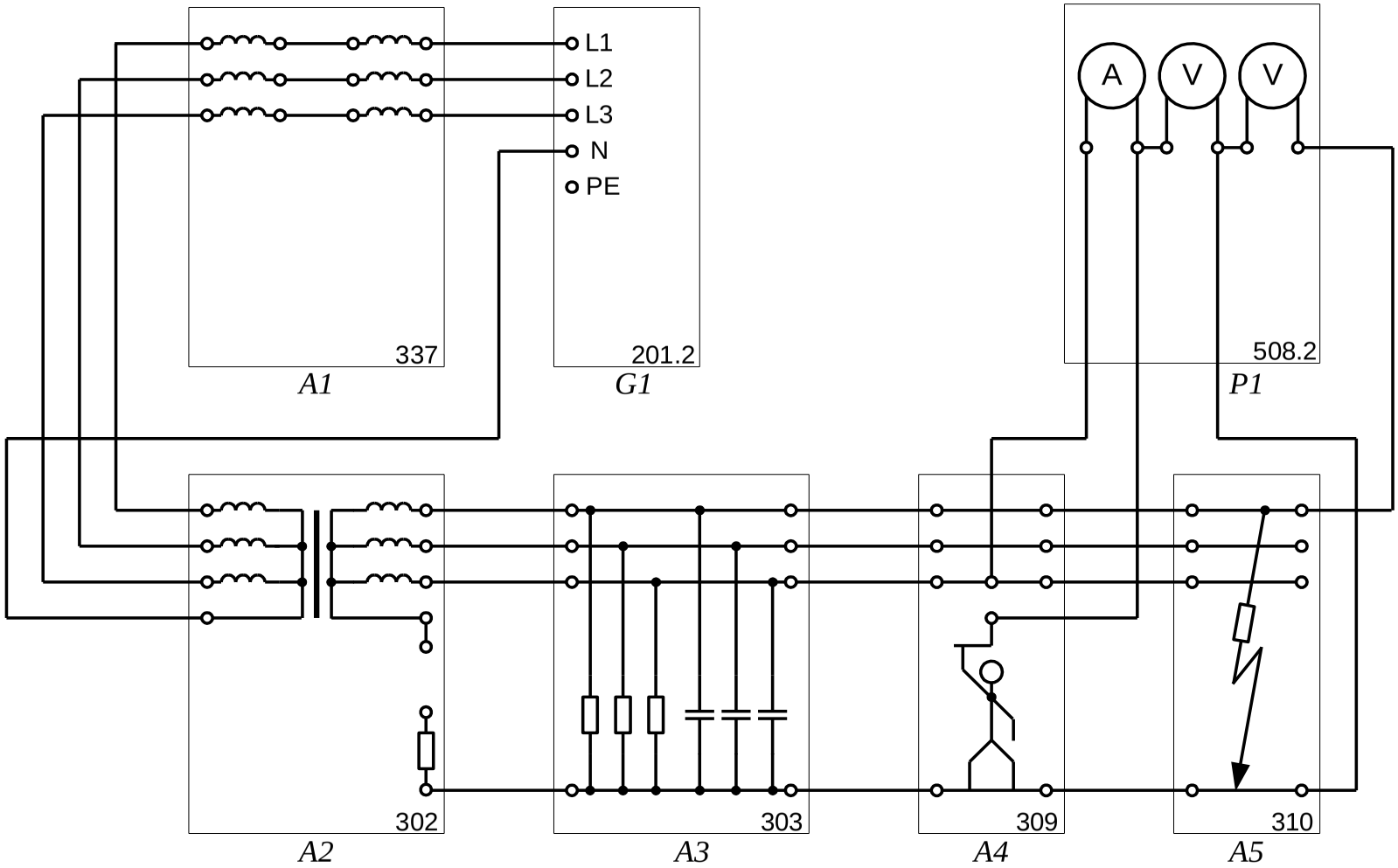
Согласно "Правил устройств электроустановок" при питании стационарных электроприемников от автономных источников питания режим нейтрали источника питания и защитные меры должны соответствовать режиму нейтрали и защитным мерам, принятым в сетях стационарных электроприемников.

Поэтому, для дизель-генераторов, используемых в качестве "резерва промышленной сети", нейтраль выбирается глухозаземленной.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ; 16 А
Al	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн: 0,5 А
A2	Трёхфазный трансформатор	302	250 В·А. 380/380 В. Y-0/Y-0
A3	Модель участка электрической сети	303	380 В; 3x0.5 А
A4	Модель человека	309	380 В; 3x0.5 А
A5	Модель замыкания на землю	310	380 В; 3x0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В; 0...10 А; 0...20 МОм

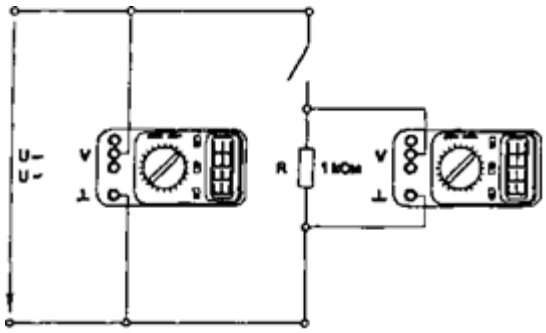
Электрическая схема соединений



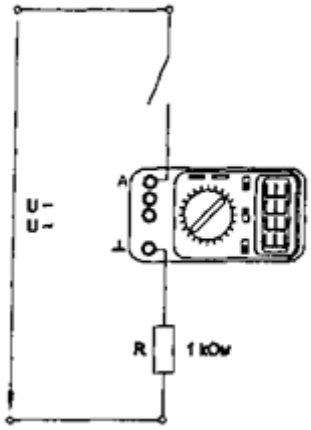
Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мульти метра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мульти метр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

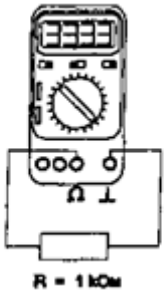
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мульти метра к измеряемой цепи.



Присоединение мульти метра как вольтметра



Присоединение мульти метра как амперметра



Присоединение мульти метра как омметра

Указания по проведению эксперимента:

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
3. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
4. Установите у модели А5 сопротивление замыкания на землю $\mathbf{R_{зам}= \infty}$.
5. Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
6. Варьируя сопротивления изоляции $\mathbf{R_{из}= R_A + R_B + R_C}$ и емкости $\mathbf{C= C_A + C_B + C_C}$ фаз модели А3, а также сопротивлений $\mathbf{R_{об}}$ и $\mathbf{R_{пола}}$ модели А4, снимите в электрической сети с изолированной нейтралью с помощью амперметра блока P1 следующие зависимости тока через тело человек: $\mathbf{I_h=f\ (R_{из}),\ I_h=f\ (C),\ I_h=f\ (R_{об}),\ I_h=f\ (R_{пола})}$.
7. Смоделируйте электрическую сеть с глухозаземленной нейтралью. Для этого соедините перемычкой гнездо нейтральной точки трансформатора и гнездо сопротивления заземлителя $\mathbf{R_0}$ в блоке трехфазного трансформатора А2.
8. Снимите аналогичные ранее снятым для электрической сети с изолированной нейтралью зависимости тока через тело человека для электрической сети с глухозаземленной нейтралью.
9. Сопоставьте снятые зависимости и сделайте вывод о влиянии режима нейтрали электрической сети на условия электробезопасности.
10. Варьируя сопротивление изоляции $\mathbf{R_{из}= R_A + R_B + R_C}$ и емкости $\mathbf{C= C_A + C_B + C_C}$ фаз модели А3, сопротивление замыкания на землю $\mathbf{R_{зам}}$ модели А5, а также сопротивлений $\mathbf{R_{об}}$ и $\mathbf{R_{пола}}$ модели А4, снимите в электрической сети с глухозаземленной нейтралью с помощью амперметра блока P1 зависимости тока через тело человека: $\mathbf{I_h=f\ (R_{из}),\ I_h=f\ (C),\ I_h=f\ (R_{зам})}$, а также с помощью вольтметра блока P1- зависимость напряжения прикосновения $\mathbf{U_{пр}= f\ (R_{зам})}$.

11. Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы о влиянии параметров в электрической сети с глухозаземленной нейтралью на условия электробезопасности.

12. Смоделируйте электрическую сеть изолированной нейтралью. Для этого уберите перемычку, соединяющую гнездо нейтральной точки трансформатора и гнездо сопротивления заземлителя $\mathbf{R_0}$ в блоке трехфазного трансформатора А2.

13. Варьируя параметры моделей А3… А5, снимите с помощью амперметра и вольтметров блока Р1: зависимости тока через тело человека: $\mathbf{I_h=f\ (R_{из})}$, $\mathbf{I_h=f\ (C)}$, $\mathbf{I_h=f\ (R_{зам})}$, зависимости напряжения прикосновения $\mathbf{U_{пр}= f\ (R_{зам})}$, $\mathbf{U_{пр}= f\ (R_{пол})}$ и напряжения фаз электрической сети относительно земли $\mathbf{U_A= f\ (R_{зам})}$, $\mathbf{U_B= f\ (R_{зам})}$, $\mathbf{U_C= f\ (R_{зам})}$.

14. Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы о влиянии параметров в электрической сети с изолированной нейтралью на условия электробезопасности.

15. По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров Р1.

Таблица 1

№	$R_{из}$	I_h(изолир.нейтраль)	I_h(глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
…..			

Таблица 2

№	C	I_h(изолир.нейтраль)	I_h(глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
…..			

Таблица 3

№	$R_{об}$	I_h(изолир.нейтраль)	I_h(глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
…..			

Таблица 4

№	$R_{пола}$	I_h(изолир.нейтраль)	I_h(глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
……			

Таблица 5

№	$R_{зам}$	$U_{пр}$(глухозаз.нейтраль)	I_h(глухозаз.нейтраль)
1			
2			
3			
…..			

Таблица 6

№	$R_{зам}$	$U_{пр}$(изолир.нейтраль)	I_h(изолир.нейтраль)
1			
2			
3			
…..			

Таблица7

№	$R_{зам}$	U_A(изолир.нейтраль)	U_B(изолир.нейтраль)	U_C(изолир.нейтраль)
1				
2				
3				
…..				

Форма представления результатов, полученных при проведении работы

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

Выводы

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

Вопросы и задания для самостоятельного контроля

1. Как в зависимости от режима нейтрали электрические сети разделяются на группы;
2. Что такое глухо заземлённая нейтраль;
3. Что такое изолированная нейтраль;
4. Что такое компенсированная нейтраль;
5. Назначение электронного мульти метра в данной лабораторной работе;
6. Как влияет режим электрической сети и ее нейтрали на условия электробезопасности.

1.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЯВЛЕНИЕ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКА В ЗЕМЛЮ ЧЕРЕЗ ЗАЩИТНЫЙ ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ

(лабораторная работа № 2**)**

Цель работы: Изучить зависимости, характеризующие явления при стекании тока в землю через различные виды заземлителей.

Задание: Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о зависимостях, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель.

Краткое содержание теоретической части:

Стекание тока в землю происходит только через проводник, находящийся с нею в непосредственном контакте. Такой контакт может быть случайным или преднамеренным.

В последнем случае проводник или группа соединенных между собой проводников, находящихся в контакте с землей, называется ***заземлителем***.

Причинами стекания тока в землю является замыкание токоведущей части на заземленный корпус электрического оборудования или падение провода на землю либо использование земли в качестве провода и т. п. Во всех этих случаях происходит резкое снижение потенциала φ_3, заземлившейся токоведущей части до значения, равного произведению тока, стекающего в землю, I_3, на. сопротивление заземлителя растеканию тока R_3.

$$\varphi_3 = I_3 R_3 \quad . \qquad (1)$$

Это явление используют как меру защиты от поражения током при случайном появлении напряжения на металлических нетоковедущих частях, которые с этой целью заземляю. Однако наряду с понижением потенциала заземлившейся токоведущей части при стекании тока в землю возникают и отрицательные явления, появляется потенциал на заземлителе и находящихся в контакте с ним металлических частях, а также на поверхности грунта вокруг места стекания тока в землю. Возникающие при этом разности потенциалов отдель-

ных точек электрической цепи протекания тока, в том числе точек на поверхности земли, достигают больших значений, и представлять опасность для человека.

Значение потенциалов, их разностей и характер изменений, а, следовательно, и обусловленная ими опасность поражения человека током зависят от многих факторов:

- значения тока, стекающего в землю;
- конфигурации, размеров, числа и взаимного расположения электродов;
- удельного сопротивления грунта и др.

Воздействуя на некоторые из этих факторов можно снизить разности потенциалов, действующие на человека, до безопасных значений.

1.1.Заземлитель с полусферическим электродом

Заземлитель с полусферическим электродом – заземлитель со сферическим электродом, заглубленный так, что его центр находится на уровне земли.

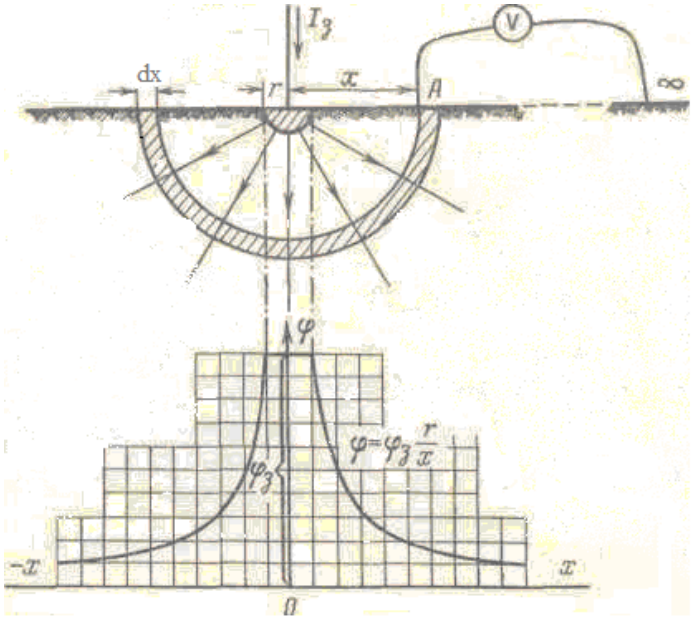


Рисунок 1- Распределение потенциала на поверхности земли вокруг заземлителя с полусферическим электродом

Для такого заземлителя уравнение потенциальной кривой на поверхности земли будет равно:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}, \qquad (2)$$

Потенциал заземлителя φз, будет при x, равном радиусу заземлителя r, т. е.

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi r}, \qquad (3)$$

Разделив (2) на (3), получим

$$\varphi = \varphi_3 \, r \frac{I}{x}, \qquad (4)$$

1.2.Заземлитель с вертикальным трубчатым электродом

Рассмотрим заземлитель с вертикальным трубчатым электродом длиной l, и диаметром d, погруженный в землю так, чтобы его верхний конец был на уровне земли.

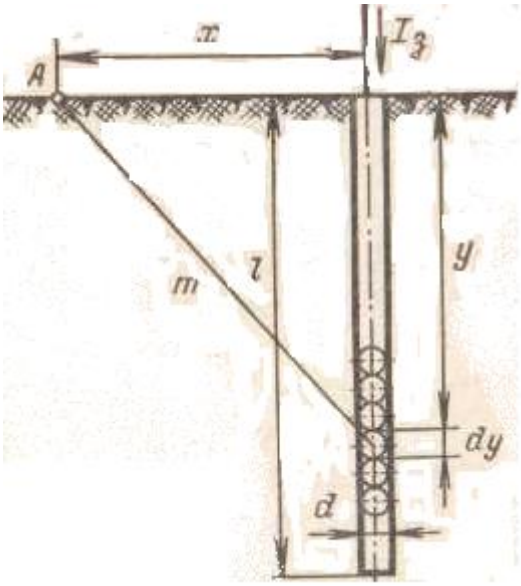


Рисунок 2 - Определение уравнения потенциальной кривой заземлителя с вертикальным трубчатым электродом

С заземлителя стекает ток I3. Найдем выражение для расчета потенциала точек на поверхности земли и потенциала заземлителя.

Разбиваем заземлитель по длине на бесконечно малые участки каждый длиной dy и диаметром dy.

С каждого такого участка в землю стекает ток, который обуславливает возникновение элементарного потенциала dφ, в некоторой точке земли.

$$dI_з = \frac{I_3}{l} dy, \qquad (4)$$

Рассмотрим точку А на поверхности земли, отстоящую от оси заземлителя на расстоянии x.

Потенциал этой точки будет равен

$$d\varphi = \frac{dI_3 \rho}{2\pi} \cdot \frac{1}{m}, \qquad (6)$$

Учитывая, что $m = \sqrt{x^2 + y^2}$, и заменяя dIз его значением из формулы (4), получаем

$$d\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi L} \cdot \frac{dy}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \qquad (7)$$

Проинтегрировав это уравнение по всей длине заземлителя (от 0 до l), получим искомое уравнение для потенциала точки А, т. е. уравнение потенциальной кривой

$$d\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \int_0^l \frac{dy}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x}, \qquad (8)$$

Потенциал заземлителя φ3, будет, при x = 0,5d т. е.

$$\varphi_З = \frac{I_З \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{(0{,}5d)^2 + l^2} + l}{0{,}5d}, \qquad (9)$$

Здесь 0,5 d << l, следовательно, первым слагаемым под корнем можно пренебречь. Тогда это уравнение примет вид

$$\varphi_З = \frac{I_З \rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}, \qquad (10)$$

На рис. 2.3 показана потенциальная кривая заземлителя с вертикальным трубчатым электродом с отношением размеров l : d = 50.

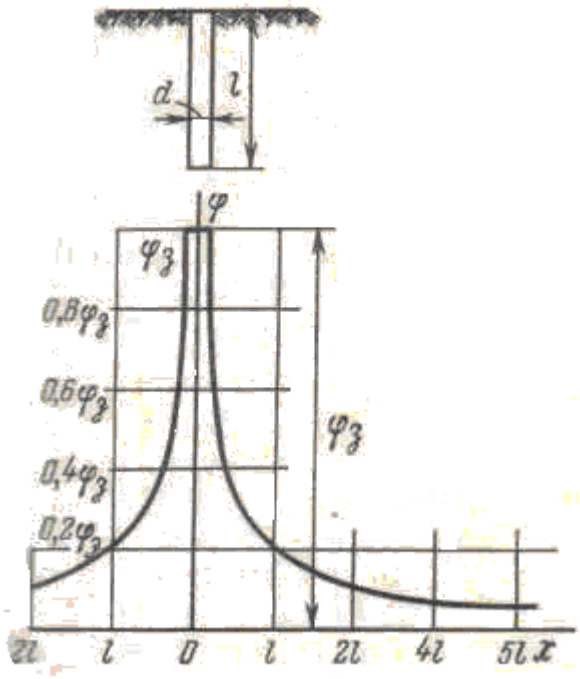


Рисунок 3 - Распределение потенциала на поверхности земли вокруг заземлителя с вертикальным трубчатым электродом с размерами l : d = 50 (l = 2,5; d = 0,05)

1.3. Заземлитель с протяженным трубчатым электродом на поверхности

У этого вида заземлителя, находящегося на поверхности земли и заглубленного так, что его продольная ось совпадает с поверхностью земли, изменения потенциальной кривой различны в различных направлениях.

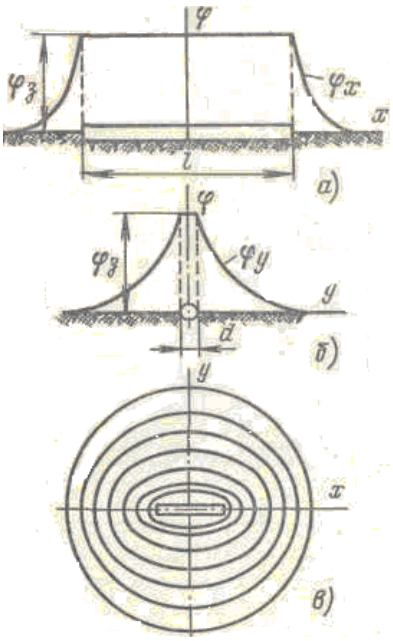


Рисунок 4 - Распределение потенциала на поверхности земли вокруг заземлителя с протяженным трубчатым электродом:

а) потенциальная кривая вдоль оси заземлителя;

б) потенциальная кривая в плоскости, перпендикулярной оси заземлителя и пересекающей его в середине;

в) эквипотенциальные кривые на поверхности земли вокруг протяженного заземлителя.

Наиболее резко потенциал падает вдоль оси заземлителя, а наиболее плавно – поперек оси по линии, проведенной через его середину.

Уравнение потенциальных кривых этого заземлителя имеют следующий вид:

а) вдоль оси заземлителя (по оси x),

$$\varphi x = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + d^2} + 2x}{\sqrt{l^2 + d^2} + 2x - 2l}, \qquad (11)$$

где l и d – длина и диаметр сечения заземлителя.

б) поперек оси заземлителя (по оси y),

$$\varphi y = \frac{I_3 \rho}{\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4y^2} + l}{2y}, \qquad (12)$$

Потенциал заземлителя будет при наименьшем значении x, т. е. при x = 0,5l, если φз вычисляется из (11), или при наименьшем значении y, т. е. при y = 0,5 d, если φз вычисляется из (12), т. е

$$\varphi з = \frac{I_3 \rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}, \qquad (13)$$

Эквипотенциальные линии на поверхности земли вокруг протяженного заземлителя приближаются по форме к эллипсам; на большом расстоянии от заземлителя они переходят в окружности (рисунок 4 в).

1.4. Напряжение прикосновения

Напряжение прикосновения для человека, касающегося заземленного корпуса электрооборудования и стоящего на земле (случай 3 на рисунке 5), определяется отрезком АВ и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния x между человеком и заземлителем (чем дальше от заземлителя находится человек, тем больше $U_{ПР}$ и наоборот). Так, при наибольшем расстоянии, т. е. при x →∞, практически при x ≥ 20 м (случай 1 на рисунке 5) напряжение прикосновения имеет наибольшее значение: Uпр = φз; при этом коэффициент прикосновения α1 = 1. Это — наиболее опасный случай прикосновения.

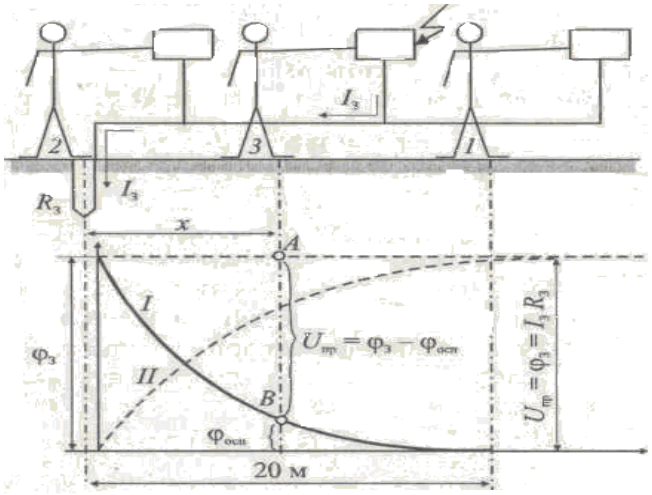


Рисунок 5 - Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе:
I - потенциальная кривая; II – кривая, характеризующая изменение $U_{ПР}$ при изменении x

При наименьшем значении x, т. е. когда человек стоит непосредственно на заземлителе (случай 2 на рисунке 5), Unp = 0 и α1 = 0. Это — безопасный случай, так как человек не подвергается воздействию напряжения, хотя он, и находится под потенциалом заземлителя φз.

При других значениях x в пределах 0 – 20 м (случай 3 на рисунке 5) $U_{ПР}$ плавно возрастает от 0 до φ_3, а α1 — от 0 до 1.

В практике устройства защитных заземлений необходимо знать максимальные напряжения прикосновения.

Для примера проанализируем изменение Unp и α1, при одиночном полусферическим заземлителе радиусом r. В этом случае потенциал любой точки на поверхности земли вокруг заземлителя описывается уравнением φ = rφз/x , поэтому

$$Unp = \varphi з - \frac{\varphi_3 r}{x} = \varphi_3 (1 - \frac{r}{x}), \qquad (14)$$

а коэффициент прикосновения

$$\alpha 1 = 1 - \frac{r}{x}, \qquad (15)$$

При x → ∞, а практически при x ≥ 20 м (случай 1 на рисунке 5) $\frac{r}{x} \approx 0$. Напряжение прикосновения и коэффициент прикосновения будут иметь максимальные значения: Unp max = φз; α1 = 1.

При x = r (случай 2 на рисунке 5) $\frac{r}{x} = 1$, поэтому Unp = 0 и α1 = 0.

При промежуточных значениях x от r до 20 м Unp и α1 определяются из выражения (14) и (15).

При заземлителе с вертикальным трубчатым электродом выражение для расчета Unp и α1 можно получить, вычитая уравнение потенциала некоторой точки основания из уравнения потенциала заземлителя

$$\frac{I_3\rho}{2\pi l}\ ln\ \frac{4l}{\mathrm{d}} - \frac{\mathrm{I}_3\rho}{2\pi l}\ ln\ \frac{\sqrt{x^2+l^2}+1}{}\ x = \varphi_3\left(1 - \frac{ln\frac{\sqrt{x^2+l^2}+1}{\mathrm{x}}}{\ln\frac{4l}{d}}\right), \qquad (16)$$

$$\alpha 1 = 1 - \frac{ln\frac{\sqrt{x^2+l^2}+l}{\mathrm{x}}}{\ln\frac{4l}{d}}, \qquad (17)$$

Максимальные Unp и α1 будут при x = ∞.

1.5 Шаговое напряжение

Шаговое напряжения возникает между нагими человека в следствии не равномерного распределения потенциала заземлителя по земле (рисунок 6). Точка касания ноги расположенная ближе к заземляющему электроду будет иметь больший потенциал, по сравнению с более удаленной. Следовательно, между двумя точками касания на расстоянии шага (0,8 м) существует разность потенциала. Эта разность и называется шаговым напряжением.

Величина шагового напряжения зависит от величины шага и от расстояния x от заземлителя. Шаговое напряжения для полусферического электрода можно наитии на основании (4) по следующему выражению:

$$Uш = \varphi - \varphi a = (r\varphi з/x) - (r\varphi з/x+a) = r\varphi за/x(x+a) \qquad (18)$$

Как видно $U_{ш1} > U_{ш2}$ если расстояние от заземлителя больше. Следовательно, по мере удаления от места замыкания шаговое напряжение уменьшается. Шаговое напряжения на расстоянии 10..20 м от места замыкания практически не приставляет опасность.

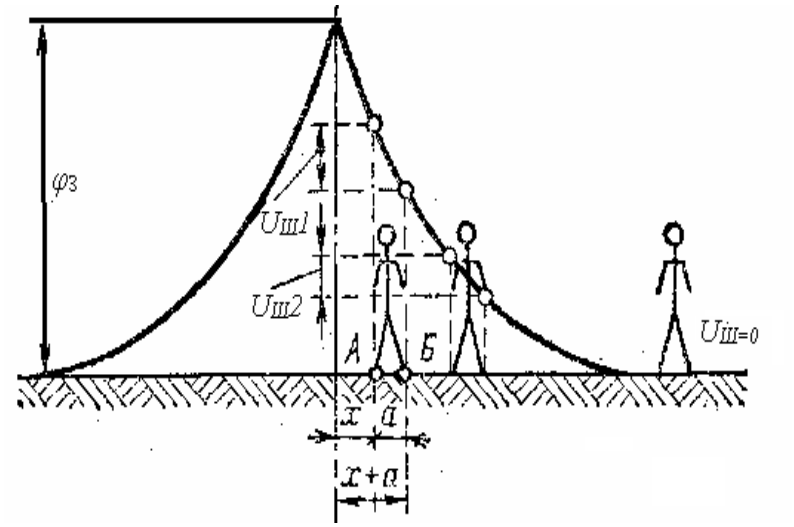
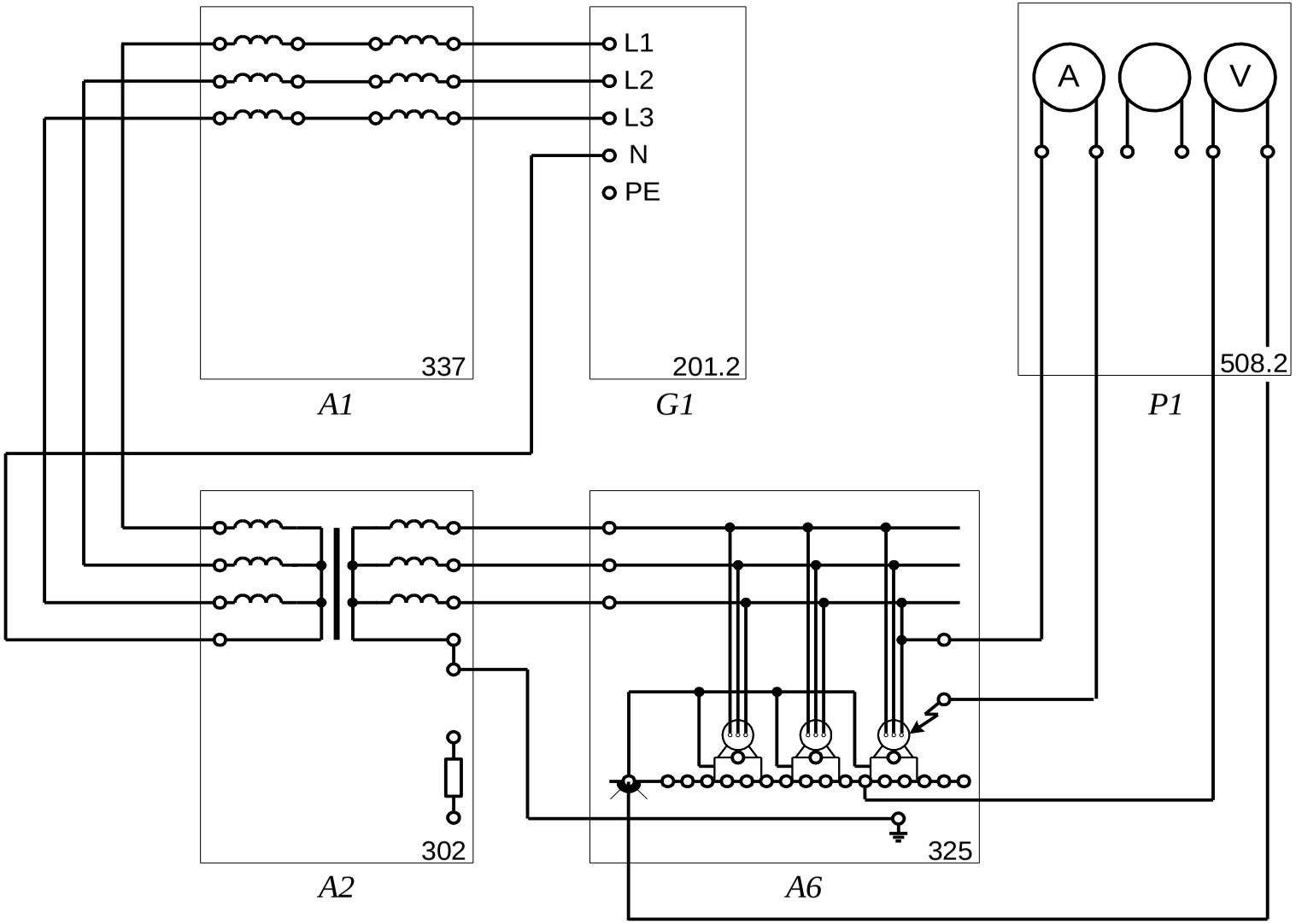


Рисунок 6 – Шаговое напряжение

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Тн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A6	Модель заземлителя с полусферическим электродом Модель заземлителя с вертикальным трубчатым электродом Модель заземлителя с протяженным трубчатым электродом на поверхности	325 326 327	380 В 3 x 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0... 1000 В 0...10 А 0...20 Мом

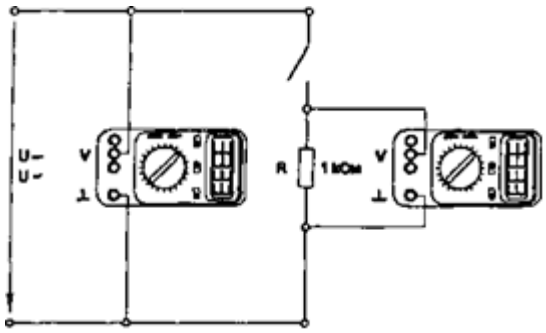
Электрическая схема соединений



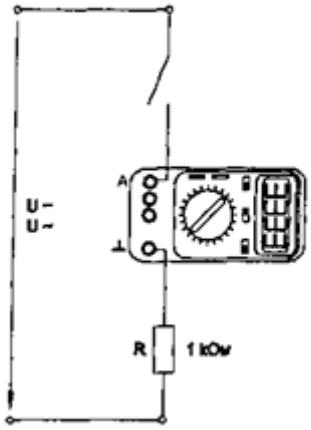
Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мульти метра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мульти метр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

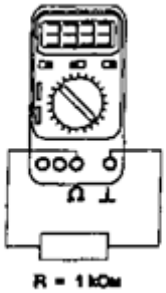
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мульти метра к измеряемой цепи.



Присоединение мульти метра как вольтметра



Присоединение мультиметра как амперметра



Присоединение мультиметра как омметра

Указания по проведению эксперимента:

1. Используйте первоначально в эксперименте, например, модель А6 заземлителя с полусферическим электродом (код 325).
2. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
3. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
5. Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
6. При заданных сопротивлениях грунта **ρ** модели заземлителя А6, снимите с помощью вольтметра блока P1 зависимости от расстояния **x:** потенциала основания электрооборудования $\varphi_{осн}$**= f (x) (**вольтметр включать между гнездом «⊥» и гнездами, соответствующими расстоянию **x),** напряжения прикосновения $U_{пр}$**= f (x)** (вольтметр включать между гнездом «**0**» и гнездами, соответствующими расстоянию **x),** шагового напряжения $U_{ш}$**= f (x)** (вольтметр включать между соседними гнездами, соответствующими расстоянию **x).**
7. Ток стекания в землю контролируйте с помощью амперметра блока P1. Он не должен превышать **0,5 А!**
8. Отключите источник G1 и замените в электрической схеме модель А6 заземлителя с полусферическим электродом (код 325) на модель А6 заземлителя с вертикальным трубчатым электродом (код 326).
9. Включите источник G1 и вновь снимите вышеупомянутые зависимости.
10. Еще раз отключите источник G1 и замените в электрической схеме модель А6 заземлителя с вертикальным трубчатым электродом (код 326) на модель А6 заземлителя с протяженным трубчатым электродом на поверхности (код 327).
11. Вновь включите источник G1 и в третий раз снимите вышеупомянутые зависимости.

12. По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.

13. Используйте полученные зависимости для формулирования выводов о влиянии на электробезопасность типа заземлителя, удельного соротивления грунта, в котором он заложен, и расстояния от заземлителя до места установки защищаемого электрооборудования.

№	x	ρ	$\varphi_{осн}$	ρ	$\varphi_{осн}$
1					
2					
3					
4					
5	….	….	….	….	….

Таблица 2

№	x	$U_{пр}$
1		
2		
3		
4	….	….

Таблица 3

№	x	$U_{ш}$
1		
2	….	….

Форма представления результатов, полученных при проведении работы

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

Выводы

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

Вопросы и задания для самостоятельного контроля

1. Причина возникновения шагового напряжения;
2. Как распределяется потенциал на поверхности грунта в зоне растекания тока с заземляющего электрода;
3. На каком расстоянии начинается «земля» с нулевым потенциалом;
4. Как зависит напряжения прикосновения заземленного корпуса от расстояния от места замыкания на землю;
5. Как влияет величина напряжения прикосновения на величину сопротивления растеканию заземляющего устройства.

1.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

(лабораторная работа № 3)

Цель работы: Изучить основные факторы, влияющие на тяжесть поражения человека электрическим током, исследовать изменение сопротивления тела человека в зависимости от площади контакта при различной частоте электрического тока.

Задание: Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о зависимостях, характеризующих электрическое сопротивление тела человека

Краткое содержание теоретической части:

Человеческое тело, как и любое другое тело живого организма, имеет свойство проводить через себя электрический ток. Разные живые ткани в организме имеют различную проводимость (сопротивление). К примеру — кожа, жировая ткань, кости – имеют большое сопротивление, а кровь, мышечная масса и особенно головной и спинной мозг – малое. Кожа имеет большое удельное электрическое сопротивление, что впоследствии и определяет фактическое сопротивление человеческого тела.

Кожа человека, как известно, имеет два слоя:

1. наружный слой кожи (также ещё называется эпидермис) состоит из не сколько слоёв, самый верхний из которых называется роговым и представляет собой множество рядов отмерших и ороговевших клеток. В чистом и сухом виде этот слой можно характеризовать как диэлектрик (он имеет очень большое электрическое сопротивление). Следующий слой эпидермиса (носит название — ростковый) гораздо тоньше рогового и имеет значительно большую электрическую проводимость (меньшее сопротивление).

2. внутренний слой кожи (называется дерма) представляет собой живую ткань. Данный слой дермы имеет малое электрическое сопротивление.

Электрическое сопротивление обычного человека при условии, что кожа у него чистая, сухая и неповреждённая (измеренное напряжением 15-20 Вольт) лежит в пределах 3 - 100 кОм (1кОм = 1000 Ом), в некоторых случаях и бо-

лее. Сопротивление тела человека, а именно проводимость между двух электродов, которые касаются поверхности кожи, можно рассматривать как 3 сопротивления включённых последовательно: наружные слои (эпидермиса) представляют собой первое сопротивление, и внутренние слои является вторым и третьим сопротивлением, включающим в себя сопротивления внутреннего слоя кожи и сопротивление внутренних тканей.

Наружное сопротивление человека обладает не только активным сопротивлением, а ещё и ёмкостным, поскольку в самом месте контактирования электродов с человеческим телом образовывается некое подобие конденсатора, в роле обкладок которого, являются сами электроды и ткани тела человека, хорошо проводящие электрический ток, что находятся под наружным слоем кожи, ну, а диэлектриком (изолятором между обкладками) в дан ном случае будет выступать наружный слой кожи (эпидермис). Ёмкостная составляющая, присутствующая в сопротивлении человека обуславливает влияние, как рода электрического тока, так и его частоты на общую вели чину сопротивления тела. При частоте 10 - 20 кГц и свыше можно утверждать, что поверхностный слой кожи почти полностью утрачивает своё сопротивление, и общее сопротивление человека в данном случае будет со стоять лишь из внутреннего сопротивления тела (сопротивление дермы и внутренних тканей. Общее состояние кожи в значительной мере оказывает влияние на величину электрического сопротивления человека. При по вреждении рогового слоя кожи (царапины, порезы, ссадины и т.д.) происходит снижение сопротивления человека до величины, приближенного к значению внутреннего сопротивления, а это, естественно, повышает опасность поражения электрическим током. Подобное влияние может оказываться и в случае увлажнения кожи водой или потом.

Так как сопротивление кожи у одного и того же человека может быть неодинаковое в разных местах и частях тела, то, естественно, на его сопротивление сильно будет влиять конкретное место прикосновения электрических контактов, а также их общая площадь. Величина электрического тока и длительность воз-

действия на тело оказывают прямое влияние на полное сопротивление человека: с увеличением значения тока и времени его прохождения, сопротивление будет понижаться, потому что происходит местный нагрев участков кожи, а это, само собой, ведёт к расширению сосудов, тем самым усиливая снабжение данного участка тела кровью, увеличения его потоотделение. Увеличение напряжения, воздействующее на тело человека, вызывает понижение сопротивления кожи в 10-ки раз, следовательно, и общее сопротивление человека, снижается до предела 300 - 500 Ом. А это опасно.

Степень воздействия электрического тока на организм человека зависит в основном от следующих факторов:

- от величины электрического тока, А;
- длительности воздействия тока, с;
- пути протекания;
- рода и частоты тока, Гц.

Величина тока в электрической цепи определяется сопротивлением этой цепи и приложенным напряжением. Сопротивление тела человека является специфическим, так как различные ткани тела имеют различное электрическое сопротивление (таблица 1).

Таблица 1 – Удельное объемное электрическое сопротивление тканей человеческого организма, Ом · м

№ п/п	Наименование ткани	Удельное сопротивление, Ом*м
1	Кожа сухая	$3 \cdot 10^4 – 2 \cdot 10^5$
2	Кости (без надкостницы)	$10^4 – 2 \cdot 10^5$
3	Жировая ткань	300 – 600
4	Мышечная ткань	15,0 – 30,0
5	Кровь	10,0 – 20,0
6	Спинномозговая жидкость	5,0 – 6,0

Как видно из таблицы 1, кожа обладает наибольшим сопротивлением, что является главным фактором определяющим сопротивление всего тела человека.

Наружный слой кожи, расположенный между электродом и хорошо проводящей внутренней областью кожи (рисунок 1.), можно представить в виде несовершенного конденсатора *C*. Величина удельной емкости этого конденсатора колеблется в пределах (0,0047 ... 0,0152)$\cdot 10^{-4}$мкФ/м^2 в зависимости от толщины наружного слоя кожи (эпидермиса) и его относительной диэлектрической проницаемости.

Электрическую схему замещения наружного слоя кожи и всего тела человека по пути протекания тока "рука-рука" с учетом активного сопротивления слоя кожи $r_Н$ и внутреннего сопротивлений живых тканей организма $r_В$ можно представить в виде схемы (рисунок 2).

Из схемы видно, что ток в наружном слое кожи протекает по путям: через активное сопротивление $\boldsymbol{r}_Н$ и ёмкость наружного слоя $C_Н$.

Тело человека в электрической цепи не может рассматриваться как простой физический проводник. При протекании электрического тока в теле человека проходят сложные биофизические процессы, которые значительно сложнее процессов при протекании тока в электролитах, металлах и полупроводниках. Однако при определенных допущениях емкость наружного слоя кожи и его активное сопротивление можно определить по следующим формулам:

$$C_H = \frac{ES}{36 \cdot 10^4 \cdot \pi d}, \Phi; \; r_H = \frac{\rho \cdot d}{S}, Ом \qquad (1)$$

где d – толщина наружного слоя, м;

S – поверхность сопротивления электрода,м^2;

E – относительная диэлектрическая проницаемость наружного слоя кожи;

p – удельное сопротивление этого слоя, Ом·м.

Активное сопротивление $r_Н$ и емкость $C_Н$ составляют полное сопротивление наружного слоя кожи $z_Н$. Внутреннее сопротивление зависит от пути протекания тока (рисунок 3) и может колебаться в пределах 300….800 Ом. Согласно исследованиям, средние значения этих сопротивлений составляют таблицу 2.

Если поверхности электродов одинаковы и условия их наложения симметричны, то для случая прохождения тока по пути «рука-рука» сопротивления будут равны, и полное сопротивление тела человека может быть выражено:

$$z = 2z_H + r_B \qquad (2)$$

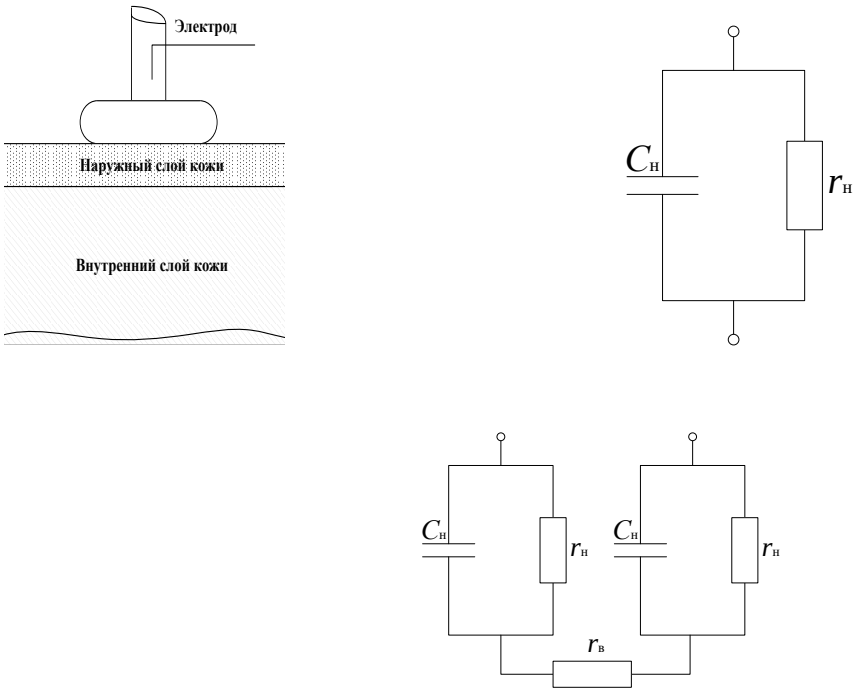


Рисунок 1 – Схема замещения

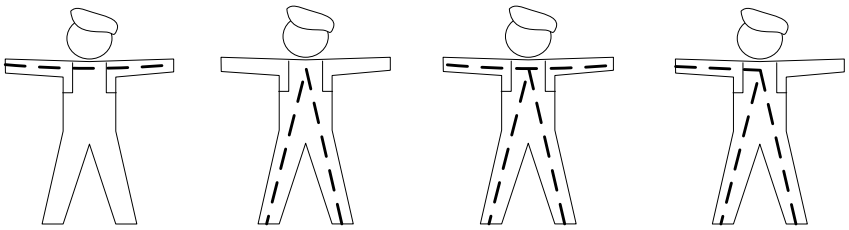


Рисунок 2 – Пути протекания тока через тело человека

Таблица 2 – Средние значение внутренних сопротивлений тела человека.

№ п/п	Путь тока	$r_В$,Ом
1	Рука-рука	660
2	Рука ноги	510
3	Руки-ноги	330
4	Нога-нога	210

Модуль полного сопротивления тела человека в этом случае можно выразить формулой:

$$z = \sqrt{\left(r_B + \frac{2r_H}{1+\omega^2 \cdot r_H^2 \cdot C_H^2}\right)^2 + \left(\frac{2\omega \cdot r_H^2 \cdot C_H}{1+\omega^2 \cdot r_H^2 \cdot C_H^2}\right)^2}, Ом \qquad (3)$$

Из формулы (3) видно, что с возрастанием ω модуль сопротивления уменьшается, так как при $\omega=2\pi f \to \infty$, $z \to r_B$.

На частоте порядка 10–20 кГц полное сопротивление наружного слоя кожи мало и его можно принять с некоторыми допущениями равным 0, т.е. при f =10–20 кГц полное сопротивление тела человека равно внутреннему сопротивлению, т.е. $z = r_B$ Ом.

Величину полного сопротивления тела человека при постоянном токе r_0 можно найти методом линейной экстраполяции значений сопротивлений тела человека, полученных экспериментально при низких частотах 0-50 Гц.

Величина полного сопротивления наружного слоя кожи может быть определена:

$$z_H = \frac{r_H}{\sqrt{1+\omega^2 \cdot r_H^2 \cdot C_H^2}}, Ом, \quad r_H = \frac{r_0 - r_B}{2}, Ом \qquad (4)$$

Преобразуя эти выражения, получим формулу для расчета величины емкости $C_н$ наружного слоя кожи:

$$C_H = \frac{z_H - r_H}{z_H \cdot \omega \cdot r_H}, Ф \qquad (5)$$

где r_H – активное сопротивление наружного слоя кожи, Ом;

z_H – полное сопротивление наружного слоя, Ом на частоте ω,

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота.

Приведенные соотношения 1-5 справедливы при напряжениях ниже 50 В. При больших напряжениях, проявляется несовершенство ёмкостного сопротив-

ления, оно пробивается и при напряжениях 150 – 200 В, но не оказывает влияния на полное сопротивление тела.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
-	Устройство для исследования сопротивления тела человека	341	0…7 В ~; 0,03 А

Указания по проведению эксперимента

- Подключите с помощью сетевого шнура устройство для исследования сопротивления тела человека (код 341) к трехпроводной электрической сети 220 В и включите на его лицевой панели выключатель «СЕТЬ».
- Оперируя кнопками на поле «ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ» по индикатору выставьте требуемые напряжение **U** и его частоту **f**, например, 6,0 В и 15 кГц.
- Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности S=1250 мм^2 и с верхнего индикатора считайте величину тока $\mathbf{I_h}$, протекающего через тело человека.
- Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности S=2500 мм^2 и с верхнего индикатора считайте величину тока $\mathbf{I_h}$, протекающего через тело человека.
- Рассчитайте электрическое сопротивление тела человека $\mathbf{Z_h = U/I_h}$ в обоих случаях и сделайте вывод о влиянии на него площади контактной поверхности.
- Варьируя частоту **f** напряжения генератора снимите зависимость от нее тока, протекающего через тело человека, $\mathbf{I_h(f)}$.
- Рассчитайте зависимость электрического сопротивление тела человека $\mathbf{Z_h(f) = U/ I_h(f)}$.

- По завершении эксперимента отключите питание устройства для исследования сопротивления тела человека (код 341).

U, в	**f, гц**	**I,мА (1250мм^2)**	**I, мА (2500 мм^2)**
…	….	….	**…**

Форма представления результатов, полученных при проведении работы

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

Выводы

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

Вопросы и задания для самостоятельного контроля

1. Пути протекания тока через тело человека;
2. Степень воздействия электрического тока на организм человека;
3. Что понимается под электрическим сопротивлением тела человека**;**
4. Виды воздействия электрического тока на живую ткань.

1.4. НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАНУЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

(лабораторная работа № 4)

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).

Задание: Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о влиянии режима нейтрали, сопротивления нулевого провода, повторного заземлителя и сопротивления замыкания на землю на условия электробезопасности сети.

Краткое содержание теоретической части:

^***Защитное зануление*** в электроустановках напряжением до 1 кВ – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью 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.

^ ***Нулевым защитным проводником*** называется проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока или ее эквивалентом. Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего проводника, который также соединен с глухозаземленной нейтральной точкой источника тока, но предназначен для питания током электроприемников, т.е. по нему проходит рабочий ток.

^ ***Назначение нулевого защитного проводника*** – создание для тока короткого замыкания цепи с малым сопротивлением, чтобы этот ток был достаточным для быстрого отключения поврежденной установки от сети.

^ ***Повторное заземление нулевого защитного проводника*** выполняется для уменьшения опасности поражения людей электрическим током, возникающей при обрыве защитного проводника и замыкании фазы на корпус за местом обрыва.

^ ***Нейтраль*** – общая точка обмоток генераторов или трансформаторов, питающих сеть; напряжения на выходных зажимах источника электроэнергии, измеренные относительно нейтрали, равны.

^ ***Глухо заземленная нейтраль источника электроэнергии*** – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

^ ***Изолированная нейтраль*** – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.

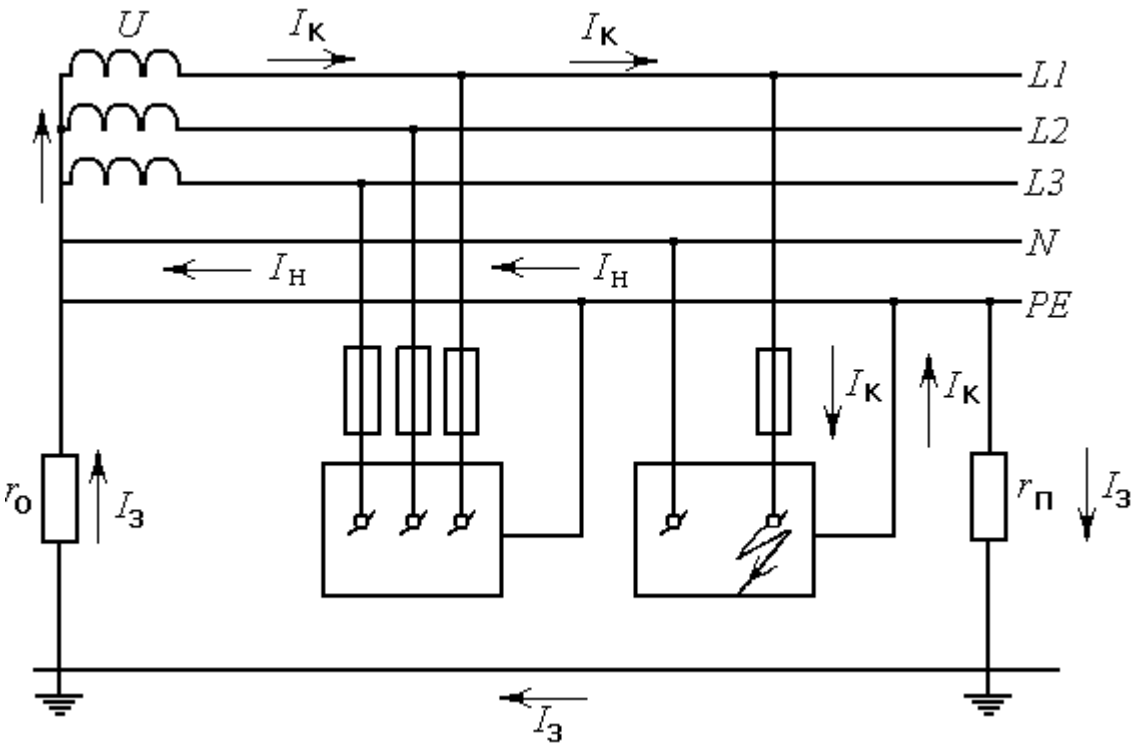


Рисунок 1 - Принципиальная схема организации зануления в сетях трехфазного тока

Проводник, при помощи которого обеспечивается данное соединение, называется нулевым защитным проводником. Этот проводник не следует путать с нулевым рабочим проводником, который также как и защитный соединяется с глухозаземленной нейтральной точкой источника электроэнергии, но служит для питания током энергопотребителей (т.е. по нему протекает рабочий ток).

Таким образом, нулевой рабочий проводник представляет собой часть рабочей цепи тока и поэтому должен иметь изоляцию, равноценную защитной изоля-

ции всех фазных проводников. Помимо этого, он должен иметь сечение, рассчитанное на длительное прохождение по нему рабочего тока. При организации осветительной сети дома, например, в последний вводятся два провода: один из них - фазный, используемый для подведения тока к осветителям, а другой - нулевой рабочий. По этому проводу ток возвращается в питающую электросеть. Оба эти проводника имеют, как правило, одинаковое сечение и равноценную изоляцию. Обычно нулевой рабочий проводник используется одновременно и как нулевой защитный, т. е. в целях зануления металлических частей электрооборудования. В данном случае нулевой рабочий проводник должен в точности соответствовать требованиям, которые предъявляются и к нулевым защитным проводникам. Особо отметим, что в нулевом рабочем проводнике, в том случае, когда он используется одновременно и как нулевой защитный, ставить предохранители не допускается.

Защитное зануление является достаточно эффективным средством, которое успешно применяется для предотвращения возможного поражения людей электрическим током в случае их прикосновения к металлическим частям корпуса электроустановки, случайно находящейся под напряжением (например, при повреждении изоляции).

Суть защитного действия зануления заключается в превращении аварийного замыкания токоведущих частей установки на корпус в обычное однофазное короткое замыкание. Подобное замыкание (между фазным и нулевым защитным проводниками) приведёт к появлению в цепи больших токов короткого замыкания, что вызовет немедленное срабатывание защитного устройства, т.е. автоматическое отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. В качестве защитных устройств в этом случае могут использоваться:

- плавкие вставки (предохранители) или автоматы (АВ), устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания;
- магнитные пускатели, имеющие тепловую защиту;
- контакторы;
- автоматы с комбинированными расцепит елями.

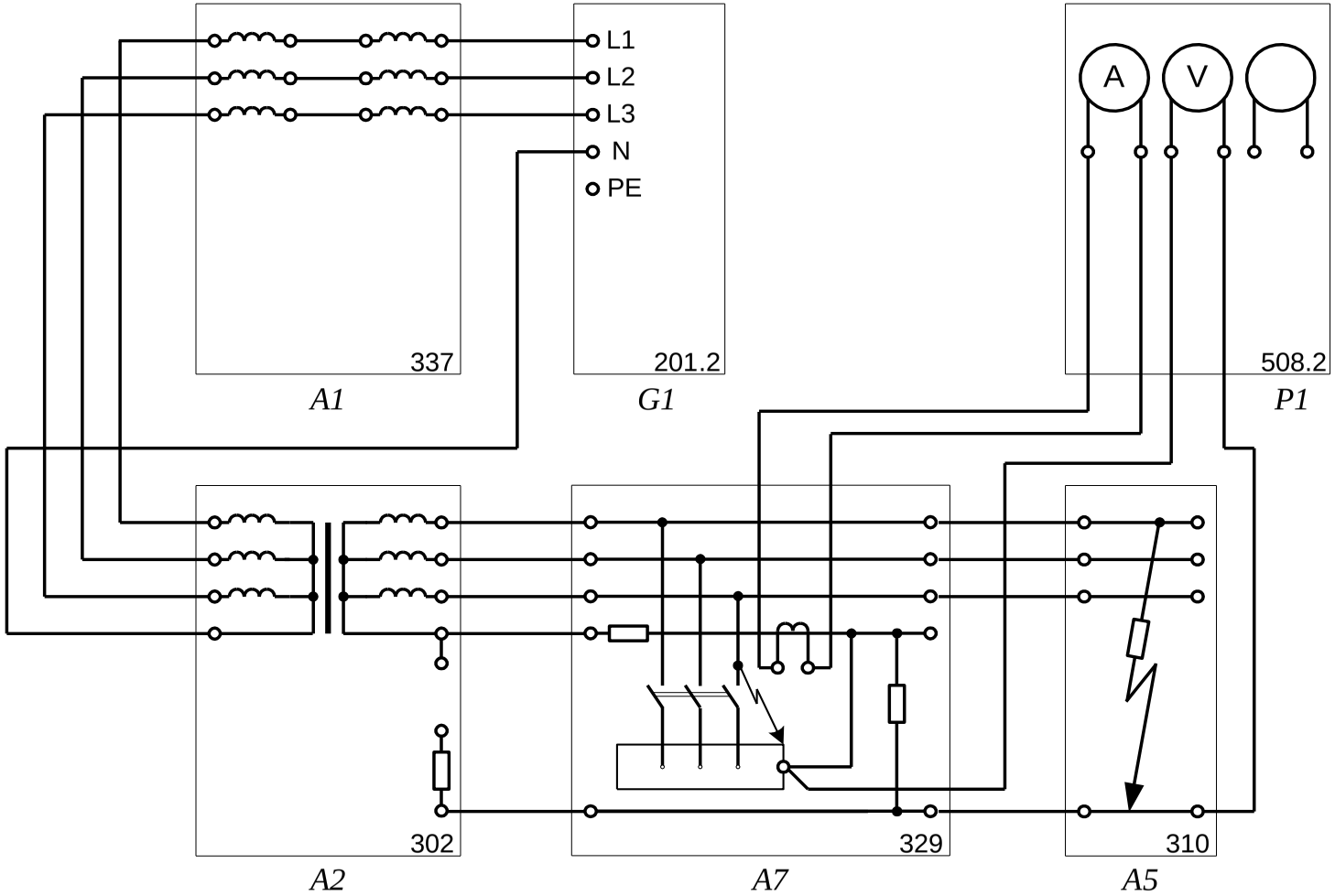
Поскольку при занулении металлических частей электроустановок одновременно осуществляется и их заземление (через нулевой защитный проводник и глухо заземлённую нейтраль), то в аварийном режиме, с момента возникновения замыкания на корпус и до отключения электроустановки от сети, попутно проявляется и защитное действие этого заземления.

Таким образом, защитное зануление корпусов электроустановок решает одновременно две задачи по защите человека от поражения электрическим током: производит быстрое автоматическое отключение поврежденной части электроустановки от питающей линии и снижает величину опасного напряжения на зануленных металлических частях, случайно оказавшихся под напряжением.
При этом отключение установки от сети производится только в случае замыкания отдельных токоведущих частей на корпус. Снижение же напряжения прикосновения до безопасной величины происходит во всех случаях присутствия опасного для жизни человека напряжения на зануленных токопроводящих частях, в том числе и при замыкании на корпус, электромагнитном (электростатическом) воздействии соседних электрических полей от других электроприемников и т. п.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A5	Модель замыкания на землю	310	380 В ~; 3 × 0.5 А
A7	Модель зануления	329	380 В ~; 3 × 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0…1000 В ⎓; 0…10 А ⎓; 0…20 МОм

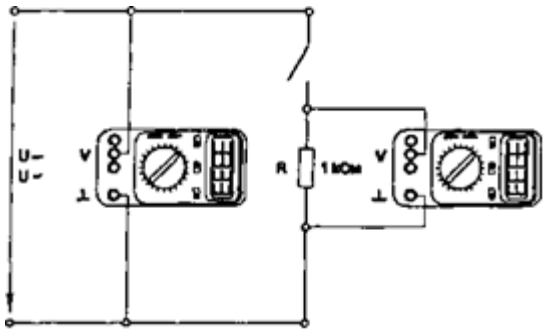
Электрическая схема соединений



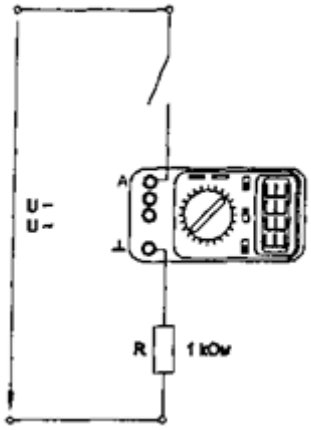
Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

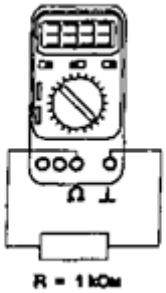
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



Присоединение мультиметра как вольтметра



Присоединение мультиметра как амперметра



Присоединение мультиметра как омметра

Указания по проведению эксперимента:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Установите у модели A5 сопротивление замыкания на землю $\mathbf{R_{зам} = \infty}$**.**
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируйте установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя $\mathbf{R_0}$ в блоке трехфазного трансформатора A2.
- Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируйте установкой выключателя S в положение «ВКЛ.».
- Ток короткого замыкания измеряйте с помощью амперметра блока мультиметров P1.
- При величинах сопротивления цепи короткого замыкания $\mathbf{R_N}$ **= 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.
- При величинах сопротивления цепи короткого замыкания $\mathbf{R_N}$ **= 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.
- Наличие повторного заземления моделируйте установкой любого его значимого сопротивления $\mathbf{R_П \neq \infty}$**.**

- Напряжение на корпусе электрооборудования измеряйте с помощью вольтметра блока мультиметров P1.
- Сопротивление замыкания на землю $\mathbf{R_{зам}} \neq \infty$ устанавливайте только при моделировании режима изолированной нейтрали питающей электрической сети.
- По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.

Форма представления результатов, полученных при проведении работы

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

Выводы

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

Вопросы и задания для самостоятельного контроля

1. Чем отличается заземление от зануления;
2. Что такое защитное зануление;
3. В каких сетях используют зануление для обеспечения электробезопасности;
4. Каково назначение нулевого защитного проводника;
5. В чем заключается разница между сетями с глухозаземленной и изолированной нейтралью;
6. Дать определение «нейтрали».

1. 5. КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

(лабораторная работа № 5)

Цель работы: Научиться контролировать неисправность изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью.

Задание: Измерить напряжение фаз электрической сети и сделать вывод о соотношении сопротивлений изоляции этих фаз.

Краткое содержание теоретической части:

Контроль изоляции обязателен к применению в электрических сетях изолированных от земли, т.к. от электроустановок, работающих в режиме изолированной нейтрали, требуется повышенная надежность энергоснабжения и по условиям электропоражения они относятся к числу с повышенной опасностью. Поэтому организация контроля изоляции в таких электрических установках является приоритетной задачей. К таким электроустановкам относятся системы энергетического снабжения:

– больниц;

– железнодорожных коммуникаций и предприятий;

– организаций занимающихся горной, нефтяной и газодобывающей, сталеплавильной, химической промышленностью;

– взрывоопасного, а также испытательного и лабораторного производства

В электроустановках и электрических сетях, которые изолированные от земли, условия безопасности и надежности определяются состоянием контроля изоляции, ее качеством, сопротивлением и емкостью.

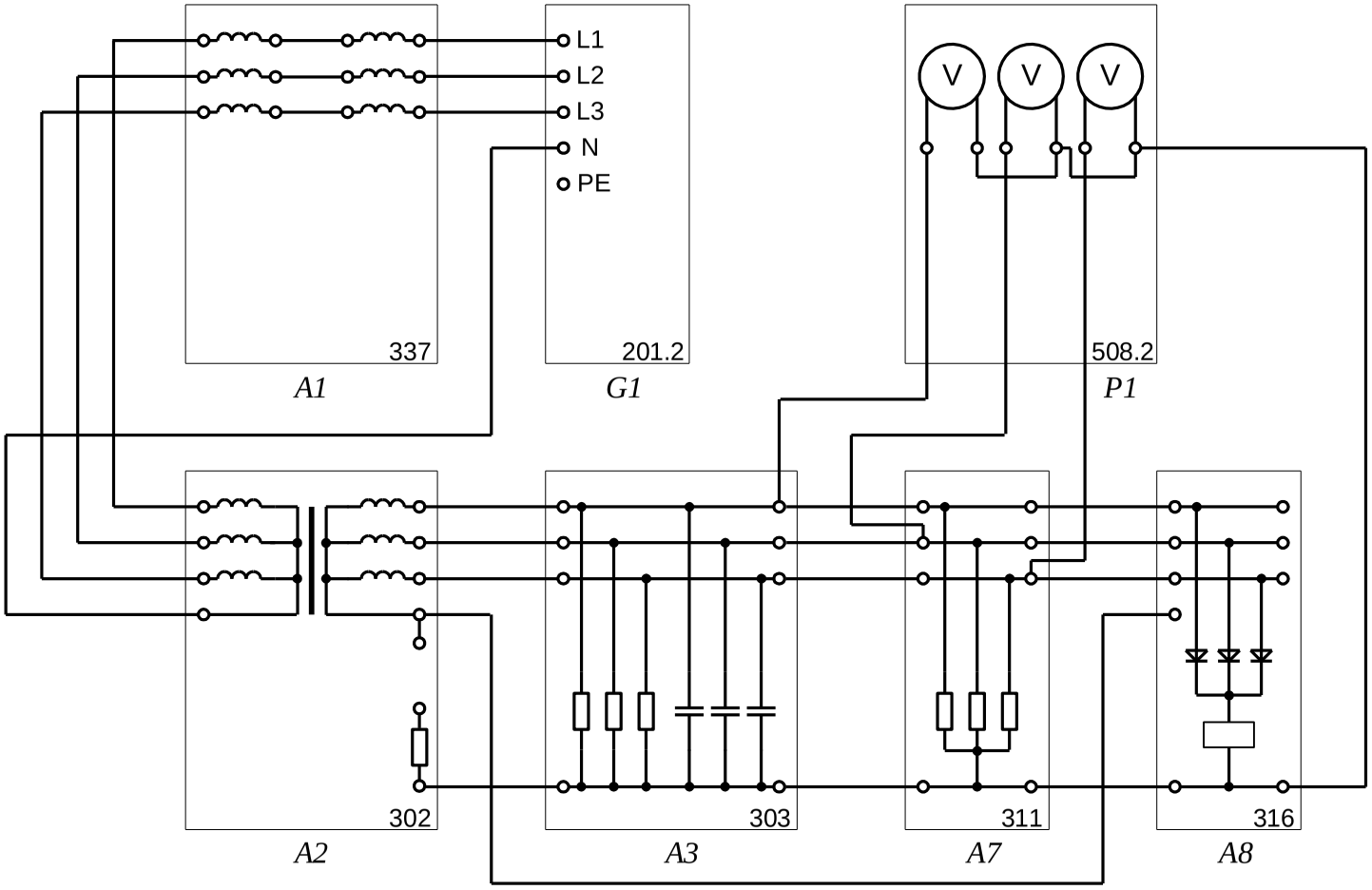
Для того, чтобы обеспечить надлежащий уровень сопротивления контроля изоляции в электросети или определенной электроустановке, в правилах предполагается ведение постоянного автоматического контроля изоляции, осуществляемого устройствами контроля изоляции.

Условия электробезопасности в IT-сетях достигаются высоким сопротивлением изоляции по отношению к земле, но при условии достижения более высокой степени безопасности применение устройств контроля изоляции вполне оправдано. Основной задачей устройства контроля изоляции является измерение сопротивления изоляции сетей под напряжением и при включенных потребителях. Принцип действия, заключается в оценке результатов измерения сопротивления изоляции и сравнивания с заданной установкой, соответствующей условиям электробезопасности, и, в случае нарушения, включается сигнализация или подается команда на отключающий аппарат.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A3	Модель участка электрической сети	303	380 В ~; 3 × 0.5 А
A7	Модель сопротивления изоляции	311	380 В ~
A8	Устройство контроля изоляции	316	380 В ~; 3 × 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0…1000 В ⎓; 0…10 А ⎓; 0…20 МОм

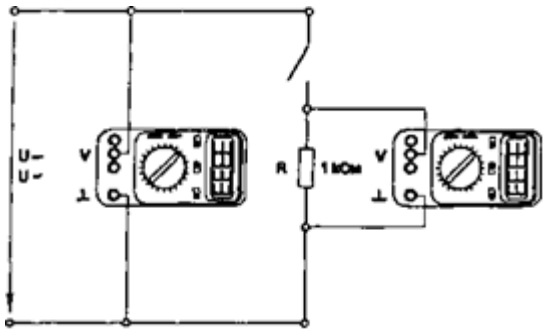
Электрическая схема соединений



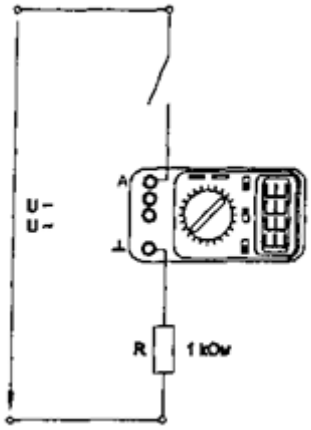
Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

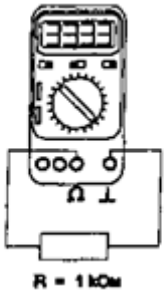
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



Присоединение мультиметра как вольтметра



Присоединение мультиметра как амперметра



Присоединение мультиметра как омметра

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Установите емкости фаз модели А3 $\mathbf{C_A = C_B = C_C = 0.}$
- Установите желаемые сопротивления $\mathbf{R_A, R_B, R_C}$ изоляции фаз модели А3 и сопротивления $\mathbf{R}$ изоляции модели А7.
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- С помощью вольтметров блока мультиметров P1 измерьте напряжения фаз электрической сети. По ним судите о соотношении сопротивлений изоляции этих фаз.
- Величину, равную параллельно соединенным сопротивлениям изоляции всех трех фаз, считывайте с индикатора устройства контроля изоляции.
- По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.

Таблица1

Фазы сети	Сопротивление изоляции	Сила тока, А	Напряжение, В
Ra			
Rв			
Rc			

Форма представления результатов, полученных при проведении работы

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

Выводы

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

Вопросы и задания для самостоятельного контроля:

1. Что такое нейтраль;
2. Виды нейтралей;
3. Что такое изолированная нейтраль;
4. Назначение контроля изоляции;
5. Как осуществляется контроль изоляции.

1. 6. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

(лабораторная работа № 6)

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

Задание: Измерить ток стекающий в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.

Краткое содержание теоретической части:

Под термином ***заземление*** подразумевается электрическое подключение какой-либо цепи или оборудования к земле. Заземление используется для установки и поддержания потенциала подключенной цепи или оборудования максимально близким к потенциалу земли. Цепь заземления образована проводником, зажимом, с помощью которого проводник подключен к электроду, электродом и грунтом вокруг электрода.

Заземление широко используется с целью электрической защиты. Например, в осветительной аппаратуре заземление используется для замыкания на землю тока пробоя, чтобы защитить персонал и компоненты оборудования от воздействия высокого напряжения.

Низкое сопротивление цепи заземления обеспечивает стекание тока пробоя на землю и быстрое срабатывание защитных реле. В результате постороннее напряжение как можно быстрее устраняется, чтобы не подвергать его воздействию персонал и оборудование.

Чтобы наилучшим образом фиксировать опорный потенциал аппаратуры в целях ее защиты от статического электричества и ограничить напряжения на корпусе оборудования для защиты персонала, идеальное сопротивление цепи заземления должно быть равно нулю, но на практике этого добиться невозможно.

Или другими словами ***сопротивление заземления*** - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю. При определении должны быть учтены и искусственные, и естественные заземлители (разнообразные электропроводящие части производственных, строительных конструкций). Измеряя сопротивление, так же следует учитывать удельное сопротивление земли (брать сопротивление при наименее благоприятных условиях).

Достаточно низкие, но не предельные, значения сопротивления заданы в последних стандартах, например согласно ПУЭ (Правилам устройства электроустановок):

1.7. 90 **Заземляющее устройство напряжением выше 1кВ** в сетях с эффективно заземлённой или изолированной нейтралью, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей.

1.8.38 Сопротивление заземления электроустановки электрических сетей с изолированной нейтралью, с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор, с напряжением выше 1 кВ, вычисляется по формуле 250/Iр, где Iр - расчётный ток замыкания на землю.

1.8.38 Сопротивление заземления для воздушных линий электропередач с напряжением выше 1 кВ при удельном сопротивлении грунта (в Ом): до 100 - 10 Ом; от 100 до 500 - 15 Ом; от 500 до 1000 - 20 Ом; от 1000 до 5000 - 30 Ом;

1.7.101 Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

1.7.101 Сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника

однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При удельном сопротивлении земли > 100 Ом м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01 раз, но не более десятикратного.

1.7.104 Сопротивление заземляющего устройства, используемого для защитного заземления открытых проводящих частей, в системе IT должно соответствовать условию: R <= U пр/I,

где R - сопротивление заземляющего устройства, Ом;

U пр- напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В; I - полный ток замыкания на землю, А.

Сопротивление заземления на воздушных линиях электропередач до 1 кВ, для заземляющие устройства опор ВЛ с повторными заземлителями PEN (PE) - проводника равно 30 Ом.

Удельное сопротивление грунта

Расчетное удельное электрическое сопротивление грунта (Ом*м) - параметр, определяющий собой уровень "электропроводности" земли как проводника, т.е. как хорошо будет растекаться в такой среде электрический ток от заземлителя.

Это измеряемая величина, зависящая от состава грунта, размеров и плотности прилегания друг к другу его частиц, влажности и температуры, концентрации в нем растворимых химических веществ (солей, кислотных и щелочных остатков).

Удельное сопротивление принято обозначать греческой буквой ρ. Чем удельное сопротивление меньше, тем благоприятнее условия для расположения заземлителя.

Удельным сопротивлением земли называют сопротивление между противоположными плоскостями куба земли с ребрами размером 1 м; оно измеряется в омметрах (Ом*м).

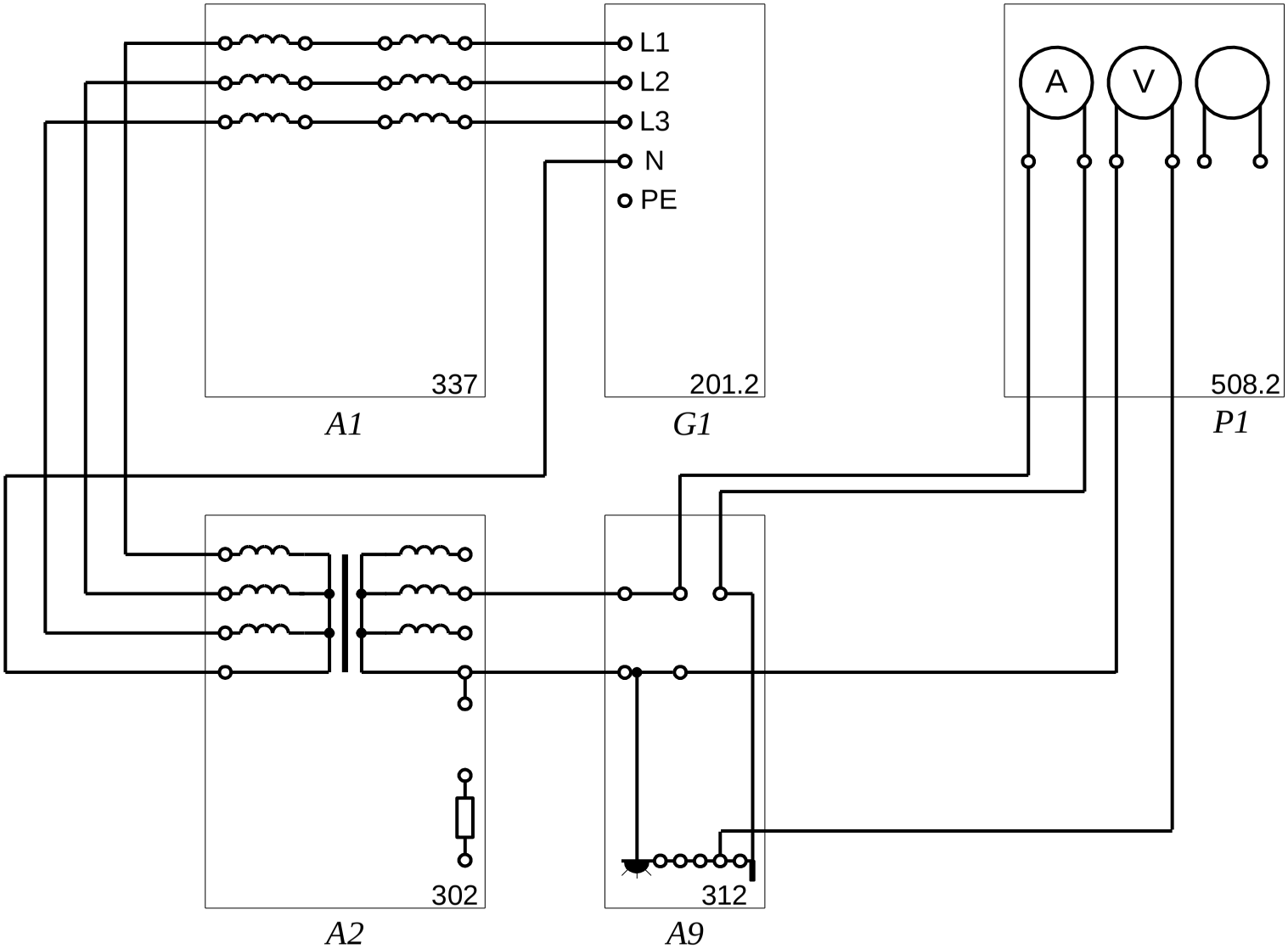
Ниже приведены приближенные значения удельных сопротивлений земли, Ом*м, при средней влажности, а также речной и морской воды. Для сооружения заземлителей необходимо знать не приближенные, а точные величины удельных сопротивлений земли в месте их окружения. Они определяются на местах измерениями.

Песок	400—1000 и более
Супесок	150—400
Суглинок	40—150
Глина	8—70
Садовая земля	40
Чернозем	10—50
Торф	20
Каменистая глина (приблизительно 50%)	100
Мергель, известняк, крупнозернистый песок с валунами	1000—2000
Скала, валуны	2000—4000
Речная вода (на равнинах)	10—80
Морская вода	0,2
Водопроводная вода	5—60

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A9	Модель измерения заземления	312	220 В ~; 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0…1000 В ⎓; 0…10 А ⎓; 0…20 МОм

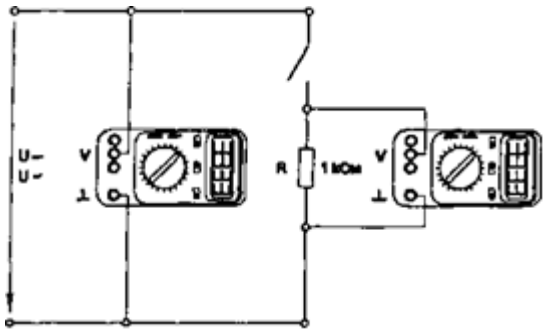
Электрическая схема соединений



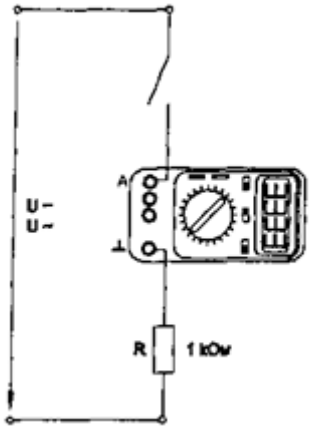
Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мульти метр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

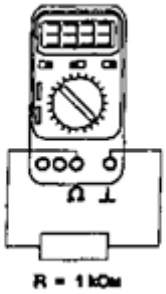
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



Присоединение мультиметра как вольтметра



Присоединение мультиметра как амперметра



Присоединение мультиметра как омметра

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключателем установите у модели A9 желаемое удельное сопротивление грунта **ρ**.
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измерьте ток стекающий в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.
- Используйте измеренные значения тока и напряжений для определения правильного расположения потенциального электрода относительно заземлителя и последующего расчета сопротивления заземления.
- По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.

Форма представления результатов, полученных при проведении работы

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

Выводы

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении

работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

Вопросы и задания для самостоятельного контроля:

1. Что понимается под удельным сопротивлением грунта;
2. Что такое заземлитель;
3. Что такое заземление;
4. Что понимается под сопротивлением заземления;
5. Как измерить ток, стекающий в землю через заземлитель и напряжение между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.

1. 7. НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ/САМОЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

(лабораторная работа № 7)

Цель работы: Смоделировать защитное заземление/самозаземление электрооборудования

Задание: Измерить ток короткого замыкания и напряжения на корпусах электрооборудования и экскаватора.

Краткое содержание теоретической части:

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 Uпр. 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 (1×103–1×104 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:

$$\bar{I}ч = \bar{U}ф/(Rч + Rоб + Rп + \dot{Z}и / 3) \qquad (1)$$

где $\bar{I}ч$, $\bar{U}ф$, $\dot{Z}и$ – комплексы тока, А, фазного напряжения, В и сопротивления изоляции одной фазы, Ом;

Rч – сопротивление тела человека, Ом;

Rоб – сопротивление обуви человека, Ом;

Rп – 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.

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.

диаметром 3–5 см и угловая сталь размером от 40×40 до 60×60 мм длинной 2,5–3 м, а также стальные прутки диаметром 10–12 мм и длинной 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. При замыкании фазы на корпус и стекании тока IЗ через заземлитель φЗ (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 φЗ, а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю. Напряжение прикосновения Uпр, равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно φЗ. 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. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала φ3Σ(X). Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения Uпр значительно уменьшается и составляет доли *φ3*.

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. 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 конструкции ям 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, кото-

рым 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:

– 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.

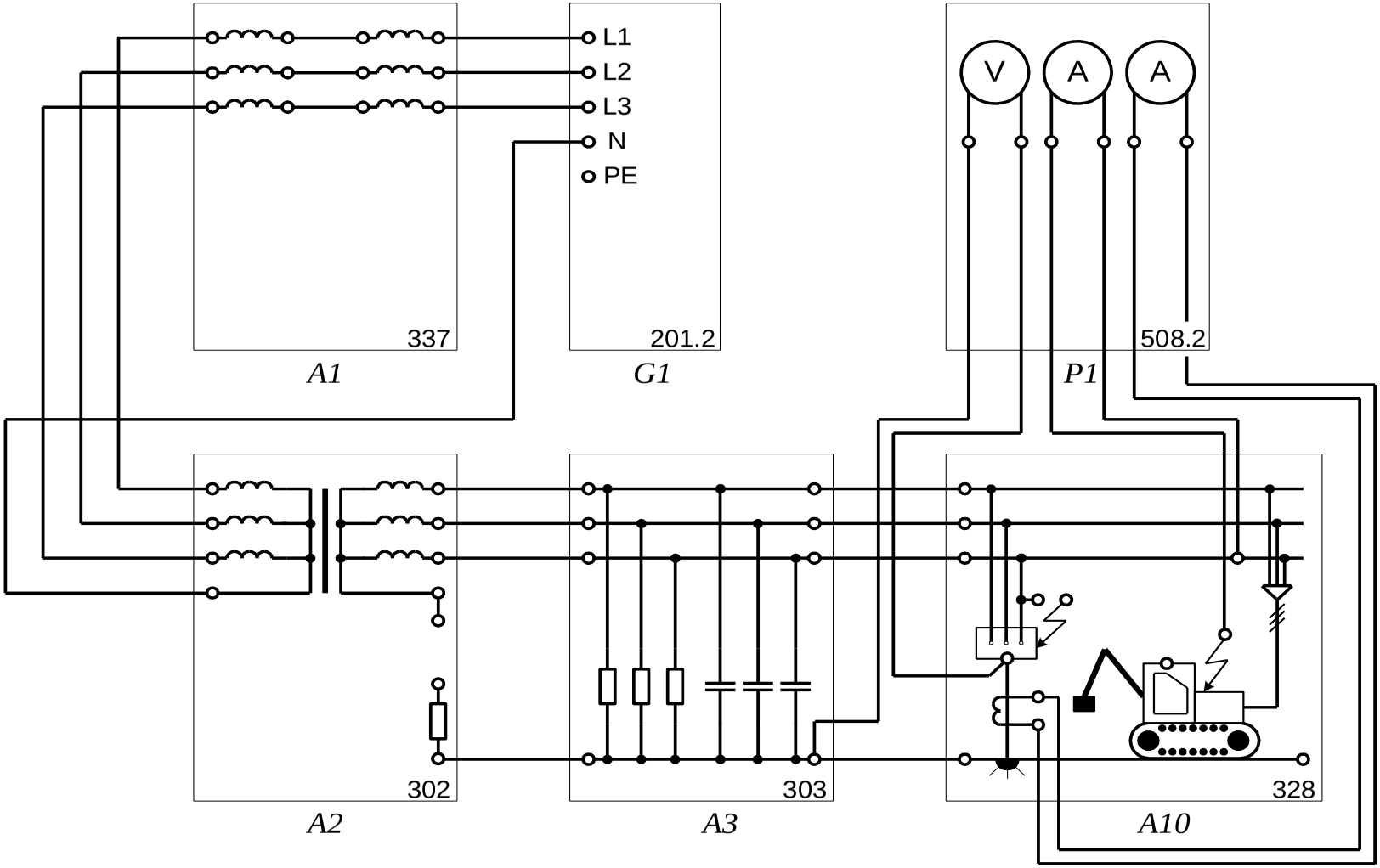
Для осуществления эффективной защиты величина сопротивления защитного заземления не должна превышать значений, при которых напряжение прикосновения или шаговое напряжение достигают опасных величин.

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/Iз, но не более 10 (Iз расчетный ток замы-кания на землю, А)	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В
Электроустановки напряжением выше 1000 В	
250/Iз, 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	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A3	Модель участка электрической сети	303	380 В ~; 3 × 0.5 А
A10	Модель защитного заземления/самозаземления	328	380 В ~; 3 × 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0…1000 В ⎓; 0…10 А ⎓; 0…20 МОм

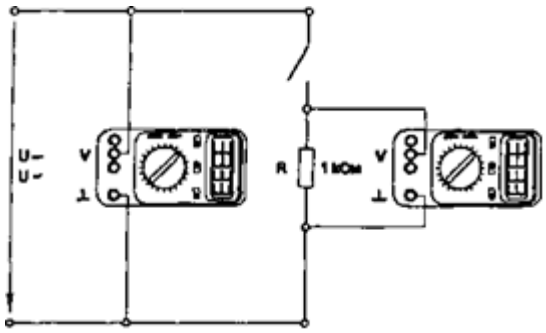
Электрическая схема соединений



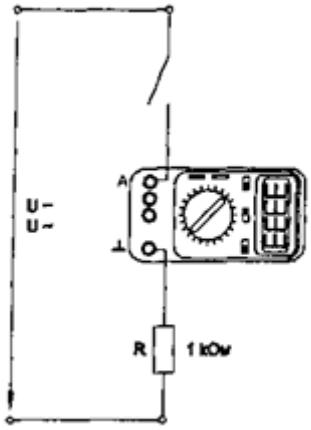
Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мульти метр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

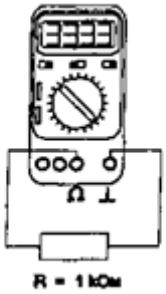
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



Присоединение мультиметра как вольтметра



Присоединение мультиметра как амперметра



Присоединение мультиметра как омметра

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируйте установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя R_0 в блоке трехфазного трансформатора A2.
- Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируйте установкой перемычки между гнездами 3 и4 модели A10.
- Токи короткого замыкания измеряйте с помощью амперметров блока мультиметров P1, включенных между гнездами 5, 6 и 7, 8 модели A10.
- Напряжения на корпусах электрооборудования и экскаватора измеряйте с помощью вольтметра блока мультиметров P1, включая его между гнездами 1, E и 2, E модели A10.
- Грунт, в котором проложен заземлитель, характеризуется удельным электрическим сопротивлением ρ_1, а грунт, на котором стоит экскаватор, - удельным электрическим сопротивлением ρ_2.
- По завершении эксперимента отключите источник G1 и питание блока мультиметров P1.

Форма представления результатов, полученных при проведении работы

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Зарисовать электрическую схему соединения и записать порядок работы с аппаратурой.
4. Сделать выводы по работе.

Выводы

Кратко описываются итоги проделанной работы, и приводится анализ полученных результатов. Выводы не должны быть простым перечислением того, что сделано. Необходимо отметить, что нового узнал студент при выполнении работы, к чему привело обсуждение результатов, насколько выполнена заявленная цель работы.

Вопросы и задания для самостоятельного контроля:

1. Что понимается под защитным заземлением;
2. Принцип действия защитного заземления;
3. Что понимается под заземляющим устройством;
4. Виды заземляющих устройств;
5. Как смоделировать замыкание фазы на корпус электрооборудования.

1. 8. НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

(лабораторная работа № 8)

Цель работы: Получить общее представление о защитном отключении. Изучение защитного отключения электрической сети с различным режимом нейтрали.

Задание: Изучить защитное отключение электрической сети с различным режимом нейтрали.

Краткое содержание теоретической части:

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-отключающегося 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;

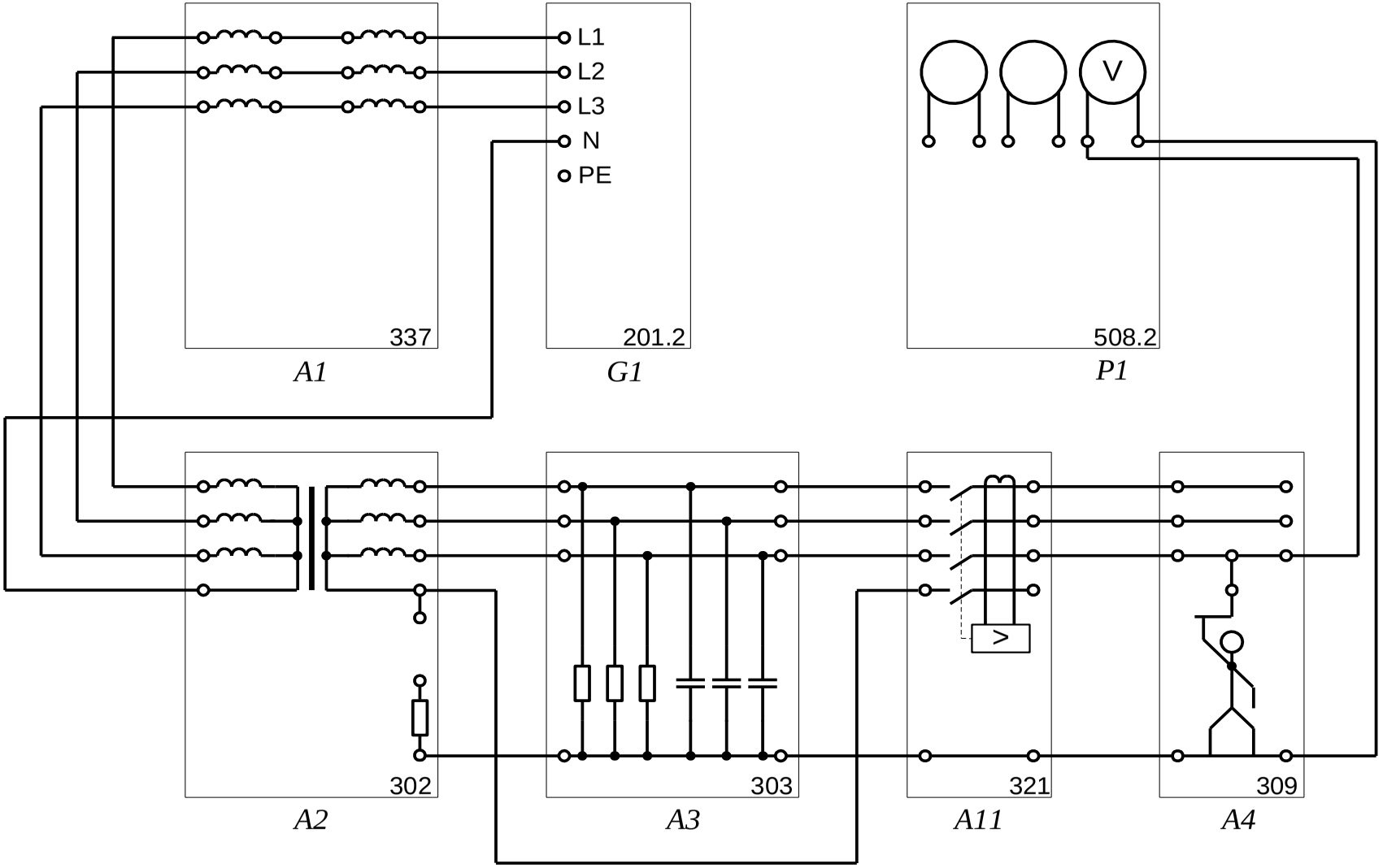
в условиях повышенной опасности поражения электрическим током и взрывоопасности в стационарных и передвижных электроустановках с различными режимами нейтрали;

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	Параметры (предельные)
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
A1	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
A2	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А, 380/380 В, Y-0/Y-0
A3	Модель участка электрической сети	303	380 В ~; 3 × 0.5 А
A4	Модель человека	309	380 В ~; 3 × 0.5 А
A11	Устройство защитного отключения	321	380 В ~; 3 × 0.5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0…1000 В ⎓; 0…10 А ⎓; 0…20 МОм

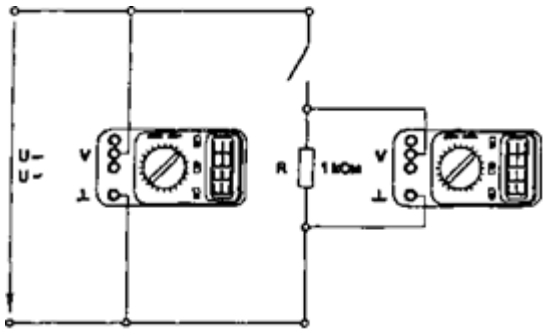
Электрическая схема соединений



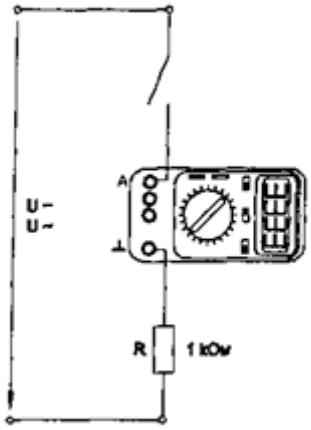
Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

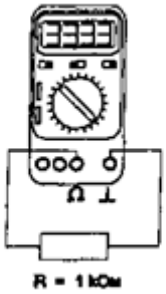
- установка рода тока (постоянный/переменный);
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к измеряемой цепи.



Присоединение мультиметра как вольтметра



Присоединение мультиметра как амперметра



Присоединение мультиметра как омметра

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Включите источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируйте установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя $\mathbf{R_0}$ в блоке трехфазного трансформатора A2.
- При проведении эксперимента в сети с изолированной нейтралью сопротивления $\mathbf{R_A}$,$\mathbf{R_B}$,$\mathbf{R_C}$ изоляции фаз модели A3 обязательно должны иметь значимые величины.
- Желаемые значения сопротивлений обуви человека и пола, на котором он стоит, устанавливайте на модели человека A4.
- Временную и токовую уставки срабатывания устройства защитного отключения A11 устанавливайте с помощью кнопок «<» и «>» на его лицевой панели.
- Включение устройства защитного отключения A11 производите нажатием кнопки «ВКЛ.» на его лицевой панели.
- На верхнем индикаторе устройства защитного отключения A11 наблюдайте текущее значение тока утечки через человека.
- 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

Библиографический список

1. Сибикин, Юрий Дмитриевич. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: учеб. / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - 5-е изд., испр. - М. : Академия, 2010. - 235 с. : ил. - (Электротехника). - Библиогр. : с. 230.
2. Электробезопасность: теория и практика: учеб. пособие / П. А. Долин [и др.]; под ред. В. Т. Медведева. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2012. - 280 с.
3. Морозова, Наталия Юрьевна. Электротехника и электроника [Текст] : учеб. : рек. Мин. обр. РФ / Н. Ю. Морозова. - 2-е изд., стер. - М. : Академия, 2009. - 256 с. : рис. - (Строительство и архитектура). - Библиогр. : с. 251.
4. Правила устройства электроустановок [Текст]. - 7-е изд. - М. : Омега-Л, 2013. - 269 с. : табл. - (Безопасность и охрана труда). - ISBN 978-5-370-02878-6 : 107.85 р.
5. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок) [Текст] : ПОТ РМ - 016-2001, РД 153-34.0-03.150-00. - М.: Омега-Л, 2012. - 152 с.
6. Киреева, Эльвира Александровна. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Э. А. Киреева. - М. : КноРус, 2011. - 368 с. : рис., табл. - Библиогр. : с. 366.
7. Кужеков, Станислав Лукьянович. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию [Текст] / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 4-е изд., доп. и перераб. - Ростов н/Д : Феникс, 2010. - 493 с. : рис., табл. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр. : с. 480 .
8. Электротехника и электроника [Текст] : учеб. пособие / В. В. Кононенко [и др.] ; под ред. В. В. Кононенко. - 6-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2010. - 779 с. - (Высшее образование). - Библиогр. : с. 764 .

9. Кужеков, Станислав Лукьянович. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию [Текст] / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 3-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2009. - 493 с. : ил. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр. : с. 480
10. Электробезопасность [Видеозапись] : учеб. видеофильмы. - [Б. м. : б. и.], [2004]. - 1 вк. (33 мин.) : цв., звук на том же нос., VHS. - (Охрана труда и техника безопасности).
11. Электробезопасность [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс по дисц. для спец. 140203, 140204, 140205, 140211 / АмГУ, ЭФ ; сост. А. Н. Козлов. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 38 с.
12. Долин, Петр Алексеевич. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему [Текст] / Долин А.А. - М. : Энергоатомиздат, 2000. - 141с.
13. Собурь, С. В. Пожарная безопасность электроустановок [Текст] : справочник / С. В. Собурь ; ред. В. И. Кузнецов. - 2-е изд., доп. (с изм.). - М. : Спецтехника, 2000. - 259 с.
14. Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках, технические требования к ним [Текст]. - СПб. : Деан, 2000. - 128 с.