

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Алексеевич

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиала) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 05.06.2026 09:41:16

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81860b00daa62

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «**ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ**»

для студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

№	Стр.
п/п	
Введение	
1 Цель и задачи изучения дисциплины	
2 Оборудование и материалы	
3 Наименование практических работ	
4 Содержание практических работ	
4.1 Практическая работа №1. Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты	
4.2 Практическая работа №2 Выбор средств коллективной защиты	
4.3 Практическая работа №3 Методы и средства обеспечения электробезопасности	
4.4 Практическая работа №4 Средства защиты от статического электричества	
4.5 Практическая работа №5 Вычисление напряжения прикосновения и шагового напряжения	
4.6 Практическая работа №6 Расчет защитного заземления	
5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины является подготовка студентов к производственной деятельности в сфере передачи и распределения электрической энергии, обслуживания, диагностики и мониторинга электроэнергетического оборудования в соответствии с профилем подготовки с соблюдением требований защиты окружающей среды, обеспечения здоровья персонала и безопасности производства.

Задачами изучения дисциплины являются:

- освоение дисциплины на уровне, позволяющем ориентироваться в средствах защиты от поражения электрическим током при выполнении работ по обслуживанию, эксплуатации электроустановок энергосистем;
- знать основные режимы работы электроустановок и связанные с ними опасности для персонала;
- иметь навыки практического расчета средств защиты от электропоражения, область их практического применения;
- приёмы освобождения пострадавшего от токоведущих частей и оказания первой помощи.

В учебной дисциплине «Электробезопасность» рассматриваются вопросы безопасного взаимодействия человека с электричеством и электромагнитными полями промышленной частоты. Изучение студентами дисциплины позволяет сформировать у будущих специалистов специальные знания в области электробезопасности. Реализация на практике этих знаний обеспечит сохранение работоспособности, здоровья и жизни человека.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, интерактивная доска.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3 Наименование практических работ

Для студентов заочной формы обучения предусмотрены следующие практические работы: Практическая работа № 4. Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях- 2 часа, Практическая работа №5 Защитное заземление. Зануление. Защитное отключение. – 2 часа, Практическая работа № 3. Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления- 2 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
3	Практическая работа № 3. Механизм воздействия электрического тока на человека. Статическое электричество. Явления при стекании тока в землю.	6	
5	Практическая работа № 5. Защитное заземление. Зануление. Защитное отключение.	6	2
6	Практическая работа №6 . Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления	4	
7	Практическая работа № 7. Защита от воздействия электромагнитного поля промышленной частоты в установках сверхвысокого напряжения	4	
8	Практическая работа № 8. Защита от статического электричества. Защита электроустановок, зданий и сооружений, а также	4	

	территорий промышленных предприятий от опасных воздействий атмосферного электричества.		
	Итого за 8 семестр:	24	2

4. Содержание практических работ

Практическая работа № 1

Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты

Основы теории:

Основные понятия:

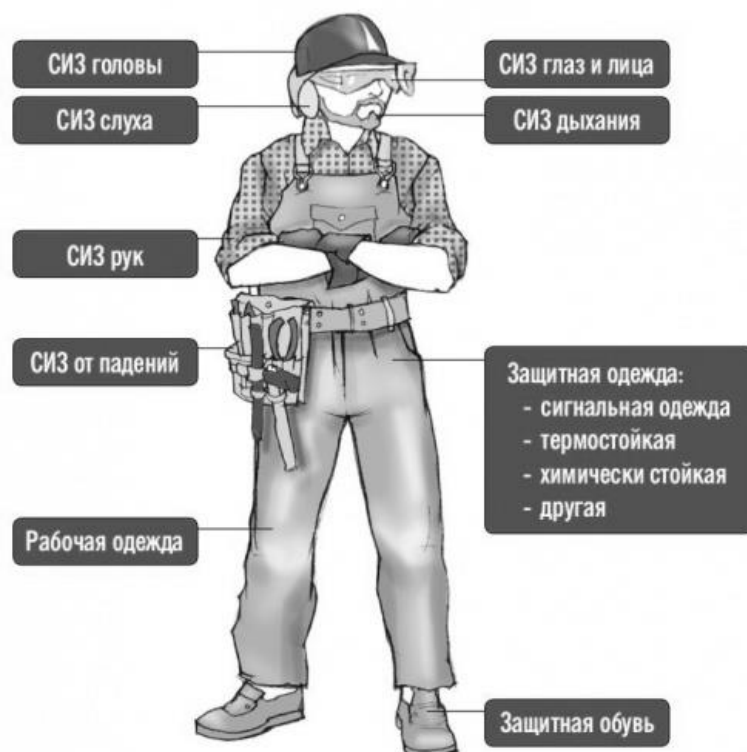
Средства индивидуальной защиты (СИЗ) работающих – средства индивидуального использования для предохранения работающего от действия опасных и вредных производственных факторов.

Средства индивидуальной защиты (ГОСТ 12.4.011-89) в зависимости от назначения подразделяют на классы:

- Костюмы изолирующие;
- средства защиты органов дыхания;
- одежда защитная специальная;
- средства защиты ног;
- костюмы изолирующие;
- средства защиты органов дыхания;
- одежда защитная специальная;
- средства защиты ног;
- средства защиты рук;
- средства защиты головы;
- средства защиты лица;
- средства защиты глаз;
- средства защиты органа слуха;
- средства защиты от падения с высоты и другие предохранительные средства;
- средства дерматологической защиты;
- средства защиты комплексные.

Средства индивидуальной защиты следует применять в тех случаях, когда безопасность работ не может быть обеспечена конструкцией оборудования, организацией производственных процессов, архитектурно-планировочными решениями и средствами коллективной защиты.

Классификация средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.4.011-89):



1. Костюмы изолирующие:

- пневмокостюмы;
- гидроизолирующие костюмы;
- скафандры.

2. Средства защиты органов дыхания:

- противогазы;
- респираторы;
- самоспасатели;
- пневмошлемы;
- пневмомаски;
- пневмокуртки.

3. Одежда специальная защитная:

- тулупы, пальто;
- полупальто, полушубки;
- накидки;
- плащи, полуплащи;
- халаты;
- костюмы;
- куртки, рубашки;
- брюки, шорты;
- комбинезоны, полукOMBинезоны;
- жилеты;
- платья, сарафаны;
- блузы, юбки;
- фартуки;
- наплечники.

4. Средства защиты ног:

- сапоги;
- сапоги с удлиненным голенищем;
- сапоги с укороченным голенищем;
- полусапоги;
- ботинки;
- полуботинки;
- туфли;
- бахилы;
- галоши;
- боты;
- тапочки (сандалии);
- унты, чувяки;
- щитки, ботфорты, наколенники, портянки.

5. Средства защиты рук:

- рукавицы;
- перчатки;
- полуперчатки;
- напальчники;
- наладонники;
- напульсники;
- нарукавники, налокотники.

6. Средства защиты головы:

- каски защитные;
- шлемы, подшлемники;
- шапки, береты, шляпы, колпаки, косынки, накомарники.

7. Средства защиты глаз:

- очки защитные.

8. Средства защиты лица:

- щитки защитные лицевые.

9. Средства защиты органа слуха:

- противошумные шлемы;
- противошумные вкладыши;
- противошумные наушники.

10. Средства защиты от падения с высоты и другие предохранительные средства:

- предохранительные пояса, тросы;
- ручные захваты, манипуляторы;
- наколенники, налокотники, наплечники.

11. Средства дерматологические защитные:

- защитные;
- очистители кожи;
- репаративные средства.

12. Средства защиты комплексные

Выбор конкретных моделей СИЗ

№ п/п	Средства индивидуальной защиты	ГОСТ
1	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД)	ГОСТ 12.4.034-2001; ГОСТ 12.4.174-87; ГОСТ Р ИСО 11611-2011; ГОСТ 12.4.028-76.
2	Средства индивидуальной защиты глаз и лица	ГОСТ 12.4.001-80; ГОСТ Р 12.4.230.1-2007 (ЕН 166-2002) ССБТ; ГОСТ 12.4.023-84; ГОСТ Р ЕН 379-2011 ССБТ; ГОСТ Р 12.4.238-2007.
3	Средства индивидуальной защиты органов слуха	ГОСТ Р 12.4.208-99; ГОСТ Р 12.4.209-99; ГОСТ Р 12.4.210-99.
4	Средства индивидуальной защиты головы	ГОСТ 12.4.087-84; ГОСТ 12.4.128-83.
5	Специальная защитная одежда	ГОСТ 12.4.016-83; ГОСТ 12.4.074-79; ГОСТ 12.4.073-79; ГОСТ 12.4.112-82.
6	Специальная защитная обувь	ГОСТ 12.4.127-83; ГОСТ 28507-90; ГОСТ 12.4.162-85; ГОСТ 12.4.032-77; ГОСТ 12.4.050-78; ГОСТ 12.4.024-76.
7	Средства защиты рук	ГОСТ 12.4.103-83ГОСТ; 12.4.204-89; ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ.

Порядок выполнения работы:

1. Получить задание преподавателя.
2. Познакомиться с основными понятиями.
3. На основании ГОСТ 12.4.011-89 подобрать необходимые средства индивидуальной защиты работающего персонала и конкретные модели СИЗ с указанием маркировки, с учетом наличия опасных и вредных производственных факторов.
4. Отчет подготовить в виде таблицы № 1.
5. Заполнить личную карточку учета выдачи СИЗ на основании типовых (типовых отраслевых) норм.
6. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица № 1.

Наименование профессии (должности)	Наименование производственного фактора	Средства индивидуальной защиты

Лицевая сторона личной карточки

ЛИЧНАЯ КАРТОЧКА № Учета выдачи СИЗ

Фамилия _____ Пол _____
 Имя _____ Отчество _____ Рост _____
 Табельный номер _____ Размер одежды _____
 Структурное подразделение _____ Обувь _____
 Профессия (должность) _____ Головного убора _____
 Дата поступления на работу _____ Противогаза _____
 Дата изменения профессии (должности) или перевода _____ Респиратора _____
 в другое структурное подразделение _____ Рукавиц _____
 Перчаток _____

Предусмотрена выдача: _____
(Наименование типовых (типовых отраслевых) норм

Наименование СИЗ	Пункт типовых норм	Единица измерения	Количество на год

Руководитель структурного подразделения _____ (Фамилия, инициалы)

(подпись)

Оборотная сторона личной карточки

Наименование СИЗ	Сертификат соответствия №	Выдано				Возвращено				
		дата	Кол-во	% износа	Расписка в получении	дата	Кол-во	% износа	Расписка сдавшего	Расписка в приеме
1	2	3	4	5	6					

Согласно «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ППБ-С 1984)» при работах в электроустановках следует при необходимости применять такие средства

индивидуальной защиты, как очки, каски, противогазы, рукавицы, одежда специальная защитная (комплекты для защиты от электрической дуги), предохранительные монтерские пояса и страховочные канаты.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются средства индивидуальной защиты работающих?
2. Назначение средств индивидуальной защиты работающих.
3. Классификация СИЗ по защитному назначению.
4. Как подобрать средства индивидуальной защиты при эксплуатации электроустановок потребителей?

Практическая работа № 2 ***Выбор средств коллективной защиты***

Цель: закрепить знания по выбору средств коллективной защиты работающих с учетом наличия опасных и вредных производственных факторов.

Основы теории:

Материально-техническое обеспечение практической работы:

Наглядные пособия относящиеся к средствам защиты при работе с электроустановками: знаки безопасности, оградительные устройства; устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; устройства защитного заземления и зануления; устройства автоматического отключения.

Использование наглядности, ТСО и дидактического материала:

ПК, проектор, экран. Презентация PowerPoint “Средства коллективной защиты на предприятиях», справочная литература, раздаточный материал.

Основные понятия

Средства защиты работающих – технические средства, используемые для предотвращения или уменьшения воздействия на работников вредных и опасных производственных факторов, а также защиты от загрязнения.

Выбор средств коллективной защиты должен происходить в соответствии с ГОСТ 12.4.011-89.

Средства коллективной защиты в зависимости от назначения подразделяют на классы:

- средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест (от повышенного или пониженного барометрического давления и его резкого изменения, повышенной или пониженной влажности воздуха, повышенной или пониженной ионизации воздуха, повышенной или пониженной концентрации кислорода в воздухе, повышенной концентрации вредных аэрозолей в воздухе);

- средства нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест (пониженной яркости, отсутствия или недостатка естественного света, пониженной видимости, дискомфортной или слепящей блескости, повышенной пульсации светового потока, пониженного индекса цветопередачи);
- средства защиты от повышенного уровня ионизирующих излучений;
- средства защиты от повышенного уровня инфракрасных излучений;
- средства защиты от повышенного или пониженного уровня ультрафиолетовых излучений;
- средства защиты от повышенного уровня электромагнитных излучений;
- средства защиты от повышенной напряженности магнитных и электрических полей;
- средства защиты от повышенного уровня лазерного излучения;
- средства защиты от повышенного уровня шума;
- средства защиты от повышенного уровня вибрации (общей и локальной);
- средства защиты от повышенного уровня ультразвука;
- средства защиты от повышенного уровня инфразвуковых колебаний;
- средства защиты от поражения электрическим током;
- средства защиты от повышенного уровня статического электричества;
- средства защиты от повышенных или пониженных температур поверхностей оборудования, материалов, заготовок;
- средства защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов;
- средства защиты от воздействия механических факторов (движущихся машин и механизмов; подвижных частей производственного оборудования и инструментов; перемещающихся изделий, заготовок, материалов; нарушения целостности конструкций; обрушивающихся горных пород; сыпучих материалов; падающих с высоты предметов; острых кромок и шероховатостей поверхностей заготовок, инструментов и оборудования; острых углов);
- средства защиты от воздействия химических факторов;
- средства защиты от воздействия биологических факторов;
- средства защиты от падения с высоты.

Средства коллективной защиты работающих конструктивно должны быть соединены с производственным оборудованием или его элементами управления таким образом, чтобы, в случае необходимости, возникло принудительное действие средства защиты.

Допускается использовать средства коллективной защиты в качестве элементов управления для включения и выключения производственного оборудования

Средства коллективной защиты работающих должны быть расположены на производственном оборудовании или на рабочем месте таким образом, чтобы постоянно обеспечивалась возможность контроля его работы, а также безопасность ухода и ремонта

**Средства коллективной защиты
(ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие
требования и классификация)**

1. К средствам нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест относятся устройства для:

поддержания нормируемой величины барометрического давления;
вентиляции и очистки воздуха;
кондиционирования воздуха;
локализации вредных факторов;
отопления;
автоматического контроля и сигнализации;
дезодорации воздуха.

2. К средствам нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест относятся:

источники света;
осветительные приборы;
световые проемы;
светозащитные устройства;
светофильтры.

3. К средствам защиты от повышенного уровня ионизирующих излучений относятся:

оградительные устройства;
предупредительные устройства;
герметизирующие устройства;
защитные покрытия;
устройства улавливания и очистки воздуха и жидкостей;
средства дезактивации;
устройства автоматического контроля;
устройства дистанционного управления;
средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ;
знаки безопасности;
емкости радиоактивных отходов.

4. К средствам защиты от повышенного уровня инфракрасных излучений относятся устройства:

оградительные;
герметизирующие;
теплоизолирующие;
вентиляционные;
автоматического контроля и сигнализации;
дистанционного управления;
знаки безопасности.

5. К средствам защиты от повышенного или пониженного уровня ультрафиолетовых излучений относятся устройства:

оградительные;
для вентиляции воздуха;
автоматического контроля и сигнализации;
дистанционного управления;
знаки безопасности.

6. К средствам защиты от повышенного уровня электромагнитных излучений относятся:

оградительные устройства;
защитные покрытия;
герметизирующие устройства;
устройства автоматического контроля и сигнализации;
устройства дистанционного управления;
знаки безопасности.

7. К средствам защиты от повышенной напряженности магнитных и электрических полей относятся:

оградительные устройства;
защитные заземления;
изолирующие устройства и покрытия;
знаки безопасности.

8. К средствам защиты от повышенного уровня лазерного излучения относятся:

оградительные устройства;
предохранительные устройства;
устройства автоматического контроля и сигнализации;
устройства дистанционного управления;
знаки безопасности.

9. К средствам защиты от повышенного уровня шума относятся устройства:

оградительные;
звукоизолирующие, звукопоглощающие;
глушители шума;
автоматического контроля и сигнализации;
дистанционного управления.

10. К средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства:

оградительные;
виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие;
автоматического контроля и сигнализации;
дистанционного управления.

11. К средствам защиты от повышенного уровня ультразвука относятся устройства:

оградительные;
звукоизолирующие, звукопоглощающие;
автоматического контроля и сигнализации;
дистанционного управления.

12. К средствам защиты от повышенного уровня инфразвуковых колебаний относятся:

оградительные устройства;
знаки безопасности.

13. К средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

оградительные устройства;
устройства автоматического контроля и сигнализации;
изолирующие устройства и покрытия;
устройства защитного заземления и зануления;
устройства автоматического отключения;
устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения;
устройства дистанционного управления;
предохранительные устройства;
молниеотводы и разрядники;
знаки безопасности.

14. К средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся:

заземляющие устройства;
нейтрализаторы;
увлажняющие устройства;
антиэлектростатические вещества;
экранирующие устройства.

15. К средствам защиты от пониженных или повышенных температур поверхностей оборудования, материалов и заготовок относятся устройства:

оградительные;
автоматического контроля и сигнализации;
термоизолирующие;
дистанционного управления.

16. К средствам защиты от повышенных или пониженных температур воздуха и температурных перепадов относятся устройства:

оградительные;
автоматического контроля и сигнализации;
термоизолирующие;
дистанционного управления;
для радиационного обогрева и охлаждения.

17. К средствам защиты от воздействия механических факторов относятся устройства:

оградительные;
автоматического контроля и сигнализации;
предохранительные;
дистанционного управления;
тормозные;
знаки безопасности.

18. К средствам защиты от воздействия химических факторов относятся устройства:

оградительные;
автоматического контроля и сигнализации;
герметизирующие;
для вентиляции и очистки воздуха;
для удаления токсичных веществ;
дистанционного управления;
знаки безопасности.

19. К средствам защиты от воздействия биологических факторов относятся:

оборудование и препараты для дезинфекции, дезинсекции, стерилизации, дератизации;
оградительные устройства;
герметизирующие устройства;
устройства для вентиляции и очистки воздуха;
знаки безопасности.

20. К средствам защиты от падения с высоты относятся:

ограждения;
защитные сетки;
знаки безопасности.

Средства защиты в электроустановках

Электрозащитные средства — (предметы), которые служат для защиты людей от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги или электромагнитного поля при работах в электроустановках.

Основные термины, принятые в Правилах

Термин	Определение
Средства защиты	Средство, применение которого предотвращает или уменьшает воздействие на одного или более работающих опасных и (или) вредных производственных факторов
Электрозащитные средства	Средства служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля
Основные электрозащитные средства	Средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановок и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением
Дополнительные электрозащитные средства	Средства защиты, которые сами по себе не могут при данном напряжении обеспечить защиту от поражения

средства током, а применяются совместно с основными электрозащитными средствами

Напряжение между двумя точками цепи тока, Напряжение шага находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек

Согласно «**Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ППБ-С 1984)**» при работах в электроустановках к **электрозащитным** средствам относятся: изолирующие штанги (оперативные, для наложения заземления, измерительные), изолирующие (для операций с предохранителями) и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, указатели напряжения для фазировки и т. д.;

- изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ под напряжением выше 1000 В и слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками для работы в электроустановках напряжением до 1000 В;
- диэлектрические перчатки, боты, галоши, ковры, изолирующие накладки и подставки;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- переносные заземления;
- оградительные устройства и диэлектрические колпаки;
- плакаты и знаки безопасности.

К **основным** электрозащитным средствам для работы в электроустановках напряжением выше 1000 В относятся:

- изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, указатели напряжения для фазировки;
- изолирующие устройства и приспособлений для работ на ВЛ с непосредственным прикосновением электромонтера к токоведущим частям (изолирующие лестницы, площадки, изолирующие тросы, канаты, корзины телескопических вышек, кабины для работы у провода и др.)

Изолирующие части основных средств защиты должны быть выполнены из электроизоляционных материалов с устойчивыми диэлектрическими свойствами (из фарфора, бумажно-бакелитовых труб, эбонита, гетинакса, древеснослоистых пластиков, пластических и стеклоэпоксидных материалов и т. д.).

Материалы, поглощающие влагу (бумажно-бакелитовые трубы, дерево и др.), должны быть покрыты влагостойким лаком и иметь гладкую поверхность без трещин, расслоений и царапин.

К **дополнительным** электрозащитным средствам, применяемым в электроустановках напряжением выше 1000 В, относятся:

- диэлектрические перчатки;
- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;

- индивидуальные экранирующие комплекты;
- изолирующие подставки и накладки;
- диэлектрические колпаки;
- переносные заземления;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

К **основным** электрозащитным средствам, применяемым в электроустановках напряжением до 1000 В, относятся:

- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

К **дополнительным** электрозащитным средствам в электроустановках напряжением до 1000 В относятся:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры;
- переносные заземления;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

Выбор необходимых средств защиты при оперативных переключениях и других работах регламентируется настоящими Правилами "ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей" и другими соответствующими нормативно-техническими документами, а также определяется местными условиями на основании требований этих документов.

При использовании основных средств защиты достаточно применения одного дополнительного, за исключением случаев освобождения пострадавшего от тока в электроустановках, когда для защиты от напряжения шага необходимо применять также боты или галоши.

Средство защиты должно быть рассчитано на применение при наибольшем допустимом рабочем напряжении электроустановки (ГОСТ 1516.1-76 и 20690-75).

Порядок выполнения работы

1. Получить задание преподавателя.
2. Познакомиться с основными понятиями.
3. На основании ГОСТ 12.04.011-89 подобрать необходимые средства коллективной защиты работающих с электроустановками с учетом наличия опасных и вредных производственных факторов
4. Отчет оформить в виде таблиц.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 1

Наименование профессии (должности)	Наименование производственного фактора	Средства коллективной защиты

Таблица 2

Основные электрозащитные средства для работы в электроустановках напряжением выше 1000 В	Дополнительные электрозащитные средства, применяемые в электроустановках напряжением выше 1000 В

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются средства защиты работающих?
2. Назначение средств защиты работающих.
3. Принцип выбора средств коллективной защиты работающих.
4. Перечислите средства коллективной защиты работающих от действия электрического тока.

Практическая работа № 3

Методы и средства обеспечения электробезопасности

Цель: Овладение основными методами и средствами обеспечения безопасности при эксплуатации электроустановок и защита от неблагоприятного действия электричества

Основы теории:

Материально-техническое обеспечение практической работы:

Наглядные пособия относящиеся к средствам индивидуальной и коллективной защиты при работе с электроустановками: знаки безопасности, ограждающие устройства; устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; перчатки и боты диэлектрические.

Использование наглядности, ТСО и дидактического материала:

ПК, проектор, экран. Презентация PowerPoint «Средства индивидуальной защиты на предприятиях», «Средства коллективной защиты на предприятиях», справочная литература, раздаточный материал.

Основные понятия

Электробезопасность- система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества (ГОСТ 12.1.009-82. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения)

Электрическая безопасность включает в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Требования электробезопасности изложены в Межотраслевых правилах по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей, ГОСТах и других нормативных правовых актах.

Требования, содержащиеся в этих актах, распространяются на всех Потребителей, работников всех организаций, независимо от форм собственности и организационно-правовых форм, а также на физических лиц, занятых техническим обслуживанием электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих в электроустановках монтажные, наладочные, ремонтные и строительные работы, испытания и измерения (электротехнический персонал).

Потребитель – организации всех форм собственности и организационно - правовых форм, индивидуальные предприниматели и граждане (владельцы электроустановок напряжением выше 1000 В), эксплуатирующие действующие электроустановки напряжением до 220 кВ включительно (ПТЭЭП п.1.1.2).

Электроустановка - совокупность аппаратов, машин, приспособлений, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенная для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования её в другой вид энергии.

Опасные и вредные производственные факторы, связанные с использованием электрической энергии.

Факторами опасного и вредного воздействия на человека, связанными с использованием электрической энергии, являются:

протекание электрического тока через организм человека;

воздействие электрической дуги;

воздействие биологически активного электрического поля;

воздействие биологически активного магнитного поля;

воздействие электростатического поля;

воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ).

Биологически активными являются электрические и магнитные поля, напряженность которых превышает предельно допустимые уровни (ПДУ) – гигиенические нормативы условий труда.

Опасные и вредные последствия для человека от воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического и магнитного полей, электростатического поля и ЭМИ проявляются в виде электротравм, механических повреждений и профессиональных заболеваний. Степень воздействия зависит от экспозиции фактора, в том числе: рода и величины напряжения и тока, частоты электрического тока, пути тока через тело человека, продолжительности воздействия электрического тока или электрического и магнитного полей на организм человека, условий внешней среды

Средства и способы защиты человека от поражения электрическим током сводятся к следующему:

- уменьшению рабочего напряжения электроустановок;
- выравниванию потенциалов (заземление, зануление);
- электрическому разделению цепей высоких и низких напряжений;
- увеличению сопротивления изоляции токоведущих частей (рабочей, усиленной, дополнительной, двойной и т. п.);
- применению устройств защитного отключения и средств коллективной защиты (оградительных, блокировочных, сигнализирующих устройств, знаков безопасности и т. п.), а также изолирующих средств защиты.

Структура классов напряжения

- Ультравысокий класс напряжения – от 1000 кВ.
- Сверхвысокий класс напряжения – от 330 кВ до 750 кВ;
- Высокий класс напряжения – от 110 кВ до 220 кВ;
- Средний класс напряжения – от 1 кВ до 35 кВ;
- Низший класс напряжения – до 1 кВ

Средства защиты

Классификация и перечень средств защиты для работы в электроустановках, требования к их испытаниям, содержанию и применению установлены «Инструкцией по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках», утвержденной приказом Минэнерго России от 30.06.2003 г № 261 (СО 153-34.03.603-2003)

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством (ПУЭ 1.7.28).

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя/ заземлителей и заземляющих проводников (ПУЭ 1.7.19).

Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с грунтом (ПУЭ 1.7.15).

Сопротивление заземления - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю (ПУЭ 1.7.26)

Защитное заземление

Это заземление, выполняемое в целях электробезопасности (ПУЭ 1.7.29).

Защитное заземление обеспечивает защиту электроустановки и оборудования, а также защиту людей от воздействия опасных напряжений и токов, могущих возникнуть при поломках, неправильной эксплуатации техники (т.е. в АВАРИЙНОМ режиме) и при разрядах молний. Также защитное заземление используется для защиты аппаратуры от помех при коммутациях в питающей сети и интерфейсных цепях, а также от электромагнитных помех, наведенных от работающего рядом оборудования. Подробнее защитное назначение заземления можно рассмотреть на двух примерах:

- в составе внешней молниезащитной системы в виде заземленного молниеприёмника

- в составе системы защиты от импульсного перенапряжения
- в составе электросети объекта

Зануление — это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок, не находящихся в нормальном состоянии под напряжением, с глухозаземлённой нейтральной точкой генератора или трансформатора, в сетях трёхфазного тока; с глухозаземлённым выводом источника однофазного тока; с заземлённой точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Защитное зануление является основной мерой защиты при косвенном прикосновении в электроустановках до 1 кВ с глухозаземлённой нейтралью. Принцип работы зануления: если напряжение (фазовый провод) попадает на соединённый с нулем металлический корпус прибора, происходит короткое замыкание. Сила тока в цепи при этом увеличивается до очень больших величин, что вызывает быстрое срабатывание аппаратов защиты (автоматические выключатели, плавкие предохранители), которые отключают линию, питающую неисправный прибор. В любом случае, ПУЭ регламентируют время автоматического отключения поврежденной линии. Для номинального фазного напряжения сети 380/220 В оно не должно превышать 0,4 с

Порядок выполнения работы

1. Получить задание преподавателя.
2. Познакомиться со средствами защиты, используемыми в электроустановках, требованию к их испытанию, содержанию и применению.
3. Подобрать изолирующие электрозащитные средства (основные и дополнительные, СИЗ) для указанного вида работ.
4. Результат представить в виде таблицы.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица

Наименование производственного объекта	Средства защиты основные	Средства защиты дополнительные
Участок ремонта электрооборудования (наладка, ремонт, регулирование электрических схем технологического оборудования напряжением 1 Кв)		
Участок ремонта высоковольтного оборудования (ремонт, испытание, регулирование электрооборудования напряжением 500 кВ)		
Разборка, ремонт и сборка электрооборудования закрытых распределительных устройств напряжением до 10 кВ, капитальный ремонт, технический осмотр трансформаторов общего назначения напряжением до 35 кВ		
ЛЭП. Обслуживание высоковольтной линии электропередачи.		

Зарядка аккумуляторных батарей.		
Пульт управления электростанцией		
Линии электропередачи напряжением 20 кВ – верховые осмотры, составление схем и паспортов, наклеивание заземления, устройство оттяжек		

Контрольные вопросы

1. Классификация средств защиты, используемых в электроустановках.
2. Средства и способы защиты человека от поражения электрическим током.
3. Назначение электрозащитных средств
4. Принципиальное различие между заземлением и занулением.

Практическая работа № 4

Средства защиты от статического электричества

Цель: закрепить знания по обеспечению работников средствами защиты от статического электричества на производстве

Основы теории:

Статическое электричество — совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности или в объеме диэлектриков или на изолированных проводниках.

Происхождение

Электризация диэлектриков трением может возникнуть при соприкосновении двух разнородных веществ из-за различия атомных и молекулярных сил (из-за различия работы выхода электрона из материалов). При этом происходит перераспределение электронов (в жидкостях и газах ещё и ионов) с образованием на соприкасающихся поверхностях электрических слоёв с равными знаками электрических зарядов. Фактически атомы и молекулы одного вещества, обладающие более сильным притяжением, отрывают электроны от другого вещества. Создавая вихревое движение ионов среды, в которой они заключены.

Полученная разность потенциалов соприкасающихся поверхностей зависит от ряда факторов — диэлектрических свойств материалов, значения их взаимного давления при соприкосновении, влажности и температуры поверхностей этих тел, климатических условий. При последующем разделении этих тел каждое из них сохраняет свой электрический заряд, а с увеличением расстояния между ними за счет совершаемой работы по разделению зарядов, разность потенциалов возрастает и может достигнуть десятков и сотен киловольт.

Электрические разряды могут образовываться вследствие некоторой электропроводности влажного воздуха. При влажности воздуха более 85 % статическое электричество практически не возникает

Мерой электризации является **заряд**, которым обладает данное вещество. Интенсивность образования зарядов возрастает с увеличением скорости перемещения материалов, их удельного сопротивления, площади контакта и усилия взаимодействия. Степень электризации заряженного тела характеризует его потенциал относительно земли.

В производстве накопление зарядов статического электричества часто наблюдается при:

трении приводных ремней о шкивы или транспортерных лент о валы, особенно с пробуксовкой;

перекачке огнеопасных жидкостей по трубопроводам и наливке нефтепродуктов в емкости;

движении пыли по воздуховодам; дроблении, перемешивании и просеивании сухих материалов и веществ;

сжатии двух разнородных материалов, один из которых диэлектрик; механической обработке пластмасс;

транспортировании сжатых и сжиженных газов по трубам и истечении их через отверстия, особенно если в газах содержится тонко распыленная жидкость, суспензия или пыль;

движении автотранспортера, тележек на резиновых шинах и людей по сухому изолирующему покрытию и т.д.

Методы и средства защиты от статического электричества

К общим профилактическим мероприятиям, предупреждающим опасные проявления скопившихся электрических зарядов, относятся:

- отсос воздуха из помещения или аппарата, с тем чтобы концентрация взрывоопасной смеси была меньше нижнего предела взрываемости;
- устройство автоматической сигнализации, действующей при возникновении в помещении или аппарате концентрации газов или паров, не превышающей 50% наименьшей взрывоопасности;
- ограничение концентрации запаса горючих и взрывоопасных веществ в одном месте;
- установка на больших аппаратах со взрывоопасной смесью взрывных предохранителей достаточного сечения в таком месте, чтобы при взрыве их выбросило в нужном направлении;
- подбор материалов технологического оборудования таким образом, чтобы исключалась возможность опасных скоплений электрических зарядов;
- развешивание предупредительных плакатов об опасности на тех элементах технологического оборудования, на которых возможно накопление электрических зарядов;
- заполнение аппаратов, емкостей транспортных устройств инертными газами, преимущественно азотом.

Методы, предупреждающие опасные скопления зарядов и способствующие их отводу и нейтрализации, следующие:

- заземление всех токопроводящих частей технологического оборудования;
- повышение электропроводности материалов за счет применения проводящих покрытий и добавок;
- общее и местное увлажнение воздуха;
- осушка и очистка газов от взвешенных, жидких и твердых частиц;
- очистка жидкостей от загрязнений коллоидными частицами;
- ионизация воздуха или среды, заполняющей аппараты;
- устройство электропроводных полов.

Средства защиты от статического электричества по принципу действия делится на следующие виды (ГОСТ 12.4.124-83):

- заземляющие устройства, нейтрализаторы;
- увлажняющие устройства;
- антиэлектростатические вещества;
- экранирующие устройства (козырьки, перегородки).

Заземление

Заземление – наиболее часто применяемое средство защиты от статического электричества.

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством (ПУЭ 1.7.28).

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя/ заземлителей и заземляющих проводников (ПУЭ 1.7.19).

Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с грунтом (ПУЭ 1.7.15).

Сопротивление заземления - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю (ПУЭ 1.7.26)

Защитное заземление

Это заземление, выполняемое в целях электробезопасности (ПУЭ 1.7.29).

Защитное заземление обеспечивает защиту электроустановки и оборудования, а также защиту людей от воздействия опасных напряжений и токов, могущих возникнуть при поломках, неправильной эксплуатации техники (т.е. в АВАРИЙНОМ режиме) и при разрядах молний. Также защитное заземление используется для защиты аппаратуры от помех при коммутациях в питающей сети и интерфейсных цепях, а также от электромагнитных помех, наведенных от работающего рядом оборудования. Подробнее защитное назначение заземления можно рассмотреть на двух примерах:

- в составе внешней молниезащитной системы в виде заземленного молниеприёмника;

- в составе системы защиты от импульсного перенапряжения в составе электросети объекта.

Учитывая малые разрядные токи при статической электризации, допускают сопротивление заземляющего устройства до 100 Ом.

Неметаллическое оборудование считается электростатически заземленным, если сопротивление растеканию тока на землю с любых точек его внутренней и внешней поверхности превышает 10^7 Ом при относительной влажности воздуха не выше 60%.

В производствах где существует опасность воспламенения взрывоопасных разрядов с человека, необходимо обеспечить работающих электропроводящей обувью. Обувь считается электропроводящей, если электрическое сопротивление ее не превышает 10^7 Ом.

Ионизация воздуха

При невозможности использования средств защиты от статического электричества рекомендуется нейтрализовать заряды ионизацией воздуха в местах их возникновения или накопления. Для этого используют специальные приборы — ионизаторы, создающие вокруг наэлектризованного объекта положительные и отрицательные ионы. Ионы, имеющие заряд, противоположный заряду диэлектрика, притягиваются к объекту и нейтрализуют его. Для отвода статического электричества с тела человека предусматривают токопроводящие полы или заземленные зоны, рабочие площадки, поручни лестниц, рукоятки приборов и т.д.; обеспечивают работающих токопроводящей обувью с сопротивлением подошвы не более 108 Ом, а также антистатической спецодеждой.

Нейтрализаторы по принципу ионизации делятся на (ГОСТ 12.4.124-83):

индукционные; высоковольтные; лучевые; аэродинамические.

Средства индивидуальной защиты от статического электричества в зависимости от назначения делятся на:

- специальная одежда электростатическая;
- специальная обувь антиэлектростатическая;
- предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты);
- средства защиты рук антиэлектростатические.

Порядок выполнения работы

1. Получить задание преподавателя.
2. Познакомиться с методами и средствами защиты от статического электричества.
3. Заполните таблицу № 1.
4. Заполните таблицу № 2
5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица № 1 Основные типы средств коллективной защиты работающих (ГОСТ 12.4.011-89)

Наименование производственного фактора	Средства защиты
Повышенный уровень статического	

электричества	
---------------	--

Таблица № 2 Классификация СИЗ по защитному назначению

Защитные свойства группы	Защитные свойства подгруппы	Условные обозначения защитных свойств подгруппы		
		Специальной одежды	Специальной обуви	Рукавиц и перчаток
От электростатических зарядов и электростатических полей	От электростатических полей, разрядов			

Контрольные вопросы

1. Что такое статическое электричество?
2. Какие производственные процессы связаны с опасностью возникновения статического электричества?
3. Как обеспечить электростатическую искробезопасность производственного объекта?
4. Перечислите средства защиты от статического электричества.

Практическая работа № 5

Вычисление напряжения прикосновения и шагового напряжения

Цель: научиться вычислять шаговое напряжение и напряжение прикосновения.

Основы теории:

1.1. Напряжение прямого прикосновения в трехфазной сети IT

В симметричной трехфазной сети ток через изоляцию на землю зависит от фазного напряжения U , активного сопротивления изоляции $R_{из}$ и емкости C фазы относительно земли. Активный ток утечки через изоляцию

$I_R = U / R_{из}$, ток утечки через емкость C зависит от частоты f напряжения сети: $I_C = U / X_C = U \omega C$, где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота напряжения сети.

На векторной диаграмме ток I_R по фазе совпадает с напряжением U сети, а ток I_C – опережает напряжение на 90° (рис. 1). Поэтому полный ток фазы на землю

$$I_\Sigma = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = I_{из}$$

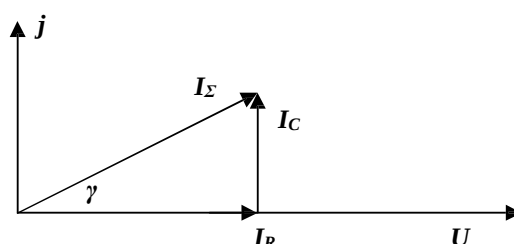


Рисунок 1

В нормальном режиме сопротивление изоляции проводов Z много больше сопротивления тела человека R_h , которое примем равным нулю. Тогда при касании человеком, например, фазы А, потенциал этой фазы станет равным потенциалу земли, т.е. нулю, а потенциалы фаз В или С возрастут до векторной суммы напряжений фазы А и В или С. Сказанное поясняется рис. 2а, где U_A, U_B, U_C – исходные напряжения фаз А, В, С; $\varphi_{A1}, \varphi_{B1}, \varphi_{C1}$ – потенциалы фаз А, В, С при замыкании провода А на землю.

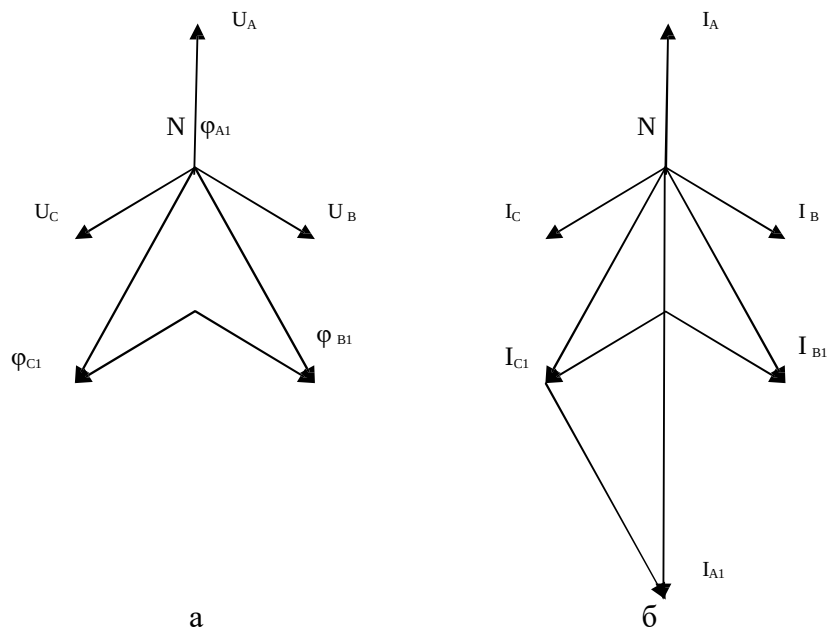


Рис. 2

Из геометрических построений рис. 2б (I_{BI} и I_{CI} – токи фаз В и С при замыкании провода А на землю; I_{AI} – суммарный ток фаз В и С, т.е. ток фазы А на землю) видно, что отрезок NI_{AI} в 3 раза больше отрезков $NU_C=NU_B$, пропорциональных токам утечки на землю в нормальном режиме I_C и I_B , т.е. ток через человека

$$I_h = 3U / Z = 3I_{из}.$$

Поскольку реально сопротивление тела человека ненулевое, потенциал фазы А будет отличаться от нуля, в результате чего ток через человека будет описываться уравнением $I_h = U(Z/3 + R_h)$.

Пример 1. Пусть в сети IT 380/220В сопротивление изоляции $R_{из}=30$ кОм, а емкость фазных проводов относительно земли $C=0,1$ мкФ. Определить ток прямого прикосновения при $R_h=1$ кОм.

Решение. Активный ток утечки на землю

$$I_R = U / R_{из} = 220 / 30 = 7.333 \text{ мА}.$$

Емкостной ток утечки на землю

$$I_C = U\omega C = 220 \cdot 314 \cdot 10^{-7} = 6.91 \text{ мА}.$$

Полный ток утечки на землю

$$I_{\Sigma} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{53.77^2 + 47.72^2} = 10 \text{ мА}.$$

Полное сопротивление утечки через изоляцию провода

$$Z = U / I_{\Sigma} = 220 / 10 = 22 \text{ кОм}.$$

Ток через тело человека при прямом прикосновении

$$I_h = U(Z/3 + R_h) = 220 / (7.333 + 1) = 26.4 \text{ мА}.$$

1.2. Напряжение косвенного прикосновения в аварийной сети IT

Косвенное прикосновение имеет место при касании человеком корпуса электрооборудования с поврежденной изоляцией. Поскольку корпус заземлен, причем сопротивление заземления много меньше сопротивления изоляции неповрежденных фазных проводов и сопротивления тела человека, то потенциал корпуса будет близок к нулю. Так, в рассмотренном выше примере при коротком замыкании (КЗ) фазы А на корпус ток $I_{кз}$ составит 30 мА (утроенное значение тока утечки в исправном состоянии). Если сопротивление заземления оборудования R_z , например, 100 Ом, то напряжение косвенного прикосновения

$$U_{кл} = R_z \cdot I_{кз} = 100 \cdot 0,03 = 3 \text{ В}.$$

1.3. Напряжение прямого прикосновения в аварийной сети IT

Поскольку при замыкании одной из фаз на землю потенциалы остальных фаз возрастают в $\sqrt{3}$ раз (рис. 2а), то прямое касание к ним весьма опасно, поскольку к человеку в этом случае прикладывается практически линейное напряжение 380 В. Незначительное снижение напряжения за счет падения напряжения на сопротивлении заземления практически не оказывает влияния на тяжесть поражения электрическим током.

1.4. Напряжение прямого прикосновения в исправной трехфазной сети TT

При прямом прикосновении в сети ТТ ток через тело человека

$$I_h = U(R_h + R_0),$$

где R_0 – сопротивление заземления источника тока.

Напряжение прикосновения $U_{nn} = I_h \cdot R_h = U \frac{R_h}{R_h + R_0}$

Поскольку $R_h \gg R_0$, напряжение прикосновения практически равно фазному напряжению сети.

1.5. Напряжение прикосновения в аварийной трехфазной сети ТТ

При замыкании фазы на землю протекает ток заземления

$$I_z = U(R_z + R_0)$$

При этом напряжение прикосновения к поврежденной фазе равно потенциалу поврежденной фазы

$U_{kn} = I_z \cdot R_z = U \frac{R_z}{R_z + R_0}$ Если $R_0 = 0$, то напряжение косвенного прикосновения

равно фазному напряжению сети. Если же $R_0 = \infty$, то имеем рассмотренную выше сеть IT.

Напряжение прямого прикосновения к неповрежденной фазе также зависит от сопротивления R_0 заземления источника питания. Если $R_0 = 0$, то напряжение прикосновения равно фазному. Однако по мере увеличения отношения R_0/R_z напряжение прямого прикосновения растет, достигая линейного значения при $R_z = 0$. При конечных значениях сопротивлений R_0 и R_z напряжение прямого прикосновения можно рассчитать по формуле

$$U_{nn} = \sqrt{(0,5 + I_z R_0)^2 + 0,75 U^2},$$

которая выводится из построений рис. 2а при расположении точки ϕ_{A1} между U_A и N.

1.6. Напряжение прямого прикосновения в сети TN

При прямом прикосновении к двум фазам в сети TN, как и во всех остальных, человек оказывается под действием линейного напряжения 380 В. При однофазном прикосновении (человек под действием фазного напряжения 220 В) наличие заземления электрооборудования не сказывается на тяжести поражения током.

1.7. Аварийный режим сети TN

Наиболее вероятным аварийным режимом сети TN является замыкание фазного провода на зануленный корпус электрооборудования. В этом случае ток короткого замыкания

$$I_{кз} = U / R_{\phi-0},$$

где $R_{\phi-0}$ – сопротивление цепи фаза-ноль источника тока.

Согласно требованию Правил устройства электроустановок, в групповых сетях проводимость нулевого защитного проводника должна равняться-

ся проводимости фазного. При этом $R_{ф-о}$ равно удвоенному значению сопротивления защитного проводника, а потенциал в месте КЗ

$$\varphi_{КЗ} = I_{КЗ} \cdot R_{КЗ} = U \cdot R / 2R = U / 2.$$

Таким образом, напряжение косвенного прикосновения не превышает половины фазного, если сопротивление нулевого защитного проводника не превышает сопротивление линейного. Наличие дополнительного заземления оборудования способно лишь незначительно снизить потенциал места КЗ за счет проводимости земли, т.е. протекания части тока по цепи заземлитель электрооборудования – земля – заземлитель источника.

Практическая работа №6

Расчет защитного заземления

Цель: научиться рассчитывать сопротивление заземлителя.

Основы теории:

Сопротивление R_z единичных заземлителей определяют по формулам:

1. Шаровой в земле $R_z = \frac{\rho}{2\pi D} \left(1 + \frac{D}{4t} \right)$
2. Полушаровой у поверхности земли $R_z = \rho / \pi D$
3. Вертикальная труба до поверхности земли $R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$
4. Вертикальная труба на глубине t (до середины трубы)
5. Горизонтальная труба на поверхности земли $R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{d}$
6. Горизонтальная труба на глубине t $R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt}$
7. Круглая пластина на поверхности земли $R_z = \rho / 2D$
8. Пластина $a \cdot b$, поставленная в земле на ребро $R_z = 0.25\sqrt{ab}$
9. Горизонтальная полоса $R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{dt}$

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + 0.5 \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right).$$

В этих формулах:

ρ – удельное сопротивление грунта;

l – длина стержня или полосы;

d – диаметр электрода;

t – глубина от поверхности земли до середины электрода;

D – диаметр пластины или (полу)сферы,

b – ширина горизонтальной полосы.

1.8. Определение потенциала земли вблизи заземлителя

Потенциал заземлителя и соприкасающегося с ним слоя земли равен произведению тока заземлителя на его сопротивление растеканию тока $\varphi = I_3 R_3$. По мере удаления от заземлителя потенциал земли снижается вследствие падения напряжения в земле при протекании тока заземлителя. Потенциал земли φ_3 при протекании в ней тока I_3 равен падению напряжения в земле снаружи от эквипотенциальной поверхности, на которой расположена точка измерения потенциала. На расстояниях от заземлителя, превышающих его наибольший размер, эквипотенциальные поверхности образуют полусферы, поэтому для определения потенциала земли можно пользоваться формулой для полусферического заземлителя. Так, если $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и ток $I = 10 \text{ А}$ вертикального заземлителя $l = 3 \text{ м}$, то потенциал на поверхности земли на расстоянии $r = 5 \text{ м}$ от заземлителя будет

$$\varphi = \rho I / \pi r = 100 \cdot 10 / (3.14 \cdot 5) = 63.7 \text{ В}.$$

В то же время сопротивление заземлителя диаметром $0,03 \text{ м}$

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{100}{6,28} \ln \frac{4 \cdot 3}{0,03} = 95,4 \text{ Ом},$$

а его потенциал $\varphi_3 = 10 \cdot 95,4 = 954 \text{ В}$.

Пусть напряжение U приложено между двумя полусферическими заземлителями с диаметрами D_1 и D_2 , удельное сопротивление грунта ρ . Тогда сопротивление растеканию тока первого заземлителя $R_1 = \rho / \pi D_1$, а второго – $R_2 = \rho / \pi D_2$. Если расстояние между заземлителями на несколько порядков превышает их диаметры, ток заземлителей

$$I_3 = U / (R_1 + R_2).$$

При этом потенциалы электродов обратно пропорциональны их диаметрам и противоположны по знаку:

$$\varphi_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U \frac{\rho}{\pi D_1 \left(\frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \right)} = U \frac{D_2}{D_2 + D_1};$$

$$\varphi_2 = U \frac{D_1}{D_1 + D_2}.$$

Пусть расстояние между центрами полусфер равно $2a$, тогда потенциал в средней точке между заземлителями от протекания тока электрода 1

$$\varphi_{a1} = I_3 \rho / \pi a,$$

а от протекания тока электрода 2 $\varphi_{a2} = -I_3 \rho / \pi a$.

Потенциал – скалярная величина, поэтому результирующее значение потенциала в средней точке между заземлителями

$$\varphi_a = \varphi_{a1} + \varphi_{a2} = I_3 \rho / \pi a - I_3 \rho / \pi a = 0$$

не зависит от их размеров, т.е. сопротивлений растеканию тока. Это важное положение позволяет на практике обнаруживать точку с нулевым потенциалом, не удаляясь от заземлителей на бесконечность.

При уменьшении расстояния $2a$ между заземлителями каждый из них окажется в зоне растекания тока второго заземлителя. Итогом этого станет увеличение тока каждого заземлителя, поскольку он будет протекать под

действием разности потенциалов данного заземлителя и потенциала земли, создаваемого током второго заземлителя.

Пример 2. Напряжение $U=10В$ приложено между двумя полусферическими заземлителями с расстоянием между центрами $2a=2м$ и диаметрами $D_1=D_2=1м$, удельное сопротивление грунта $\rho=62,8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Найти электрические параметры заземлителей.

Решение. Сопротивление заземлителей $R_z = \rho / \pi D = 200 \text{ Ом}$

Ток заземлителей без учета взаимного влияния $I_z = U / (2R_z) = 0.25 \text{ А}$.

Потенциал, создаваемый возле каждого заземлителя током второго заземлителя, $\Delta\varphi = (I_z) / (2\pi\alpha) = 0.25 \cdot 62.8 / (2 \cdot 3.14 \cdot 1) = 2.5 \text{ В}$.

Фактический ток заземлителей $I_z = (U + 2\Delta\varphi) / (2R_z) = 15 / 40 = 0.375 \text{ А}$.

Фактическое сопротивление каждого заземлителя

$$R_{\phi} = 0.5U / I = 13.3 \text{ Ом}$$

1.9. Сопротивление группового заземлителя

Групповой заземлитель (ГЗ) состоит из нескольких электродов, включенных параллельно, т.е. находящихся под одним потенциалом. Если сопротивление растеканию тока одиночного электрода R , а расстояние между ними много больше их наибольшего размера, то суммарное сопротивление ГЗ, состоящего из n электродов, будет в n раз меньше, т.е. $R_{\Sigma} = R/n$.

Но если каждый электрод ГЗ находится в зоне растекания тока соседних электродов, то его эффективность снижается, поскольку ток данного электрода определяется не полным потенциалом ГЗ, а разностью потенциалов ГЗ и земли в месте нахождения электрода. Степень снижения эффективности электродов ГЗ определяется расстоянием между ними, взаимным расположением и количеством. Значения коэффициентов использования вертикальных электродов группового заземлителя в зависимости от расстояния x между электродами, приведены в табл. 1, горизонтальных – в табл. 2.

Таблица 1

Коэффициент эффективности вертикальных электродов

x/l	Число электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Размещение электродов в ряд								
1	0,85	0,73	0,65	0,59	0,48	-	-	-
2	0,91	0,83	0,77	0,74	0,67	-	-	-
3	0,94	0,89	0,85	0,81	0,76	-	-	-
Размещение электродов по контуру								
1	-	0,69	0,61	0,56	0,47	0,41	0,39	0,36
2	-	0,78	0,73	0,66	0,63	0,58	0,55	0,52
3	-	0,85	0,80	0,76	0,71	0,66	0,64	0,62

Таблица 2

Коэффициент эффективности соединительных полос

x/l	Число электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Размещение электродов в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,84	0,80	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Размещение электродов по контуру								

Пример 3. Вертикальные стержни длиной $l = 5$ м диаметром $d=2$ см соединены перемычками из таких же прутков. Расстояние между стержнями в ряду 5 м, расстояние от поверхности земли до стержней $t_0=0,7$ м. Удельное сопротивление земли $\rho = 100$ Ом·м. Пусть требуется рассчитать ГЗ с сопротивлением растекания тока не более 4 Ом.

Решение. Сопротивление одиночного вертикального электрода

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{d} + 0.5 \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \frac{100}{2 \cdot 3.14 \cdot 5} \left(\ln \frac{10}{0.02} + 0.5 \ln \frac{4 \cdot 3.2 + 5}{4 \cdot 3.2 - 5} \right) = 23.4 \text{ Ом},$$

Ориентировочное количество вертикальных стержней

$$n = R_z / R_{z3} = 23.4 / 4 = 6 \text{ шт.}$$

Сопротивление одной горизонтальной перемычки без учета вертикальных стержней

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt_i} = \frac{100}{2 \cdot 3.14 \cdot 5} \ln [25 / (0.02 \cdot 0.7)] = 23.846 \text{ Ом},$$

Сопротивление шести вертикальных стержней при коэффициенте использования $k_g=0,65$

$$R_g = R_z (n \cdot k_g) = 23.4 / (6 \cdot 0.65) = 6 \text{ Ом}$$

1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,2	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Сопротивление пяти горизонтальных перемычек при $k_z = 0,72$

$$R_{zop} = K_z (n \cdot k_z) = 23.846 / (3 \cdot 0.72) = 6.62 \text{ Ом}$$

Сопротивление группового заземлителя

$$R_{z3} = \frac{R_g R_{zop}}{R_g + R_{zop}} = \frac{6 \cdot 6.62}{6 + 6.62} = 3.15 \text{ Ом}$$

что удовлетворяет условиям задачи.

1.10. Напряжение прикосновения с учетом потенциала земли

Пример 4. Светильник наружного освещения закреплен на металлической опоре, нижняя часть которой выполнена из трубы диаметром $d_m=0,15$ м, заглублена в землю на $l=1$ м по центру бетонного цилиндра диаметром 0,45 м. Удельное сопротивление бетона $\rho_b=50$ Ом·м, земли $\rho_3=150$

Ом•м. Сеть TN-C, зануление опоры отсутствует. При повреждении изоляции светильника опора оказалась под напряжением $U_c=220\text{В}$. Определить напряжение прикосновения к опоре при расстоянии между ней и ногами человека 0,4м при наличии и отсутствии бетонного крепления опоры.

Решение. Сопротивление растеканию тока слоя бетона толщиной $(0,45-0,15)/2=0,15\text{м}$

$$R_{\phi} = \frac{\rho_{\phi}}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{d_T} - \frac{\rho_{\phi}}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{d_3} = \frac{50}{6,28} \left(\ln \frac{4}{0,15} - \ln \frac{4}{0,45} \right) = 8,75 \text{ Ом},$$

Сопротивление растеканию тока земли

$$R_3 = \frac{\rho_3}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{d_3} = \frac{150}{6,28} \ln \frac{4}{0,45} = 52,2 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление растеканию тока

$$R_{\Sigma} = R_{\phi} + R_3 = 8,75 + 52,2 = 60,95 \text{ Ом}$$

Пренебрегая сопротивлением заземления источника питания, определим $I_{\kappa 3}$ на землю:

$$I_{\kappa 3} = 220 / 60,95 = 3,61 \text{ А}.$$

Падение напряжения в слое бетона

$$\Delta U_{\phi} = R_{\phi} \cdot I_{\kappa 3} = 8,75 \cdot 3,61 = 31,59 \text{ В}.$$

Потенциал земли на расстоянии $r = 0,475\text{м}$ от центра опоры

$$\varphi_3 = I_{\kappa 3} \cdot R = I_{\kappa 3} \cdot \frac{\rho_3}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{2\pi r} = 3,61 \cdot \frac{150}{6,28} \ln \frac{4}{6,28 \cdot 0,475} = 25,2 \text{ В}.$$

Напряжение прикосновения $U_{np} = U_c - \varphi_3 = 220 - 25,2 = 194,8 \text{ В}$. При отсутствии бетонного слоя сопротивление заземления опоры

$$R_3 = \frac{\rho_3}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{d_3} = \frac{150}{6,28} \ln \frac{4}{0,15} = 87,4 \text{ В}.$$

Ток короткого замыкания на землю $I_{\kappa 3} = 220 / 87,4 = 2,517 \text{ А}$
 . Потенциал земли на расстоянии 0,475м от центра опоры

$$\varphi_3 = I_{\kappa 3} \cdot \frac{\rho_3}{2\pi l} \cdot \ln \frac{4l}{2\pi r} = 2,517 \cdot \frac{150}{6,28} \ln \frac{4}{6,28 \cdot 0,475} = 17,58 \text{ В}.$$

Напряжение прикосновения $U_{np} = 220 - 17,58 = 202,42 \text{ В}$.

1.12. Напряжение прикосновения с учетом сопротивления основания

В приведенном выше примере напряжение прикосновения 202,42 В прикладывается между рукой человека и землей. Ток протекает как через тело человека, так и через основание, на котором стоит человек (обувь). Если принять сопротивление тела человека $R_h = 1$ кОм, а основания $R_{осн} = 5$ кОм, тогда ток через тело человека

$$I_h = U_{np} / (R_h + R_{осн}) = 202.42 / (1 + 5) = 33.73 \text{ мА}.$$

Фактическое значение напряжения прикосновения

$$U_{np.факт} = I_h \cdot R_h = 1 \cdot 33.73 = 33.73 \text{ В}.$$

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
5.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.1 Перечень основной литературы:

1. Электробезопасность / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 210 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493604> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9698-9. – DOI 10.23681/493604. – Текст : электронный.

2. Привалов, Е.Е. Основы электробезопасности : в 3 ч. / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – Ч. 3. Защита от напряжения прикосновения и шага в электрических сетях. – 180 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436756> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-7618-9. – DOI 10.23681/436756. – Текст : электронный.

3. Привалов, Е.Е. Основы электробезопасности : в 3 ч. / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – Ч. 2. Заземление электроустановок систем электроснабжения. – 156 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436755> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-7617-2. – DOI 10.23681/436755. – Текст : электронный.

4 Сибикин Ю.Д. Охрана труда и электробезопасность: Учебное пособие – М: Директ –Медиа, 2014.- 360 с. [Электронный ресурс] режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=235424

5.1.2. Перечень дополнительной литературы:

1.Сибикин, Ю.Д. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий / Ю.Д. Сибикин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 338 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256581> . – Библиогр.: . с. 332. – ISBN 978-5-4475-2508-8. – DOI 10.23681/256581. – Текст : электронный.

2. Электробезопасность работников электрических сетей / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 371 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493605> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9697-2. – DOI 10.23681/493605. – Текст : электронный.

3. Сибикин, Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – 8-е изд., испр. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 235 с. : табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=253964>. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4458-8880-2. – DOI 10.23681/253964. – Текст : электронный.

5.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

3. <http://e.lanbooks.com> - Электронно-библиотечная система Лань

1. <http://docs.cntd.ru/> Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации ТЕХЭКСПЕРТ

2. Профессиональные справочные системы Техэксперт <http://vuz.kodeks.ru/>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»

для студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

№	Содержание	Стр
п/п		.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование лабораторных работ	
4.	Содержание лабораторных работ	
4.1	Лабораторная работа № 1. Определение влияния режима электрической нейтрали на условия электробезопасности Часть 1. Моделирование электрической сети с изолированной нейтралью. Часть 2. . Моделирование электрической сети с глухозаземленной нейтралью.	
4.2	Лабораторная работа № 2. Определение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель Часть 1. Снятие зависимости потенциала основания электрооборудования от расстояния до заземлителя Часть 2. Снятие зависимости напряжения прикосновения от расстояния до заземлителя Часть 3. Снятие зависимости шагового напряжения от расстояния до заземлителя	
4.3	Определение силы электрического тока через тело человека Часть 1. При прямом прикосновении к частям, находящимся под напряжением Часть 2. При косвенном прикосновении к частям, находящимся под напряжением	
4.4	Лабораторная работа № 4. Моделирование зануления электрооборудования	
4.5	Лабораторная работа № 5. Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью	
4.6	Лабораторная работа № 6. Измерение сопротивления заземления	
4.7	Лабораторная работа № 7. Моделирование действия защитного заземления (самозаземления) электрооборудования	
4.8	Лабораторная работа № 8. Моделирование защитного отключения электрической сети	
	Приложение 1	

Введение

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

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электрических схем сетей, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях.

В предлагаемом методическом указании описано восемь лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины является подготовка студентов к производственной деятельности в сфере передачи и распределения электрической энергии, обслуживания, диагностики и мониторинга электроэнергетического оборудования в соответствии с профилем подготовки с соблюдением требований защиты окружающей среды, обеспечения здоровья персонала и безопасности производства.

Задачами изучения дисциплины являются:

- освоение дисциплины на уровне, позволяющем ориентироваться в средствах защиты от поражения электрическим током при выполнении работ по обслуживанию, эксплуатации электроустановок энергосистем;
- знать основные режимы работы электроустановок и связанные с ними опасности для персонала;
- иметь навыки практического расчета средств защиты от электропоражения, область их практического применения;
- приёмы освобождения пострадавшего от токоведущих частей и оказания первой помощи.

2. Оборудование и материалы

Лаборатория теоретических основ электротехники, релейной защиты и электробезопасности с интерактивным мультимедиа оборудованием

Мультимедийное оборудование: интерактивный проектор, ноутбук, магнитно-маркерная доска. Комплект учебной мебели.

1. Комплект типового лабораторного оборудования «Системы электроснабжения» СЭС2-С-К;

2. Комплект типового лабораторного оборудования «Электроэнергетика» ЭЭ1-ОРСК-С-К.

3. Наименование лабораторных работ

Для студентов заочной формы обучения предусмотрены следующие лабораторные работы Лабораторная работа № 5 Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью, Лабораторная работа № 6. Измерение сопротивления заземления

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
4	Лабораторная работа № 1. Определение влияния режима электрической нейтрали на условия электробезопасности. Часть 1. Моделирование электрической сети с изолированной нейтралью.	2	
4	Лабораторная работа № 1. Определение влияния режима электрической нейтрали на условия электробезопасности. Часть 2. Моделирование электрической сети с глухозаземленной нейтралью	2	
3	Лабораторная работа № 2. Определение зависимостей, характеризующих явления при	2	

	стекании тока в землю через защитный заземлитель Часть 1. Снятие зависимости потенциала основания электрооборудования от расстояния до заземлителя		
3	Лабораторная работа № 2. Определение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель Часть 2. Снятие зависимости напряжения прикосновения от расстояния до заземлителя	2	
3	Лабораторная работа № 2. Определение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель Часть 3. Снятие зависимости шагового напряжения от расстояния до заземлителя	2	
3	Лабораторная работа № 3 Определение силы электрического тока через тело человека Часть 1. При прямом прикосновении к частям, находящимся под напряжением	2	
3	Лабораторная работа № 3 Определение силы электрического тока через тело человека Часть 2. При косвенном прикосновении к частям, находящимся под напряжением	2	
5	Лабораторная работа № 4 Моделирование зануления электрооборудования	2	
6	Лабораторная работа № 5 Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью	2	2
5	Лабораторная работа № 6. Измерение сопротивления заземления	2	
5	Лабораторная работа № 7. Моделирование действия защитного заземления (самозаземления) электрооборудования	2	
5	Лабораторная работа №8 Моделирование защитного отключения электрической сети	2	
Итого за 8семестр:		12	2

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа №1 Определение влияния режима электрической нейтрали на условия электробезопасности

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

- напряжения и схемы питания электроустановок,
- режима нейтрали,
- сопротивления элементов электрической сети,

– условий включения человека в цепь.

Основы теории:

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

Нейтраль – это точка соединения обмоток питающего цепь трансформатора или генератора. Нейтраль может быть изолированной или заземленной.

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

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

$$I_q = U_L / R_q$$

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

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

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

– Ток в действительной форме составит:

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

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

r – сопротивление изоляции провода относительно земли, Ом;

C – емкость изоляции провода относительно земли, Ф.

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

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + r/3} = \frac{3U_{\phi}}{3R_{\phi} + r},$$

где r – сопротивление изоляции, Ом.

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

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

где X_c – емкостное сопротивление.

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

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

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

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

где r_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

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

Отсюда следует, что прикосновение к фазе трехфазной сети с за-

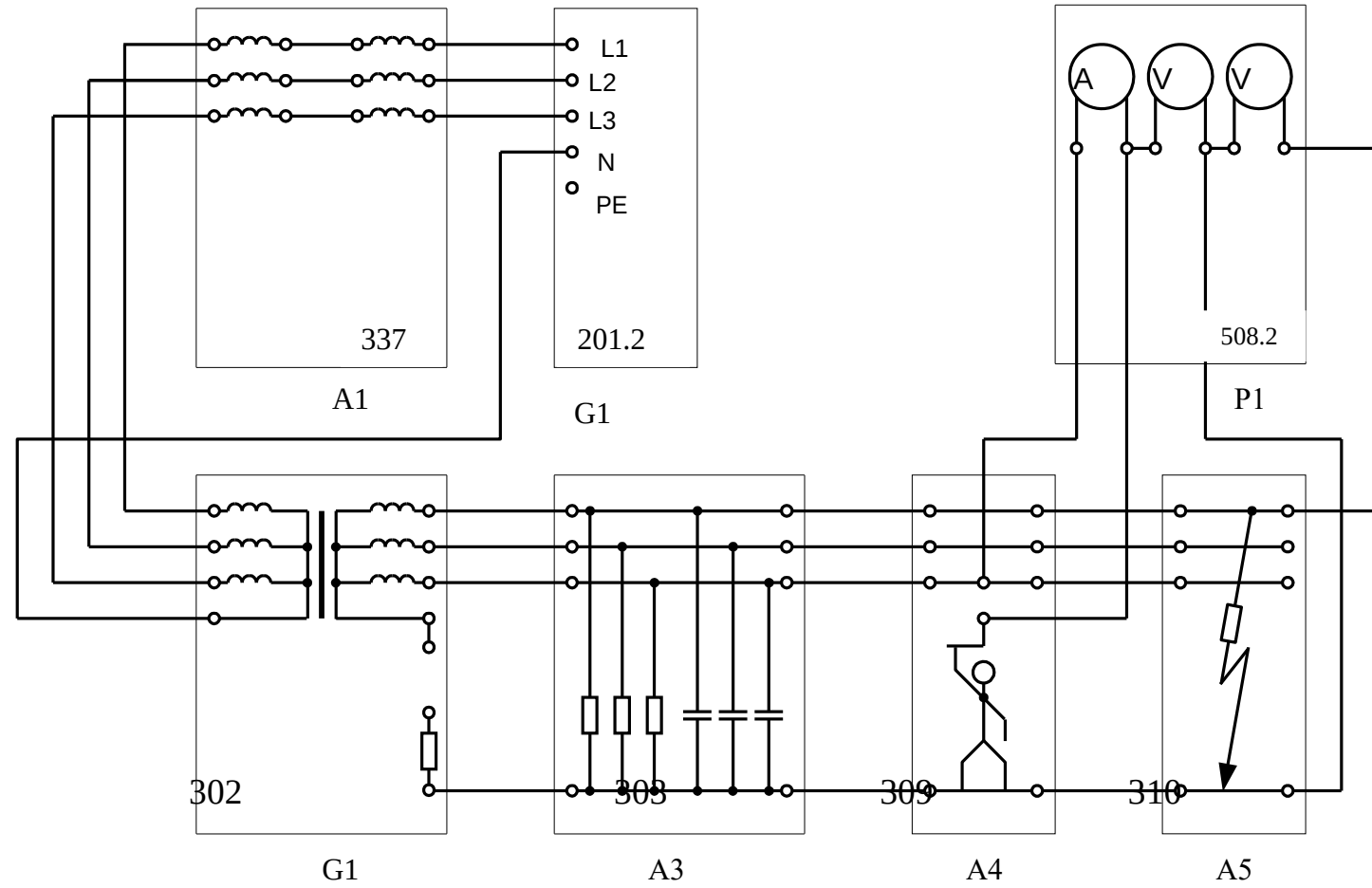
земленной нейтралью в период нормальной ее работы более опасно, чем прикосновение к фазе нормально работающей сети с изолированной нейтралью.

Перечень аппаратуры

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

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Электрическая схема соединений



Указания по выполнению лабораторной работы:

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

Экспериментальная таблица

Таблица 1.1

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

Таблица 1.2

Экспериментальная таблица

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

Лабораторная работа №2.
Определение зависимостей, характеризующих явления
при стекании тока в землю через
защитный заземлитель

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

Основы теории:

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

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

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

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

и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

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

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

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

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

$$\bar{I}_ч = \frac{\bar{U}_ф}{R_ч + R_{об} + R_{II} + Z_{II} / 3}$$

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

$R_ч$ – сопротивление тела человека, Ом;

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

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

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

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

$$\bar{I}_ч = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_{об} + R_{п} + R_3},$$

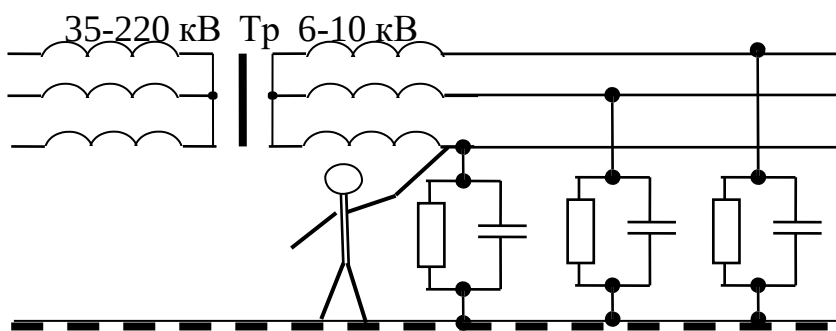


Рис. 2.1 Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

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

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

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

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

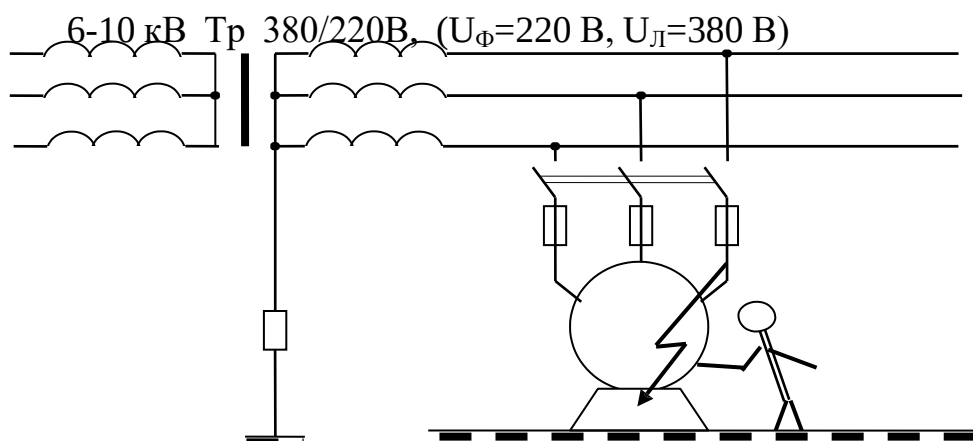


Рис. 2.2 Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

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

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

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

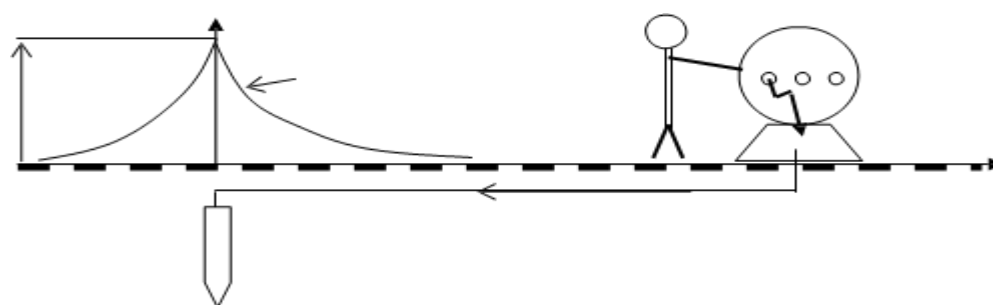
В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющих устройств (ЗУ) – выносное ЗУ и контурное ЗУ. У выносного ЗУ заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. Это приводит к тому, что практически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

оказывается несущественным число и схема расположения заземляющих электродов, рис. 2.3.

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

Рис. 2.3 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

Контурные ЗУ характеризуются по возможности равномерным размещением заземляющих электродов по площадке, на которой установлено электрооборудование. Такое ЗУ называется распределенным. Снижение напряжения прикосновения в этом случае обусловлено не только перераспределением падения напряжения источника, но и выравниванием потенциалов заземленного корпуса электроустановки и основания, на котором стоит человек, как это показано на рис. 20. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала $\phi_3\Sigma(X)$. Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения $U_{\text{ПР}}$ значительно уменьшается и составляет доли ϕ_3 .



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

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

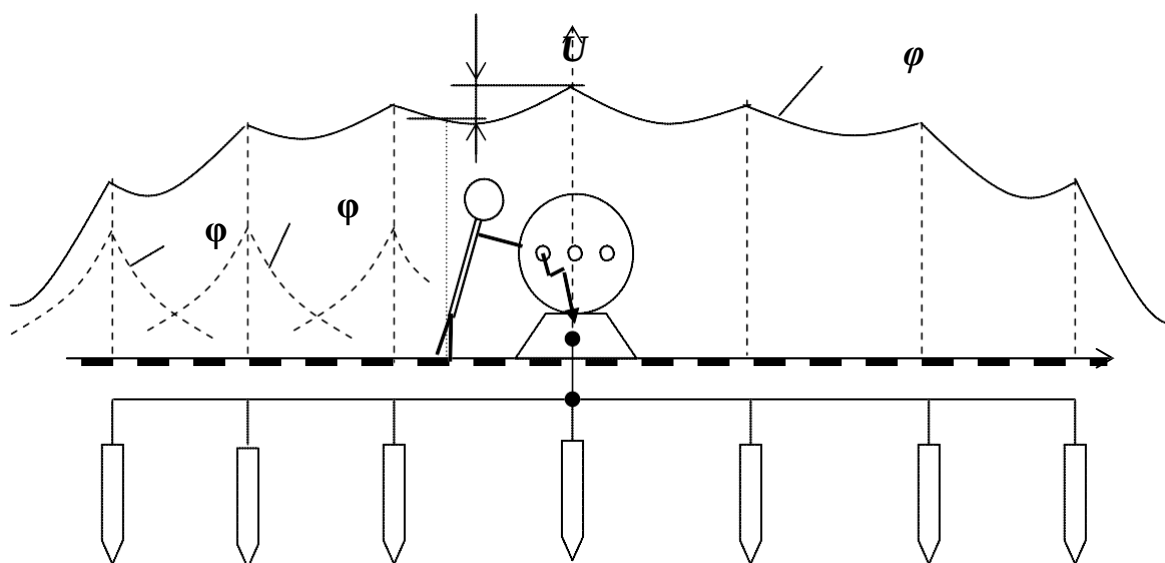


Рис. 2.4 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 2.1

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

Допустимое сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА

10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
$125/I_3$, но не более 10 (I_3 – расчетный ток замыкания на землю, А)	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В
Электроустановки напряжением выше 1000 В	
$250/I_3$, но не более 10	Если заземляющее устройство используется в сети с изолированной нейтралью
0,5	Если заземляющее устройство используется в сети с эффективно заземленной нейтралью

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

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

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Электрическая схема соединений

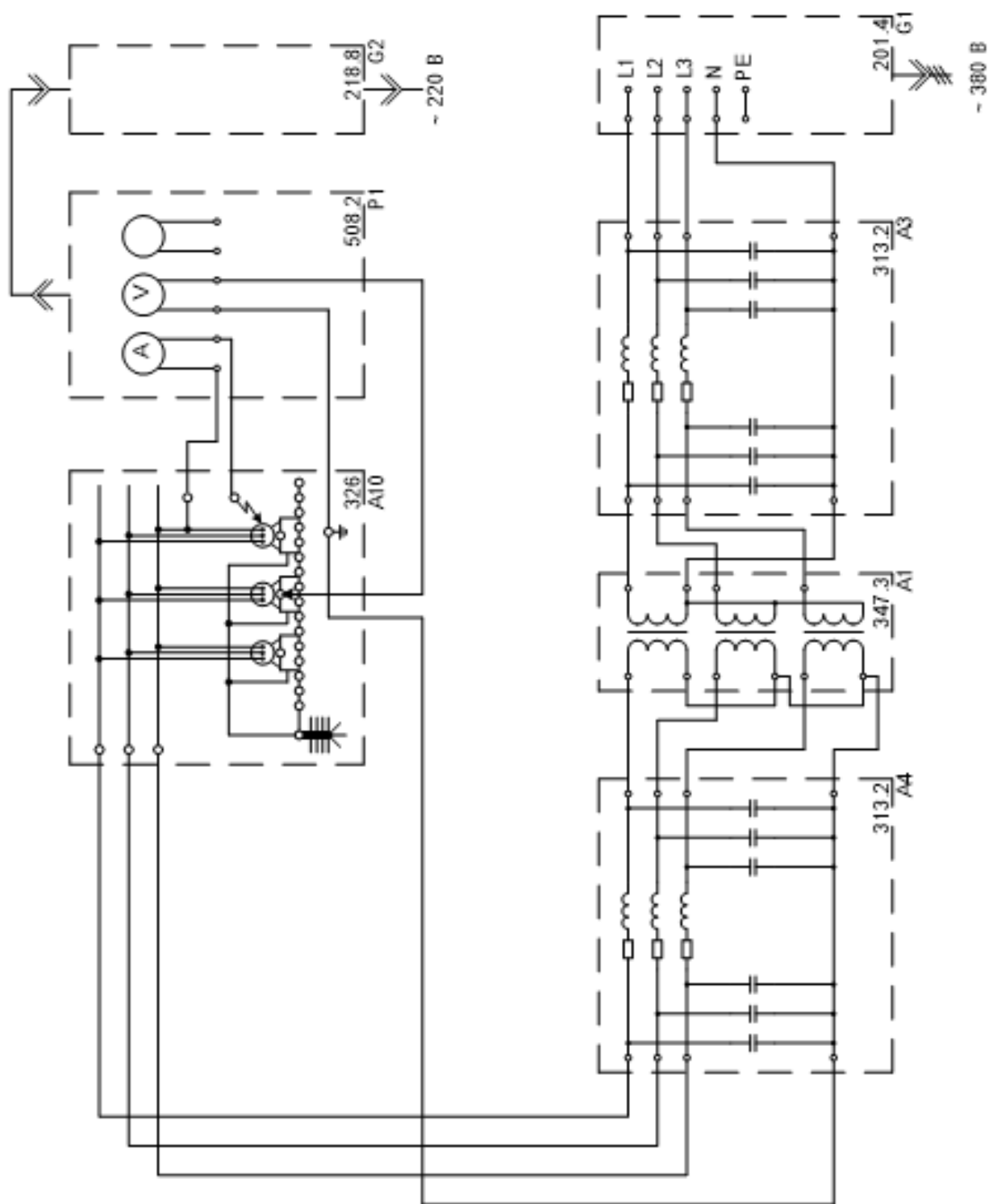
- Включите источник G2.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и активизируйте используемые мультиметры.
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- При заданном сопротивлении грунта ρ модели заземлителя А6, снимите с помощью вольтметра блока P1 зависимость от расстояния x : потенциала основания электрооборудования $\varphi_{осн} = f(x)$ (вольтметр включать между гнездом «L» и гнездами, соответствующими расстоянию x).
- Ток стекания в землю контролируйте с помощью амперметра блока P1. Он не должен превышать **0,5 А!**
- По завершении эксперимента отключите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и источники G1, G2.
- Проанализируйте снятую зависимость $\varphi_{осн} = f(x)$.

Часть 2. Снятие зависимости напряжения прикосновения от расстояния до заземлителя

Перечень оборудования

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

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

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

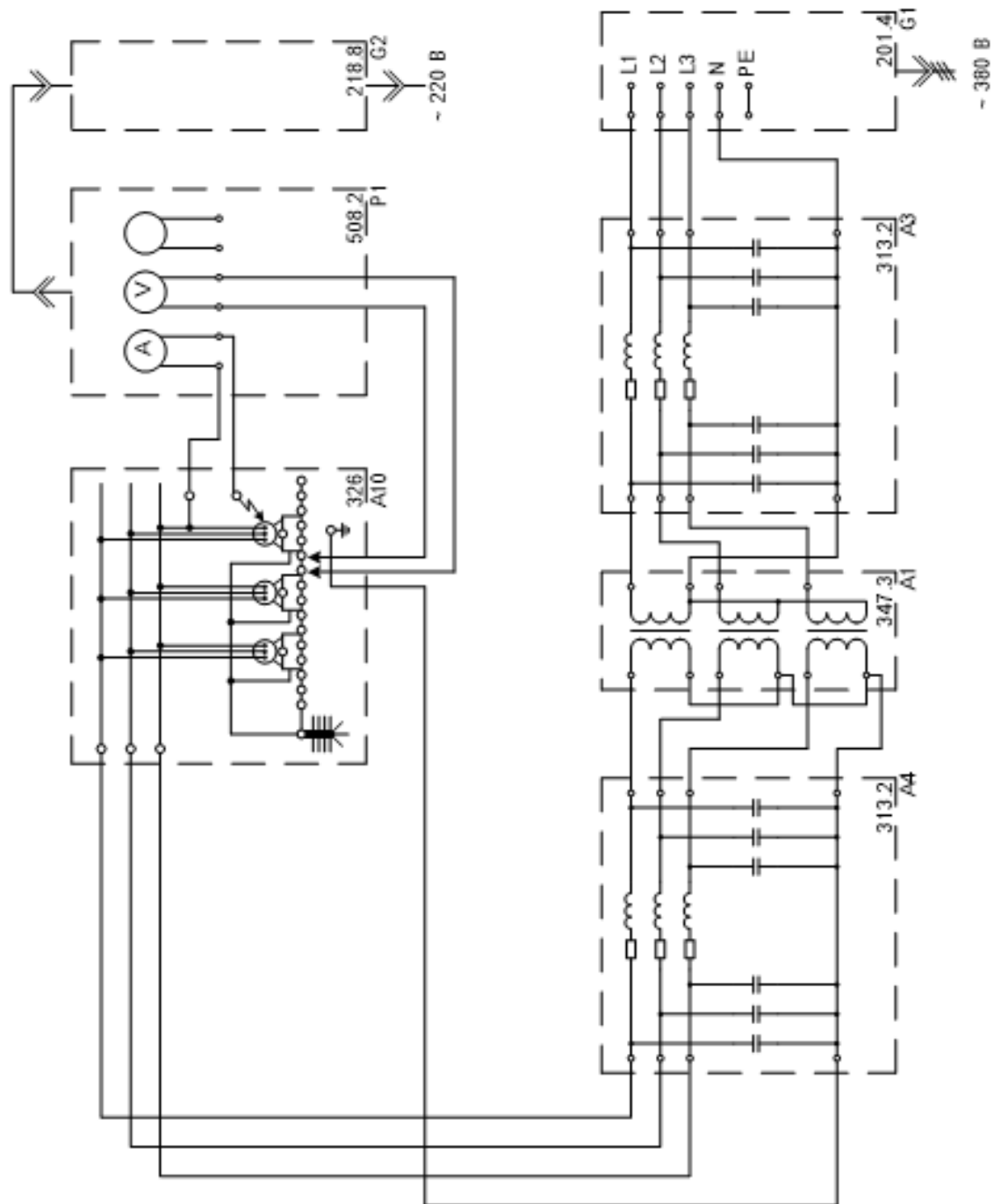
Часть 3. Снятие зависимости шагового напряжения от расстояния до заземлителя

Перечень оборудования

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

			$\leq 0...10 \text{ A} /$ $0...20 \text{ МОм}$
--	--	--	---

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

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

Лабораторная работа №3

Определение силы электрического тока через тело человека

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

Основы теории:

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

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

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

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

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

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

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

Значение тока, протекающего через тело человека, является главным фактором, от которого зависит исход поражения: чем больше ток, тем опаснее его действие. Человек начинает ощущать протекающий через него ток промышленной частоты (50 Гц) относительно малого значения: 0,6–1,5 мА. Этот ток называется пороговым ощутимым током.

Ток 10–15 мА (при 50 Гц) вызывает сильные и весьма болезненные судороги мышц рук, которые человек преодолеть не в состоянии, т. е. он не может разжать руку, которой касается токоведущей части, не мо-

жет отбросить провод от себя и оказывается как бы прикованным к токоведущей части. Такой ток называется пороговым неотпускающим.

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

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

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

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

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

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

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

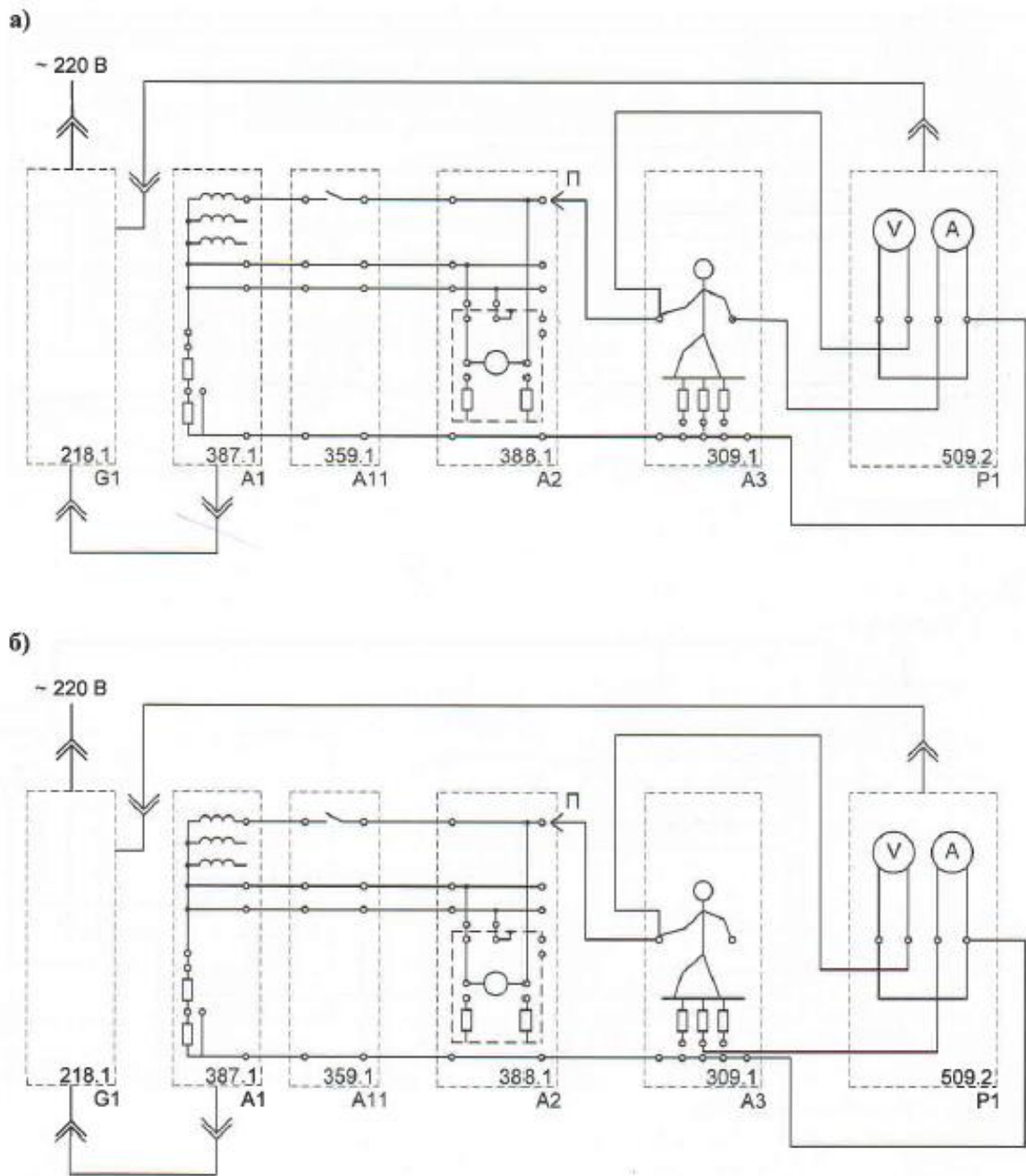


Рис. 1.1. Схема для определения силы электрического тока через тело человека при прямом прикосновении его к частям, находящимся под напряжением:

а) путь тока в теле человека «рука – рука»;

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

Перечень аппаратуры

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

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Порядок проведения работы

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

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

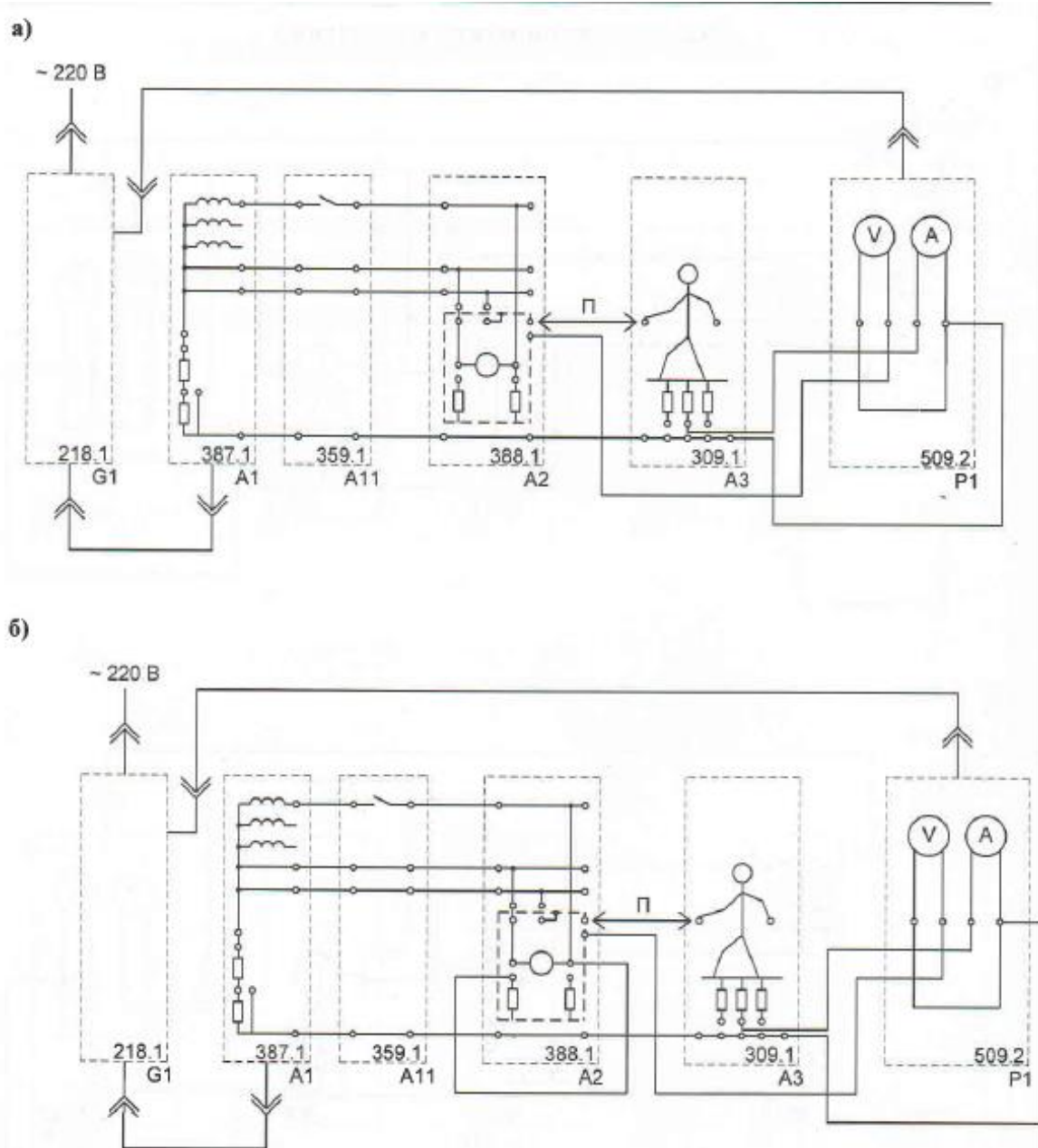


Рис. 1.2. Схема для определения силы электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении его к частям, находящимся под напряжением:

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

Порядок проведения работы

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

Требования к отчету

В отчет по лабораторной работе вносится:

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

Лабораторная работа №4

Моделирование зануления электрооборудования

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

с нулевым проводником, повторного заземления нулевого проводника)

Основы теории:

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

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

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

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

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

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

Зануление необходимо для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении за счет снижения напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети.

Область применения зануления:

У электроустановки напряжением до 1 кВ в трехфазных сетях переменного тока с заземленной нейтралью (система **TN – S**; обычно это сети 220/127, 380/220, 660/380 В);

- У электроустановки напряжением до 1 кВ в однофазных сетях переменного тока с заземленным выводом;
- У электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях постоянного тока с заземленной средней точкой источника.

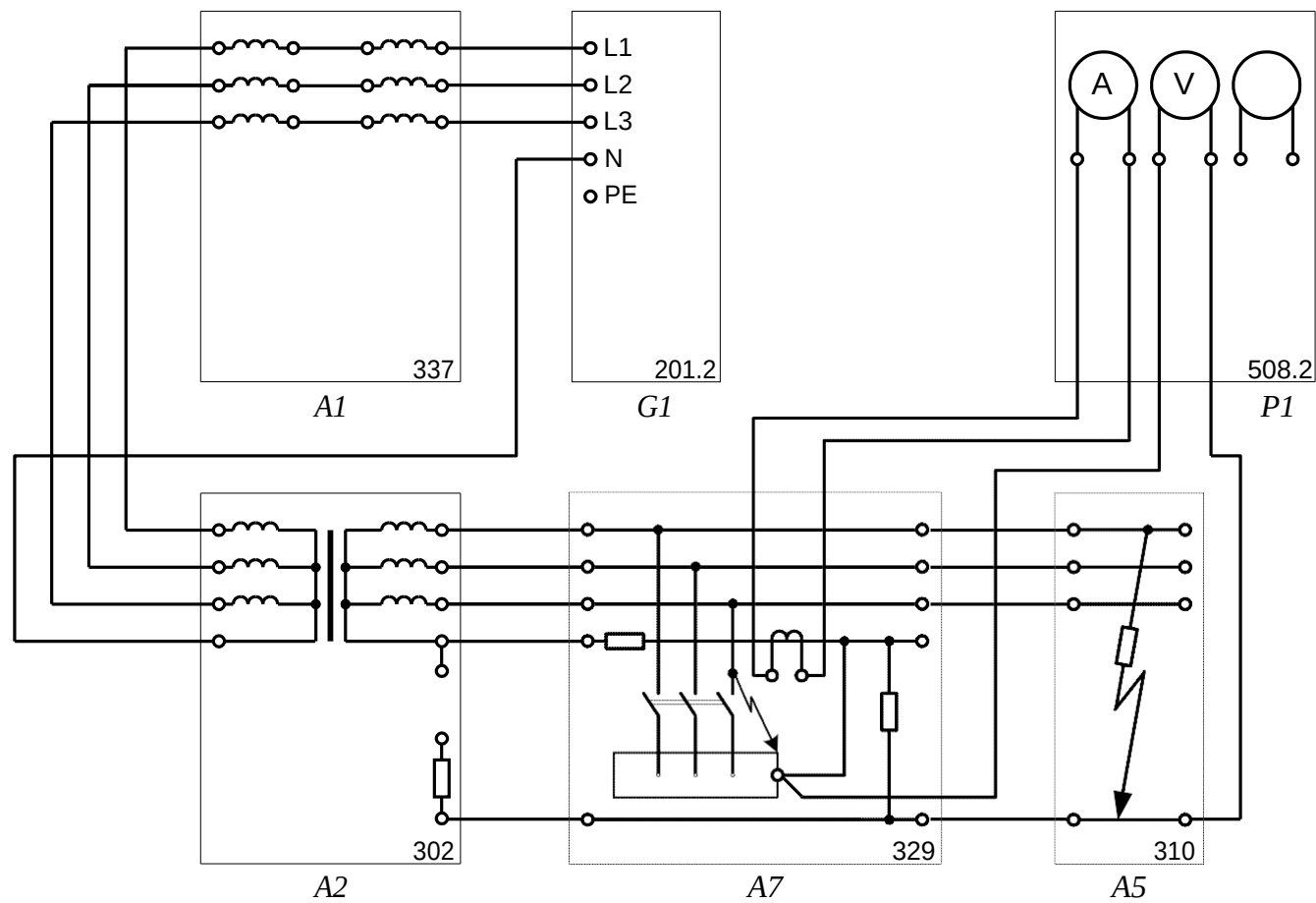
Принцип действия зануления. При замыкании фазного провода на зануленный корпус электропотребителя образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (то есть замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание максимальной токовой защиты,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

Перечень аппаратуры

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

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

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

Требования к отчету

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

Лабораторная работа №5

Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью

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

Основы теории:

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

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

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

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

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

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

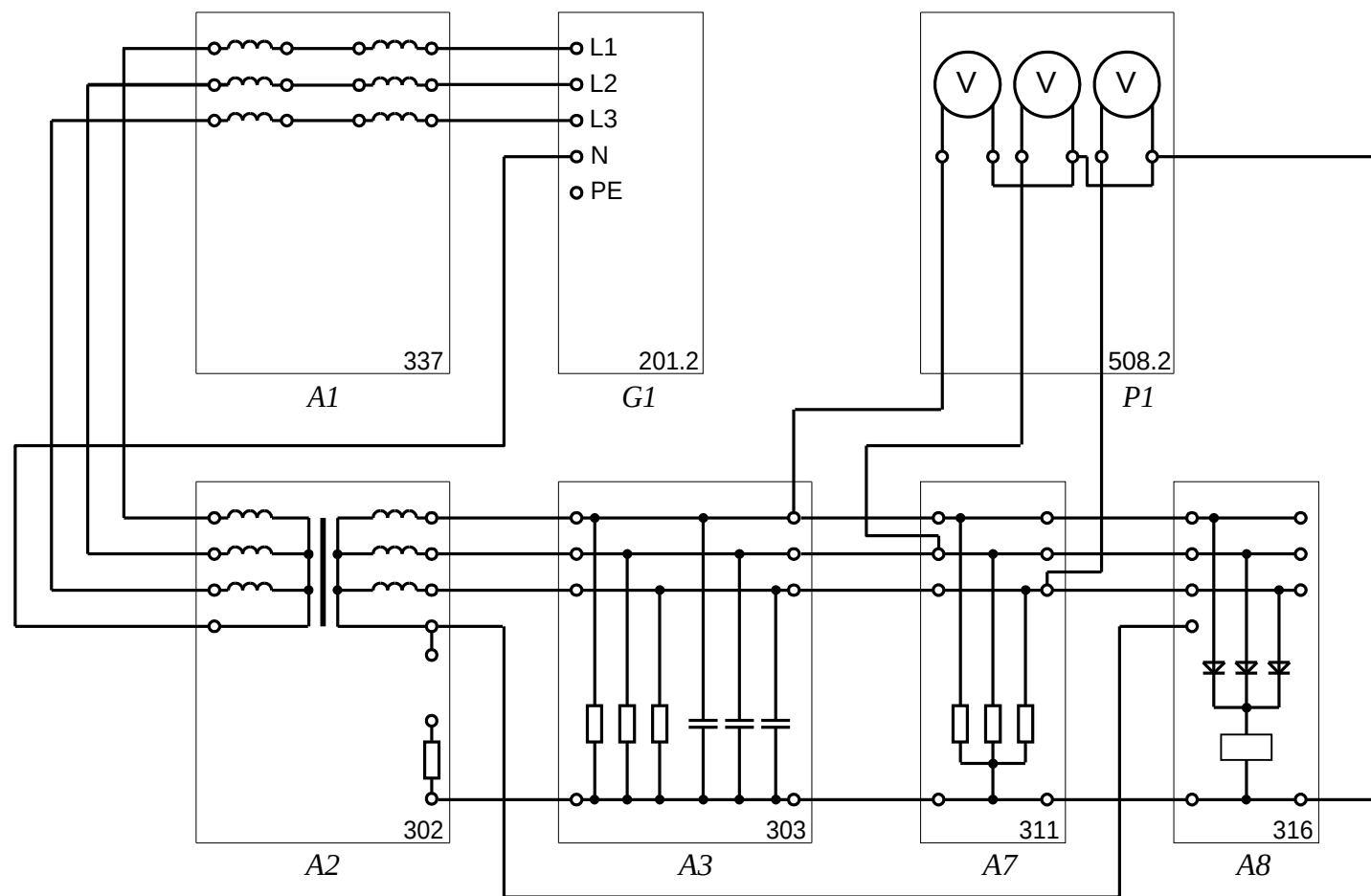
Рабочей называется изоляция, обеспечивающая нормальную работу электрической установки и защиту персонала от поражения электрическим током. Двойная изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной, используется в тех случаях, когда требуется обеспечить повышенную электробезопасность оборудования (например,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

Перечень аппаратуры, используемой в лабораторной работе

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

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

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

Требования к оформлению отчета

В отчет по лабораторной работе вносятся:

1. Наименование и цель работы.
2. Применяемые приборы и оборудование.
3. Заполненные таблицы с необходимыми расчетными формулами.
4. Общие выводы по результатам сделанной работы.

Результаты экспериментов заносятся в табл. 12.

Таблица 5.1

Экспериментальная таблица

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

Лабораторная работа №6

Измерение сопротивления заземления

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

Основы теории:

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

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

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

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

и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

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

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

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

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

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

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

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

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_3), \quad (6.2)$$

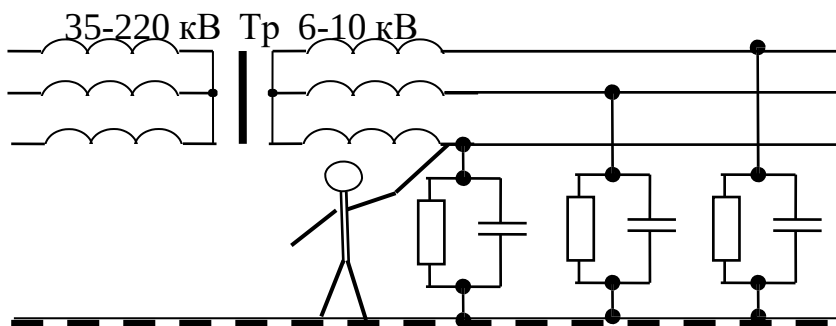


Рис. 6.1– Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

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

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

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

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

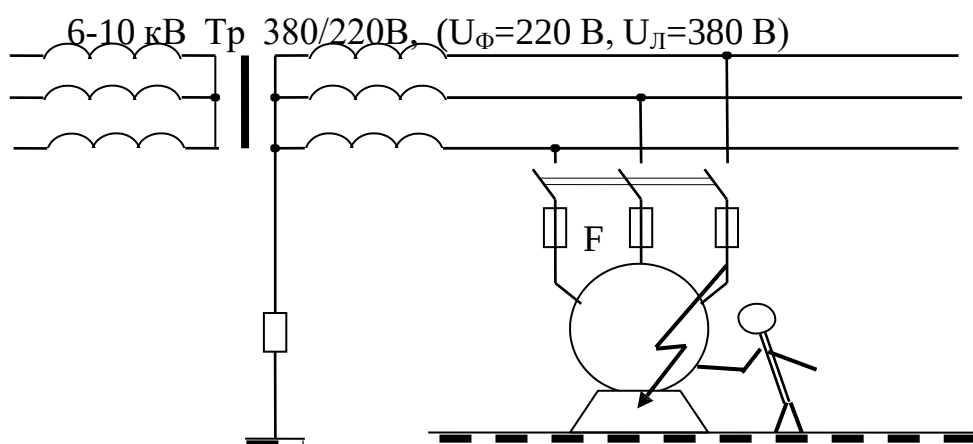


Рис. 6.2 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

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

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

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

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

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

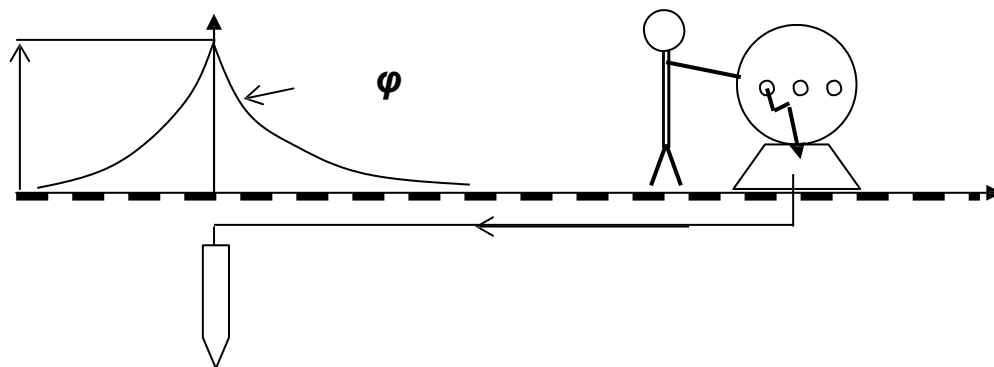


Рис. 6.3 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

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

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

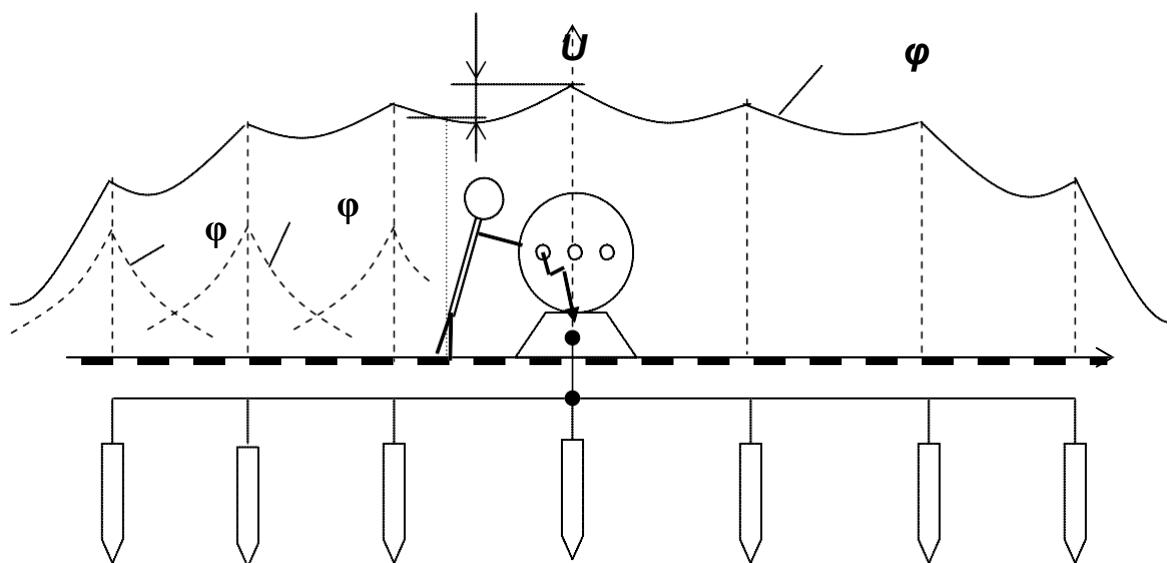


Рис. 6.4 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 6.1

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

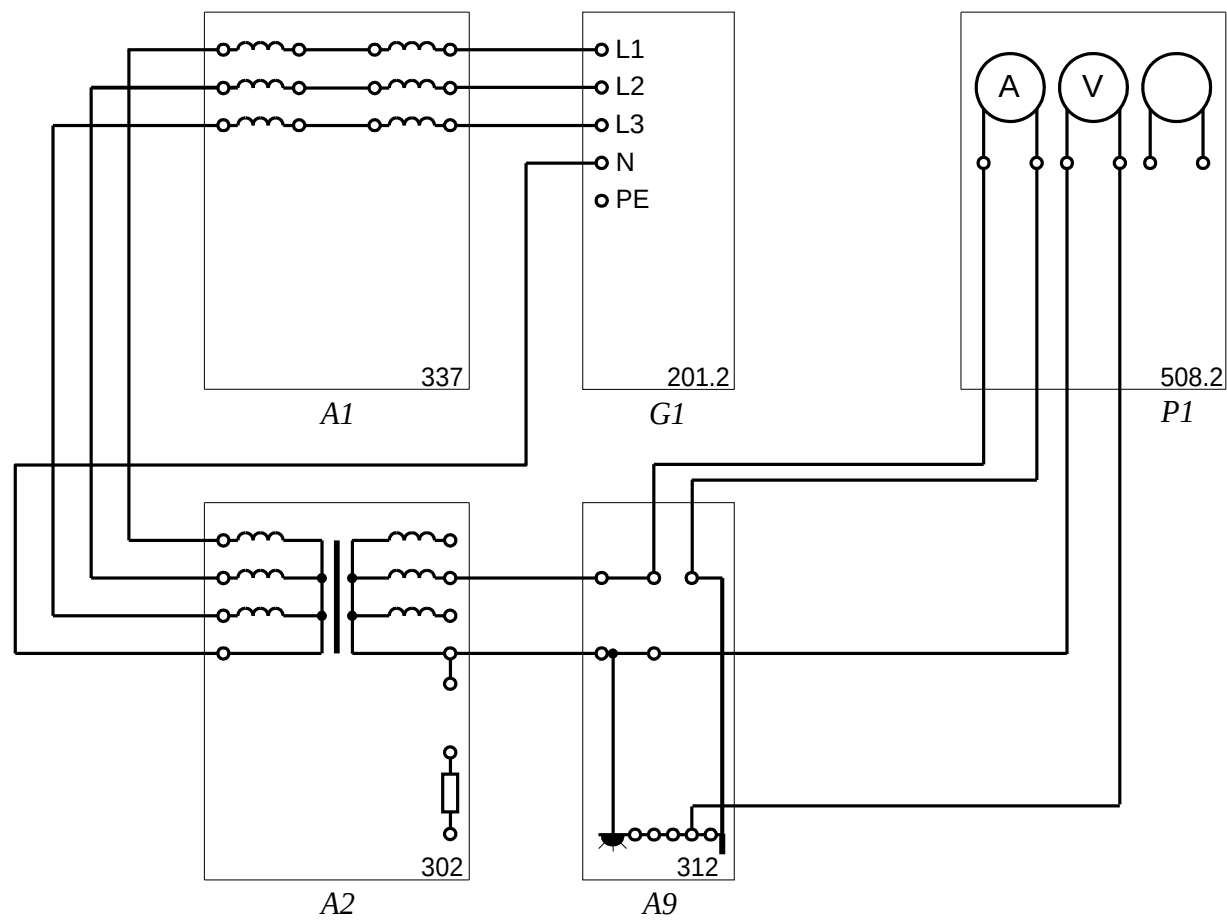
Допустимое сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА
10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
$125/I_3$, но не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

Перечень аппаратуры

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

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

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

Требования к отчёту по лабораторной работе

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

Необходимо сделать вывод о эффективности защитного заземления.

Лабораторная работа №7

Моделирование действия защитного заземления (самозаземления) электрооборудования

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

Основы теории:

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

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

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

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

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие

замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние, вынос потенциала и т. п.).

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

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

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

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

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

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

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

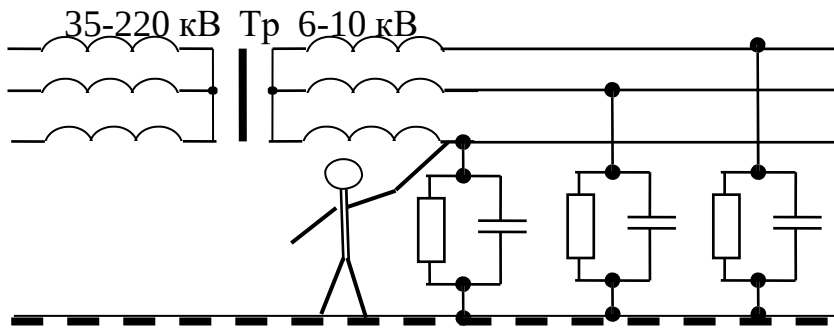


Рис.7.1 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

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

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

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

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

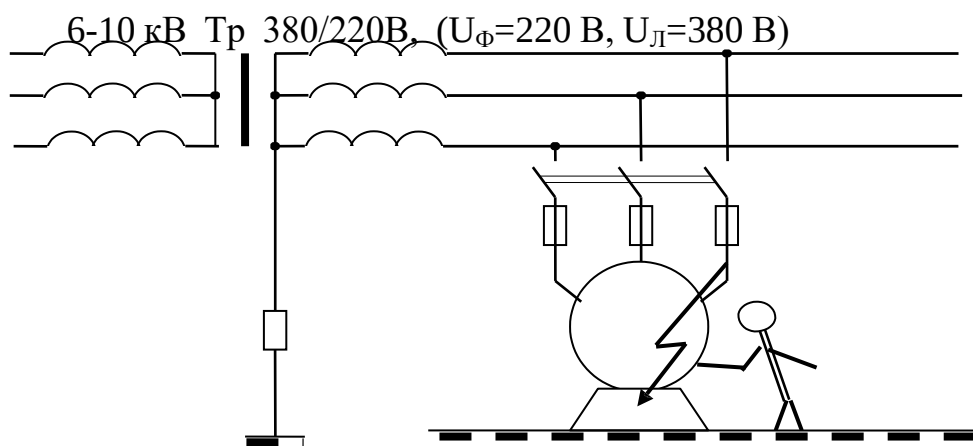


Рис. 7.2– Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

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

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

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

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющих устройств (ЗУ) – выносное ЗУ и контурное ЗУ. У выносного ЗУ заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. Это приводит к тому, что практически не происходит выравнивание потенциала основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования. Эффективность применения такого ЗУ обусловлена только снижением потенциала заземленного оборудования. При этом оказывается несущественным число и схема расположения заземляющих электродов, рис. 28.

При замыкании фазы на корпус и стекании тока I_3 через заземлитель $\phi_3(X)$ достигает максимума в точке поверхности над заземлителем и практически затухает через 20 метров. При этом на руку человека, прикоснувшегося к корпусу электрооборудования, действует потенциал заземлителя ϕ_3 , а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю.

Напряжение прикосновения $U_{ПР}$, равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно ϕ_3 .

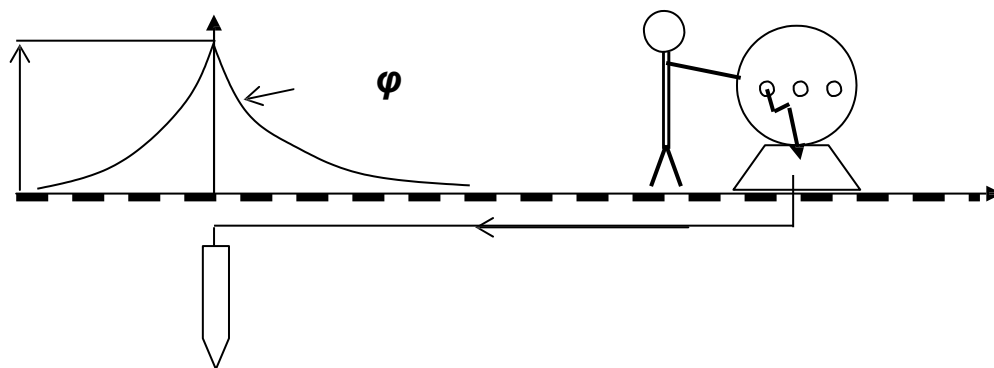
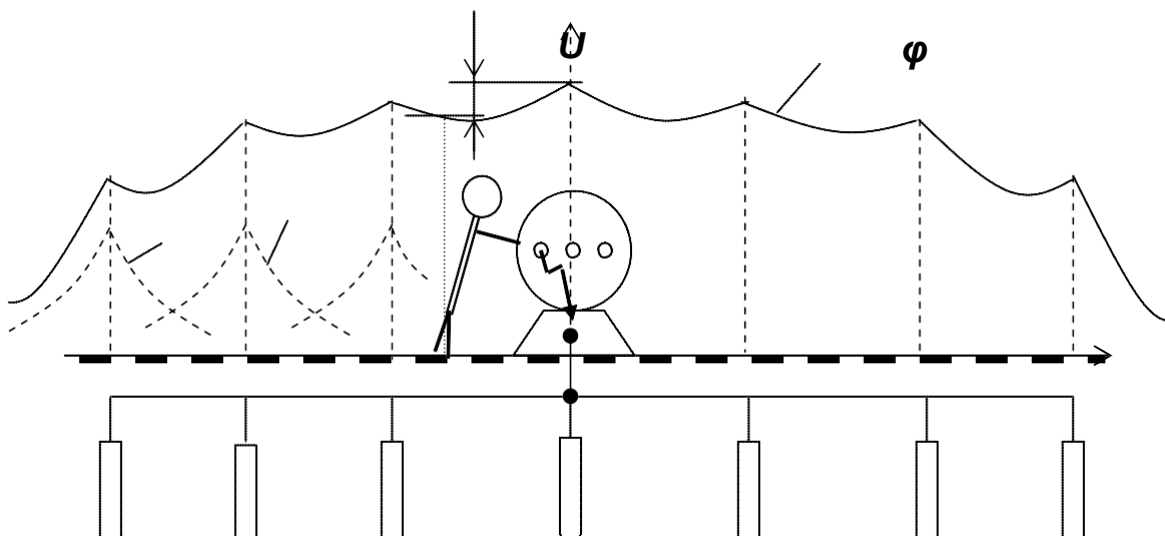


Рис. 7.3 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

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

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



Ф Ф

Рис. 7.4 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

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

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

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

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

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

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

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

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

Требования к устройству защитного заземления и зануления определены Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), в соответствии

с которыми защитному заземлению или занулению подлежат все металлические и другие токопроводящие части электроустановок и оборудования, которые случайно в аварийном режиме могут оказаться под напряжением (ССБТ ГОСТ 12.1.030–81):

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

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

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

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

Таблица 7.1

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

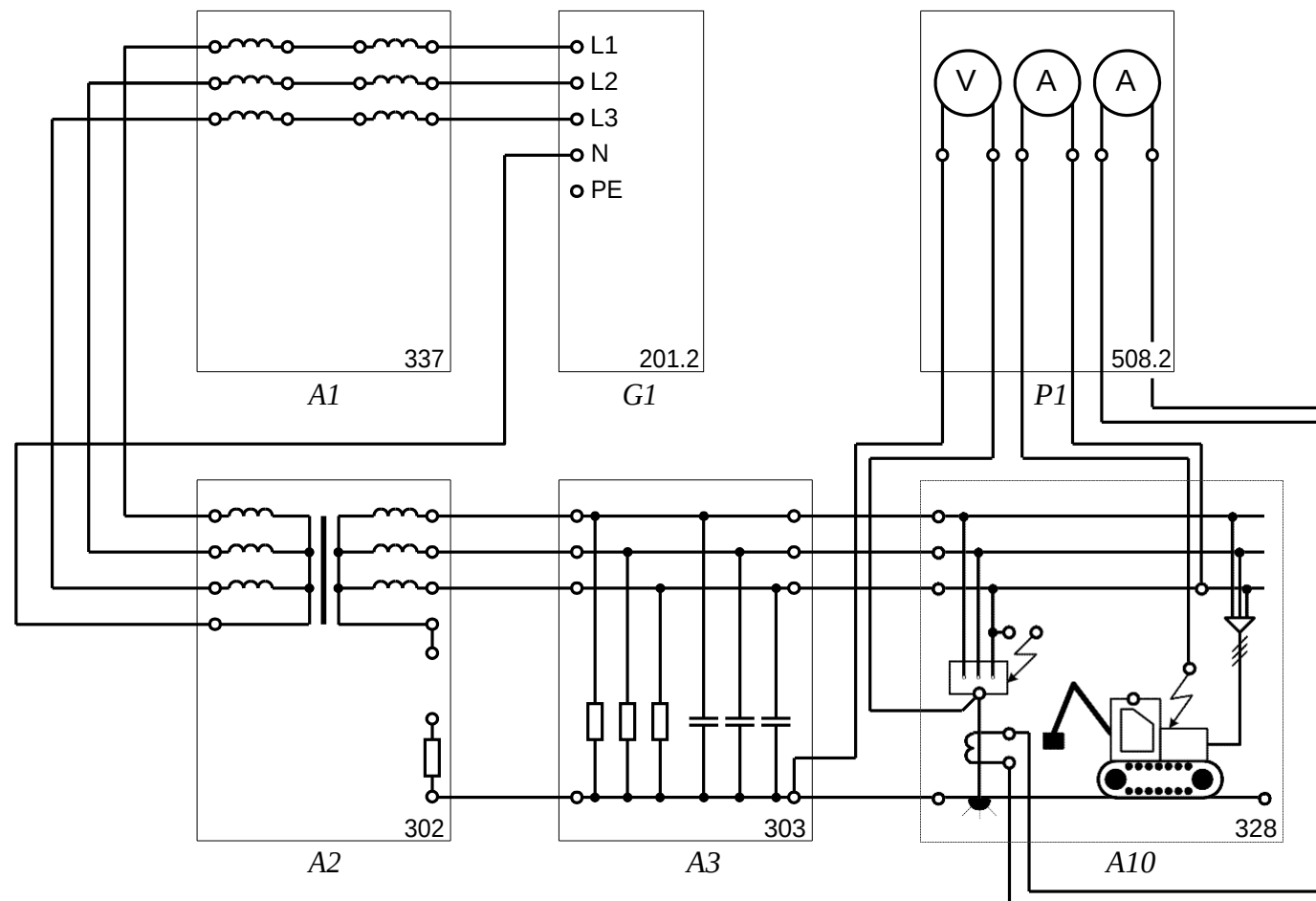
Допустимое сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА
10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
$125/I_3$, но не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

Перечень аппаратуры

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

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы представлены в Приложении 1.

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

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

Лабораторная работа №8

Моделирование защитного отключения электрической сети

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

Основы теории:

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

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

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

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

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

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

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

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

УЗО применяют в электроустановках до 1 кВ:

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

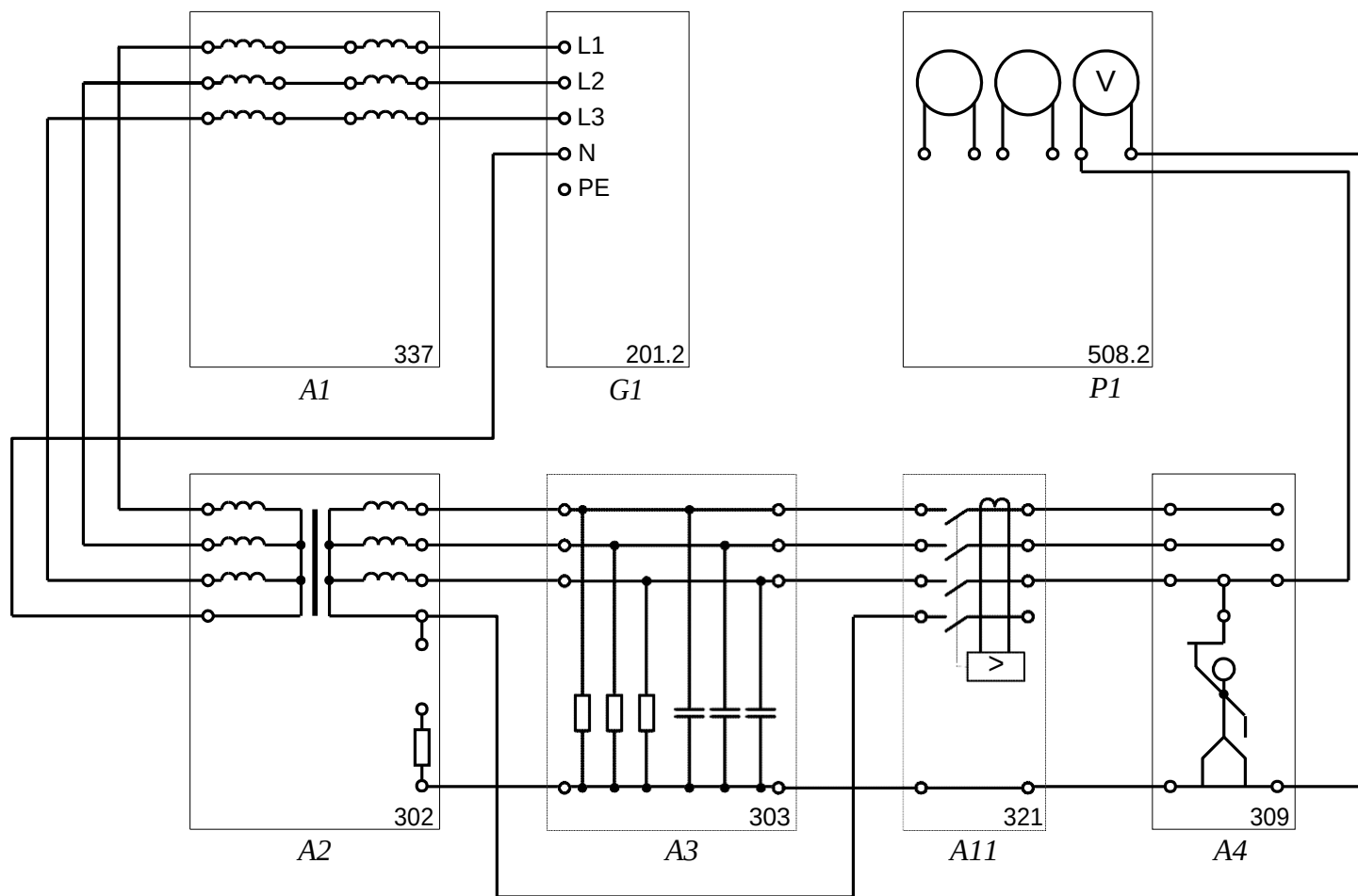
Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302

A3	Модель участка электрической сети	303
A4	Модель человека	309
A11	Устройство защитного отключения	321
P1	Блок мультиметров	508.2

Основы теории:

Электрическая схема соединений



Порядок проведения работы

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

Требования к отчету по лабораторной работе

- По п.п. 7–8, для режима глухозаземлённой нейтрали питающей электрической сети, необходимо отразить величины тока утечки и времени срабатывания УЗО при различных величинах сопротивления обуви $R_{\text{обуви}}=1; 10; 300; 3000 \text{ кОм}$ и пола $R_{\text{пола}}=1; 100; 900; 2500 \text{ кОм}$ (по заданию преподавателя).

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

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.1 Перечень основной литературы:

1. Электробезопасность / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 210 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493604> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9698-9. – DOI 10.23681/493604. – Текст : электронный.

2. Привалов, Е.Е. Основы электробезопасности : в 3 ч. / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – Ч. 3. Защита от напряжения прикосновения и шага в электрических сетях. – 180 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436756> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-7618-9. – DOI 10.23681/436756. – Текст : электронный.

3. Привалов, Е.Е. Основы электробезопасности : в 3 ч. / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – Ч. 2. Заземление электроустановок систем электроснабжения. – 156 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436755> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-7617-2. – DOI 10.23681/436755. – Текст : электронный.

4 Сибикин Ю.Д. Охрана труда и электробезопасность: Учебное пособие – М: Директ –Медиа, 2014.- 360 с. [Электронный ресурс] режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=235424

5.1.2. Перечень дополнительной литературы:

1.Сибикин, Ю.Д. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий / Ю.Д. Сибикин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 338 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256581> . – Библиогр.: . с. 332. – ISBN 978-5-4475-2508-8. – DOI 10.23681/256581. – Текст : электронный.

2. Электробезопасность работников электрических сетей / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 371 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493605> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9697-2. – DOI 10.23681/493605. – Текст : электронный.

3. Сибикин, Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – 8-е изд., испр. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 235 с. : табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=253964> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4458-8880-2. – DOI 10.23681/253964. – Текст : электронный.

5.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks
3. <http://e.lanbooks.com> - Электронно-библиотечная система Лань
3. <http://docs.cntd.ru/> Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации ТЕХЭКСПЕРТ
4. Профессиональные справочные системы Техэксперт <http://vuz.kodeks.ru/>

Приложение 1

Указание по технике безопасности:

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

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

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

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

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13. Категорически запрещается:

– трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;

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

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

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

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению контрольных работ

по дисциплине «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»

для студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Контрольная работа состоит из ответов на пять вопросов по дисциплине «Электробезопасность» и решения задачи.

Перечень вопросов приведён в Таблице 2. В Таблице 1 приведены варианты и номера вопросов, на которые необходимо дать ответ в письменной форме. Номер варианта соответствует предпоследней цифре зачётной книжки студента.

В Таблице 3 приведены номера вариантов и исходные данные для решения задачи. Номер варианта задачи соответствует последней цифре зачётной книжки студента.

Оформление контрольной работы должно соответствовать утверждённой форме.

Таблица 1

№ вариант а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ вопроса	1,11,21 31,41	2,12,22 32,42	3,13,23 33,43	4,14,24 34,44	5,15,25 35,45	6,16,26 36,46	7,17,27 37,47	8,18,28 38,48	9,19,29 39,49	10,20,30 40,50

Таблица 2

1	Что называется электроустановкой?
2	Какие помещения относятся к электропомещениям?
3	Как классифицируются помещения в отношении опасности поражения людей электрическим током?
4	Какие помещения относятся к помещениям с повышенной опасностью?
5	К каким помещениям в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается территория открытых электроустановок?
6	Как обозначаются нулевые рабочие (нейтральные) проводники?
7	Какое буквенное и цветовое обозначение должны иметь проводники защитного заземления в электроустановках?
8	Какое буквенное и цветовое обозначение должны иметь совмещённые нулевые защитные и нулевые рабочие проводники?
9	Какое буквенное и цветовое обозначение должны иметь шины при переменном трёхфазном токе?
10	Какие буквенные и цветовые обозначения должны иметь шины при постоянном токе?
11	Что применяется в электроустановке для предотвращения ошибочных операций?
12	Как подразделяются электроустановки по условиям электробезопасности?
13	Какие требования предъявляют к устройствам для ограждения и закрытия токоведущих частей в жилых и общественных помещениях?
14	В цепях с каким напряжением должно производиться измерение тока?
15	В каких цепях производится измерение напряжения?
16	Какая система заземления относится к системе TN?
17	Какая система заземления относится к системе TN-C?
18	Какая система заземления относится к системе TN-S?
19	Какая система заземления относится к системе TT?
20	Какая система заземления относится к системе IT?

21	Какая система заземления относится к системе TN-C-S?
22	<i>Что понимается под косвенным прикосновением?</i>
23	<i>Что понимается под напряжением прикосновения?</i>
24	Что понимается под напряжением шага?
25	Что понимается под защитным заземлением?
26	Что понимается под рабочим заземлением?
27	Что следует применять для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ?
28	Какие защитные меры применяются для защиты людей от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в случае повреждения изоляции?
29	Когда следует выполнять защиту при косвенном прикосновении?
30	В каком случае не требуется выполнять защиту от прямого прикосновения в помещениях без повышенной опасности с электроустановками переменного тока?
31	В какой системе (системах) рекомендуется выполнять повторное заземление РЕ и PEN проводников на вводе в электроустановки здания?
32	Допускается или нет применять УЗО, реагирующее на дифференциальный ток, в четырёхпроводных трехфазных цепях (система TN-C)?
33	Как следует прокладывать поперечные заземлители заземляющих устройств электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях с эффективно заземлённой нейтралью?
34	Каким должно быть сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль генератора или трансформатора при линейном напряжении 380В источника трёхфазного тока?
35	Что может быть использовано в качестве естественных заземлителей?
36	В каком случае разрешается использовать алюминиевые оболочки кабелей в качестве естественных заземлителей?
37	Допускается или нет использование трубопроводов центрального отопления в качестве естественных заземлителей?
38	Из какого материала должны изготавливаться искусственные заземлители?
39	Какое сечение должен иметь стальной заземляющий проводник, присоединяющий заземлитель рабочего заземления к главной заземляющей шине в электроустановках напряжением до 1000 В?
40	Из какого материала должна изготавливаться главная заземляющая шина?
41	Что может использоваться в качестве РЕ-проводников в электроустановках напряжением до 1000 В?
45	К какой шине в месте разделения PEN-проводника на нулевой защитный и нулевой рабочий проводники должен подключаться PEN-проводник питающей линии?
43	Каким мегаомметром производится измерение сопротивления изоляции при испытании цепей напряжением до 500 В?
44	Каким мегаомметром производится измерение сопротивления изоляции при испытании цепей напряжением от 500 до 1000 В?
45	Каким образом проводится проверка цепи фаза-нуль в

	электроустановках до 1 кВ с системой TN?
46	Что должно быть нанесено на опорах воздушной линии напряжением 0,4 кВ?
47	Каким образом осуществляется защитное заземление металлических корпусов светильников общего освещения в сетях с глухозаземлённой нейтралью?
48	Какое расстояние от трубопроводов (водопровод, отопление, канализация, внутренние водостоки) должно быть до места установки ВУ, ВРУ, ГРЩ?
49	Какие наименьшие сечения медных кабелей и проводов должны применяться в линиях групповых сетей жилых зданий?
50	Каким проводом, кабелем прокладываются линии групповых сетей от этажных и квартирных щитков до светильников общего освещения?

Задача 1

По заданным в Таблице 3 значениям напряжения сети, сопротивления изоляции $R_{из}$, ёмкости фазных проводов относительно земли C , и сопротивления человека R_h , определить ток прямого прикосновения.

Таблица 3

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напряжение сети, В	380/ 220	380/ 220	380/ 220	380/ 220	380/ 220	220/ 127	220/ 127	220/ 127	220/ 127	220/ 127
$R_{из}$, кОм	25	27,5	30	32,5	35	25	27,5	30	32,5	35
C , мкф	0,075	0,09	1,0	1,015	1,025	0,075	0,09	1,0	1,015	1,025
R_h , кОм	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1. Электробезопасность / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 210 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493604> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9698-9. – DOI 10.23681/493604. – Текст : электронный.
2. Привалов, Е.Е. Основы электробезопасности : в 3 ч. / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – Ч. 3. Защита от напряжения прикосновения и шага в электрических сетях. – 180 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436756> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-7618-9. – DOI 10.23681/436756. – Текст : электронный.
3. Привалов, Е.Е. Основы электробезопасности : в 3 ч. / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – Ч. 2. Заземление электроустановок систем электроснабжения. – 156 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436755> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-7617-2. – DOI 10.23681/436755. – Текст : электронный.
4. Сибикин Ю.Д. Охрана труда и электробезопасность: Учебное пособие – М: Директ –Медиа, 2014.- 360 с. [Электронный ресурс] режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=235424

Дополнительная литература:

1. Сибикин, Ю.Д. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий / Ю.Д. Сибикин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 338 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256581> . – Библиогр.: . с. 332. – ISBN 978-5-4475-2508-8. – DOI 10.23681/256581. – Текст : электронный.
2. Электробезопасность работников электрических сетей / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 371 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493605> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9697-2. – DOI 10.23681/493605. – Текст : электронный.
3. Сибикин, Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – 8-е изд., испр. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 235 с. : табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=253964>. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4458-8880-2. – DOI 10.23681/253964. – Текст : электронный.

Информационные справочные системы:

1. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации ТЕХЭКСПЕРТ <http://docs.cntd.ru/>
2. Официальный сайт компании "КонсультантПлюс" <http://www.consultant.ru/>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электробезопасность»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Список рекомендуемой литературы.

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

В учебной дисциплине «Электробезопасность» рассматриваются вопросы безопасного взаимодействия человека с электричеством и электромагнитными полями промышленной частоты. Изучение студентами дисциплины позволяет сформировать у будущих специалистов специальные знания в области электробезопасности. Реализация на практике этих знаний обеспечит сохранение работоспособности, здоровья и жизни человека.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- выполнение контрольной работы
- выполнение индивидуальных творческих заданий.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного выполнения контрольной работы - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного проведения расчетов являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Цель подготовки индивидуального задания – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами подготовки индивидуального творческого задания являются:

- углубление и расширение теоретических знаний в рамках конкретной темы;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие исследовательских умений.
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Целью самостоятельного выполнения курсовой работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
УК-8 Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности	ИД-2 _{УК-8} Оценивает вероятность возникновения потенциальной опасности в повседневной жизни и профессиональной деятельности и принимает меры	Знает нормативные правовые акты по организации безопасной эксплуатации электроустановок Анализирует опасности

безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов	по ее предупреждению	поражения током в различных электрических сетях. Владеет навыками применения электротехнических защитных средств.
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-2ПК-1 Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	Знает назначение, принцип действия и область применения защитных заземлений, занулений и защитных отключений. Владеет навыками планирования мероприятий по обеспечению электробезопасности.

2. ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Технологическая карта самостоятельной работы студента

Код реализуемых компетенций	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки*	Объем часов, в том числе (астр)		
				СРС	Контактная работа с преподавателям	Всего
Очная форма обучения						
8 семестр						
УК-8 ИД-2 УК-8 ПК-1 ИД-2 ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по разделам №1-9	Конспект	Собеседование	22,56	2,84	25,4
	Подготовка к лабораторным работам	Отчет по лабораторной работе	Собеседование	6,48	0,72	7,2
	Подготовка к практическим занятиям	Проект с презентацией	Презентация проекта	2,16	0,24	2,4
	Выполнение контрольной работы	Отчет	Собеседование	12	1	13
Итого за 8 семестр				43,2	4,8	48
Заочная форма обучения						
9 семестр						
УК-8 ИД-2	Самостоятельное изучение литературы по	Конспект	Собеседование	68,46	9,94	78,4

ук-8 ПК-1 ИД-2 ПК-1	разделам №1-9					
	Подготовка к лабораторным работам	Отчет по лабораторной работе	Собеседование	1,62	0,18	1,8
	Подготовка к практическим занятиям	Проект с презентацией	Презентация проекта	0,72	0,08	0,8
	Выполнение контрольной работы	Отчет	Собеседование	10	1	11
Итого за 9 семестр				80,8	11,2	92

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО НИМ

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по каждой дисциплине оценивается в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

При проведении текущего контроля рейтинговая оценка знаний студента оценивается следующим образом:

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
1.	Защита лабораторных работ. Тема: Определение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель	3 неделя	10
2.	Защита лабораторных работ. Тема: Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью	6 неделя	15
3.	Практическое занятие. Тема: Расчет сопротивления заземления	8 неделя	30
Итого за 5 семестр			55
Итого			55

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным **55**. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Вопросы для собеседования

1. Дайте определение безопасности и охраны труда.
2. Какие типы электрических сетей наиболее распространены на производстве?

3. Назовите источники электрической опасности на производстве.
4. Что такое напряжение прикосновения и шаговое напряжение? Как зависят их величины от расстояния от точки стекания тока в землю?
5. Как классифицируются помещения по степени электрической опасности?
6. Как воздействует электрический ток на человека? Перечислите и охарактеризуйте виды электротравм.
7. Какие параметры электрического тока определяют тяжесть поражения электрическим током? Укажите пороговые величины силы тока.
8. Какой путь протекания электрического тока через тело человека наиболее опасен?
9. Укажите источники наибольшей электрической опасности на производстве, связанном с вашей будущей профессией.
10. Какое прикосновение к проводникам, находящимся под напряжением, наиболее опасно для человека?
11. Почему прикосновение рукой к предметам электрически соединённым с землёй (например, водопроводной трубой) при работе с электрическими устройствами резко увеличивает опасность поражения электрическим током?
12. Почему при ремонте электрической аппаратуры нужно вынимать электрическую вилку из розетки?
13. Почему при работе с электрическими устройствами необходимо надевать обувь?
14. Как можно уменьшить опасность поражения электрическим током?
15. Рабочая изоляция: устройство, область применения
16. Категории помещений по опасности поражения электрическим током.
17. Анализ опасности для человека при касании 3-х фазной эл.сети с изолированной нейтралью.
18. Основные и дополнительные электрозащитные средства до 1000 В.
19. Анализ опасности для человека при касании 3-х фазной эл.сети с заземленной нейтралью
20. Защитное заземление, устройство, область применения.
21. Защита от действия электромагнитного поля.
22. Защитное зануление: устройство, область применения
23. Защитное отключение: устройство, область применения
24. Организация работ в электроустановках
25. Требования к электротехническому персоналу
26. При напряжении $U=80$ В в отрезке провода ПНСВ–1х1.2 длиной 28 метров и сопротивлением 3.7 Ом ток составляет 15 А. Какой должна быть длина провода, чтобы ток в нем остался прежним при напряжении 36 В?
27. Изложите порядок расследования несчастных случаев в электроустановках.

28. До какого значения должно упасть сопротивление изоляции удлинителя 220 В, чтобы однофазное УЗО на 30 мА гарантировано отключило линию?
29. С какой целью применяют УЗО? В каких частях электроустановок применение УЗО обязательно?
30. Определите, какая мощность выделяется в активной симметричной трехфазной нагрузке при линейном напряжении 42 В и линейном токе 24 А.
31. Вычислите, какой ток потребляют лампы мощностью 100 Вт при напряжениях сети 36 и 220 В. Какая мощность выделится на каждой лампе, если 2 лампы 220 В 100 Вт включить последовательно в сеть 220 В? Нарисуйте схему.
32. Нарисуйте типовую схему включения трехфазного электродвигателя через УЗО. Подпишите проводники согласно ПУЭ.
33. Вычислите ток, потребляемый трехфазным электродвигателем, если на его шильдике указаны данные: $U=380\text{В}$, $P=3\text{ кВт}$, $\cos \varphi =0.85$, $\text{КПД}=0.95$.
34. Почему запрещено использование контрольных ламп, если напряжение электроустановки превышает 220 Вольт? В чем преимущества контрольных ламп перед прочими указателями напряжения, в чем недостатки?
35. Как следует действовать в отношении электроприборов в случае пожара? Как нужно тушить пожар в том случае, если напряжение не снято или снято не полностью?
36. Требования к искусственным заземлителям.
37. Требования к естественным заземлителям.
38. Требования к заземлению молниезащиты.
39. Как выбирается сечения проводников в зданиях и сооружениях.
40. Что такое защитное электрическое разделение цепей?

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути

понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ ТВОРЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Прежде чем приниматься за создание презентации, нужно определить, что именно требуется создать, какова будет последовательность действий, а также составить план. Необходимо понимать, что речь идет о научной презентации, и как всякая научная *деятельность* презентация составляется посредством некоего алгоритма. Поэтому сначала следует определить этот *алгоритм* действий, который требуется для создания презентации.

Создание презентации включает в себя следующие этапы:

- определение целей и задачи презентации;
- определение состава аудитории;
- определение времени, которое займет презентация;
- составление плана презентации;
- выбор средств представления для презентации;
- выбор помощника;
- составление доклада для презентации;
- подготовка раздаточных материалов.

Составление плана презентации. Ваша презентация, как доклад должна иметь вступление, основную часть и заключение. Каждой части должны соответствовать какие-то слайды. Но надо помнить о нескольких правилах создания презентации:

- шрифт в презентации должен быть большим;
- таблицы понятными;
- как можно меньше текста, только основные положения или определения;
- правильно подобранные графики;
- оптимальные цвета (не нужно злоупотреблять красным цветом);
- эффекты анимации должны быть к месту.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Перечень основной литературы:

1. Электробезопасность / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 210 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493604> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9698-9. – DOI 10.23681/493604. – Текст : электронный.
2. Привалов, Е.Е. Основы электробезопасности : в 3 ч. / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – Ч. 3. Защита от напряжения прикосновения и шага в электрических сетях. – 180 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436756> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-7618-9. – DOI 10.23681/436756. – Текст : электронный.
3. Привалов, Е.Е. Основы электробезопасности : в 3 ч. / Е.Е. Привалов. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. – Ч. 2. Заземление электроустановок систем электроснабжения. – 156 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436755> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-7617-2. – DOI 10.23681/436755. – Текст : электронный.
4. Сибикин Ю.Д. Охрана труда и электробезопасность: Учебное пособие – М: Директ –Медиа, 2014.- 360 с. [Электронный ресурс] режим доступа: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=235424

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Безопасность труда при монтаже, обслуживании и ремонте электрооборудования предприятий / Ю.Д. Сибикин. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 338 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256581> . – Библиогр.: . с. 332. – ISBN 978-5-4475-2508-8. – DOI 10.23681/256581. – Текст : электронный.
2. Электробезопасность работников электрических сетей / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош ; под ред. Е.Е. Привалова. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 371 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493605> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-9697-2. – DOI 10.23681/493605. – Текст : электронный.
3. Сибикин, Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – 8-е изд., испр. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 235 с. : табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=253964> . – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4458-8880-2. – DOI 10.23681/253964. – Текст : электронный.

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Электробезопасность».
2. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электробезопасность».
3. Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Электробезопасность».
4. Методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Электробезопасность».

Информационные справочные системы:

3. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации
ТЕХЭКСПЕРТ <http://docs.cntd.ru/>
4. Профессиональные справочные системы Техэксперт <http://vuz.kodeks.ru/>
5. Официальный сайт компании "КонсультантПлюс" <http://www.consultant.ru/>